



**EL CTPC DEL PROFESOR DE CIENCIAS NATURALES EN FORMACIÓN
INICIAL Y SU DESARROLLO ACERCA DE LA NATURALEZA CUÁNTICA DE
LA LUZ MEDIANTE LA MODELIZACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LAS
CIENCIAS.**

ANDRÉS CUÉLLAR GARCÍA, Mg.

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN EDUCACIÓN
ÉNFASIS EN CIENCIAS
SANTIAGO DE CALI
2023**

**EL CTPC DEL PROFESOR DE CIENCIAS NATURALES EN FORMACIÓN
INICIAL Y SU DESARROLLO ACERCA DE LA NATURALEZA CUÁNTICA DE
LA LUZ MEDIANTE LA MODELIZACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LAS
CIENCIAS.**

ANDRÉS CUÉLLAR GARCÍA, Mg.

**Tesis Doctoral para optar por el grado académico de Doctor en Educación énfasis en
Ciencias**

**CARLOS URIBE GARTNER, PhD.
Director**

**CARLOS HUMBERTO ZULUAGA TRUJILLO, PhD
Codirector**

**Grupos de Investigación:
Ciencias, Acciones y Creencias
“El conocimiento y las epistemologías de los profesores”
GiiDEA
“Electrónica aplicada en la industria y la educación”**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN EDUCACIÓN
ÁREA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
SANTIAGO DE CALI
2023**

**EL CTPC DEL PROFESOR DE CIENCIAS NATURALES EN FORMACIÓN
INICIAL Y SU DESARROLLO ACERCA DE LA NATURALEZA CUÁNTICA DE
LA LUZ MEDIANTE LA MODELIZACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LAS
CIENCIAS.**

ANDRÉS CUÉLLAR GARCÍA, Mg.

**Tesis Doctoral para optar por el grado académico de Doctor en Educación énfasis en
Ciencias**

Director de tesis CARLOS URIBE GARTNER, PhD.

Codirector de tesis CARLOS HUMBERTO ZULUAGA TRUJILLO, PhD

**Comisión evaluadora PhD. IRINA ARTAMONOVA
Universidad del Quindío**

**PhD. JUAN PABLO NEGRET ARBOLEDA
University of Illinois**

**PhD. ALEXANDER BONILLA CASTRO
Universidad del Valle**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN EDUCACIÓN
ÁREA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
SANTIAGO DE CALI
2023**

DEDICATORIAS

Inicialmente le dedico la culminación de esta investigación a Dios por brindarme salud, resiliencia y constancia con el fin de poder cumplir con tan anhelado objetivo, a su vez por haber puesto en mi camino aquellas personas que han sido mi fortaleza y compañía durante todo el tiempo dedicado a los estudios Doctorales.

A mi hermosa Madre Gloria García Arias que desde el Cielo nos llena día a día de bendiciones. Es a ti que le debo la posibilidad de comenzar y culminar esta etapa tan significativa en mi vida; gracias por tu amor, confianza y paciencia.

A mi esposa Maira Alejandra Cortes Muñoz y a mi hijo Isaac Cuéllar Cortes, por su amor, tolerancia, tenacidad, comprensión, ternura, quienes constantemente me demuestran que juntos podremos alcanzar cualquier sueño por más difícil que se presente.

A mi Padre Augusto Cuellar Rodríguez por su esfuerzo, ejemplo y apoyo incondicional brindado para poder cumplir este nuevo sueño, me siento muy orgulloso de tenerte como padre. A mi hermana Claudia Lorena Cuellar García por ser mi compañera de vida y darme ejemplo de que con voluntad, fortaleza, pasión y vocación se puede cumplir cualquier meta propuesta. A mi abuelita Oliva Arias que con su constante amor, tenacidad y esfuerzo me da ejemplo de como el amor rompe cualquier obstáculo que se presenta en la vida. Ustedes son la razón de mi ser y sentido en la vida.

A mi abuelita Hersilda Rodríguez de Cuellar, a mi Madrina María Eugenia Cuellar de Millán y a mi tío Oscar Marino García Arias, quienes interceden por mí ante Dios, para que esta meta tan anhelada y muchas más se puedan cumplir, que Dios los tenga en su Gloria. A mí ahijada Valery Cortes porque en ella veo el amor y la sabiduría de una hija. A mis suegros por sus constantes bendiciones y apoyo.

En general a mi familia Cuellar, García y Cortes por darme día a día ejemplos de superación y profesionalismo. ¡Los amo!

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Valle, a la Universidad ICESI, a la Secretaria de Educación de Santiago de Cali – IE Normal Superior Farallones de Cali e IETC Santa Cecilia, por su confianza, apoyo en la generación de espacios de investigación enfocados en la formación de profesores de ciencias naturales en pro de la enseñanza de la física moderna en la educación básica y media de nuestro País.

A mi director de tesis el Doctor Carlos Uribe Gartner por su ejemplo, paciencia, apoyo y confianza en todo el acompañamiento durante el desarrollo en esta etapa de formación, mi admiración que crece constantemente de forma exponencial; a mi codirector Carlos Humberto Zuluaga Trujillo quien aportó significativamente en el proceso de iluminar, orientar y desarrollar el problema de investigación, así como su experiencia y apoyo, así como el aporte de cada uno de los evaluadores nutriendo esta tesis Doctoral.

A los docentes y compañeros que me aportaron significativamente con su apoyo, enseñanza y ejemplo a seguir: Boris Fernando Candela, Alfonso Claret Zambrano, Alejandro Leal Castro, Edwin German García, Henry Giovanny Cabrera, Carlos Andrés Díaz Andrade, Viviam Unás, a la estimada Carmen Rosa Rúales Valdés por su acompañamiento y orientación; finalmente, a mi primo y docente Edward Johan Marín García de la Universidad del Valle sede de Cartago, por su enorme apoyo, confianza y ejemplo de dedicación, así como al grupo de investigación GIIDEA.

A las estudiantes tanto de la Universidad como de la Institución Educativa quienes participaron en esta investigación, generando grandes aportes a la misma.

Espero seguir aportando al campo de la educación especialmente a la formación de docentes en pro de la democratización del conocimiento científico.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Justificación y contextualización del problema	2
1.2 Antecedentes.....	9
1.2.1 Formación de profesores para la enseñanza de la física cuántica en la educación secundaria	9
1.2.2 El desarrollo del CTPC en procesos de formación de profesores	18
1.2.3 Uso de la modelización como estrategia didáctica de enseñanza de las ciencias.....	24
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	31
2.1 El conocimiento tecnológico y pedagógico del contenido CTPC	31
2.2 El desarrollo del CTPC en profesores de ciencias en formación inicial.....	34
2.2.1. El rediseño de tecnologías digitales (Mishra & Koehler, 2006)	35
2.2.2. El conocimiento de las herramientas tecnológicas en pro de los objetivos pedagógicos y de contenido (Saye & Brush, 2007)	36
2.2.3. La exploración en aulas auténticas (Cepillo & Saye, 2009)	36
2.2.4. “Cartografía de la tecnología” (Angeli & Valanides, 2009)	36
2.3 Las TIC como herramientas cognitivas	38
2.3.1 Tipologías de las TIC como herramientas cognitivas	40
2.4 Modelos y modelización en la ciencia y en enseñanza de las ciencias.....	43
2.4.1 Modelos científicos.....	44
2.4.2 Modelo mental	47
2.4.2 Modelos en la enseñanza de la ciencia	50
2.4.3 Modelización como estrategia didáctica	53
2.5 Algunos modelos de la naturaleza cuántica de la luz	57
2.5.1 La catástrofe ultravioleta.....	58
2.5.2 El efecto fotoeléctrico.	61
2.5.3 La dualidad onda – partícula de la luz.	64
2.5.4 El principio de incertidumbre de Heisenberg.	65
2.5.5 La función de onda de la luz.	67
2.5.6 El entrelazamiento cuántico.	69
2.5.7 La segunda revolución cuántica.	72
2.6 La unidad didáctica como estrategia metodológica para la enseñanza	75
CAPÍTULO 3. OBJETIVOS	78
3.1 Objetivo general	78
3.2 Objetivos específicos	78

CAPITULO 4. METODOLOGÍA.....	79
4.1 El estudio de caso	79
4.2 Contexto de los participantes de estudio.....	81
4.3 Descripción del proceso de investigación.....	84
4.3.1 Etapa 1: Fundamentación teórica	84
4.3.2 Etapa 2: Presentación y sustentación del proyecto Doctoral.....	84
4.3.3 Etapa 3: Análisis del CTPC de los participantes del estudio.....	85
4.3.4 Etapa 4: Diseño del proceso de formación.....	85
4.3.5 Etapa 5: Desarrollo de la unidad didáctica con los participantes del estudio	86
4.3.6 Etapa 6: Implementación de la unidad didáctica en el salón de clases.....	86
4.3.7 Etapa 7: Evaluación del desarrollo del CTPC de los participantes del estudio	87
4.3.8 Etapa 8: Conclusiones.....	87
4.4 Instrumentos de recolección de datos	87
4.4.1 Repertorio de experiencias Profesionales y Pedagógicas PaP-eRs y videos de caso.....	87
4.4.2 Instrumento metodológico de la representación del contenido (ReCo o CoRe).....	88
4.4.3 El análisis textual discursivo	94
4.5 Diseño y desarrollo del proceso de formación	96
4.5.1 Presentación de la investigación e identificación del CTPC inicial de las profesoras en formación - Etapa previa.....	97
4.5.2 Realización de la propuesta de formación - Etapa 4.	99
4.5.3. Elaboración de la unidad didáctica propuesta por las profesoras en formación - Etapa 5.	117
4.5.4. Aplicación de la unidad didáctica en la institución educativa – Etapa 6.	120
4.6 Análisis y ordenamiento conceptual de los datos	124
4.6.1 Categorías y subcategorías de análisis	126
4.6.2 Construcción del metatexto	128
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	130
5.1 El CTPC de la profesora en formación Annekae y su desarrollo	130
5.1.1 Conocimiento de las orientaciones hacia los diferentes métodos para la enseñanza de la ciencia	130
5.1.2 Conocimientos y creencias acerca del currículo de la ciencia	138
5.1.3 Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes de un tópico específico de la ciencia	145
5.1.4 Conocimiento tecnológico y pedagógico para gestionar el aula.....	154
5.1.5 Conocimiento Tecnológico del Contenido o de la disciplina	157
5.1.6 Conocimiento de las estrategias para la enseñanza de la ciencia	163
5.1.7 Conocimiento sobre la evaluación en la enseñanza de las ciencias	168
5.2 El CTPC de la profesora en formación Jazmín y su desarrollo	174
5.2.1 Conocimiento de las orientaciones hacia los diferentes métodos para la enseñanza de la ciencia	174

5.2.2 Conocimientos y creencias acerca del currículo de la ciencia	179
5.2.3 Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes de un tópico específico de la ciencia	183
5.2.4 Conocimiento tecnológico y pedagógico para gestionar el aula	189
5.2.5 Conocimiento Tecnológico del Contenido o de la disciplina	192
5.2.6 Conocimiento de las estrategias para la enseñanza de la ciencia	196
5.2.7 Conocimiento sobre la evaluación en la enseñanza de las ciencias	201
5.3 Discusiones	204
6. CONCLUSIONES	210
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	218
ANEXOS	237

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo CTPC, adaptado de Mishra y Koehler. (2008)	31
Figura 2: El Modelo ICT-TPCK de Angeli y Valanides. (2009).....	38
Figura 3: Simulación del “Espectro de radiación del cuerpo negro” en Phet Interactive Simulations	43
Figura 4: Tipología de los Modelos. (Chamizo, 2010).....	49
Figura 5: Características de la construcción de modelos científicos. (Aduriz-Bravo, 2013).....	51
Figura 6: Concepción de modelo teórico según la visión basada en modelos, adaptada de la propuesta de Giere. (Aduriz-Bravo, 2010)	52
Figura 7: Componentes de la competencia de modelización. (Nicolaou & Constantinou, 2014)	56
Figura 8: Comparación del modelo experimental de la radiación del cuerpo negro con el modelo teórico presentado por Rayleigh- Jeans, adaptado de Eisberg & Resnick (2000)	60
Figura 9: Simulación del “Efecto fotoeléctrico” en Phet Interactive Simulations	62
Figura 10: Dispersión de Compton, adaptado de Eisberg & Resnick. (2000).	63
Figura 11: Patrones de interferencia de electrones mostrando la difracción de un haz de microscopio electrónico de muy baja intensidad atravesando un biprisma electrostático – Experimento de la doble rendija, adaptado Hewitt, (2007).	65
Figura 12: Tecnologías cuánticas emergentes. (Allende, 2019)	74
Figura 13: Laboratorio de experimentación pedagógica. Universidad ICESI.	82
Figura 14: Los conocimientos bases de la propuesta de formación.....	101
Figura 15: Encuentro de formación con las participantes	102
Figura 16: Curso de física cuántica y sus derivados tecnológicos. (Negret, 2020)	115
Figura 17: IE Técnico de Comercio Santa Cecilia – Participantes Investigación.	120
Figura 18: Herramientas usadas en la implementación de la UD.....	123

LISTA DE TABLAS

Tabla No1: Estructura lógica del Instrumento de la ReCo adaptada al constructo del CTPC (Candela, 2017; 2020).....	90
Tabla No2: Temáticas propuestas para la reflexión del par colaborativo. (Fuente: Autor)	101
Tabla No 3. Sesiones de la UD. (Muñoz & Obando, 2022)	121
Tabla No4: Codificación de las unidades de análisis de acuerdo a las fuentes. (Fuente: Autor).....	125
Tabla No 5: Categorías y subcategorías de análisis. Adaptado de (Candela, 2016; 2020)	126
Tabla No 6: Relación selectiva entre las categorías del CTPC y la CoRe. Adaptado de (Candela, 2017; 2020)	128
Tabla No 7: Repuestas de las preguntas No 2 y No 11 de la CoRe, antes, durante y después del proceso de formación: Annekae. Fuente: autor	133
Tabla No 8: Repuestas de las preguntas No 1 y No 3 de la CoRe, antes, durante y después del proceso de formación: Annekae. Fuente: autor	140
Tabla No 9: Repuestas de las preguntas No 4, No 5 y No 6 de la CoRe, antes, durante y después del proceso de formación: Annekae. Fuente: autor	149
Tabla No 10: Repuestas de la pregunta No 7 antes, durante y después del proceso de formación: Annekae. Fuente: autor.....	155
Tabla No 11: Repuestas de las preguntas No 8 y No 9 antes, durante y después del proceso de formación: Annekae. Fuente: autor	159
Tabla No 12: Repuestas de las preguntas No 10 y No 11 antes, durante y después del proceso de formación: Annekae. Fuente: autor	164
Tabla No 13: Repuestas de la pregunta No 12 antes, durante y después del proceso de formación: Annekae. Fuente: autor.....	170
Tabla No 14: Repuestas de las preguntas No 2 y No 11 de la CoRe, antes, durante y después del proceso de formación: Jazmín. Fuente: autor	176
Tabla No 15: Repuestas de las preguntas No 1 y No 3 de la CoRe, antes, durante y después del proceso de formación. Jazmín. Fuente: autor.....	180
Tabla No 16: Repuestas de las preguntas No 4, No 5 y No 6 de la CoRe, antes, durante y después del proceso de formación: Jazmín. Fuente: autor.....	186
Tabla No 17: Repuestas de la pregunta No 7 antes, durante y después del proceso de formación: Jazmín. Fuente: autor.....	190
Tabla No 18: Repuestas de las preguntas No 8 y No 9 antes, durante y después del proceso de formación: Jazmín. Fuente: autor	193
Tabla No 19: Repuestas de las preguntas No 10 y No 11 antes, durante y después del proceso de formación: Jazmín. Fuente: autor	198
Tabla No 20: Repuestas de la pregunta No 12 antes, durante y después del proceso de formación: Jazmín. Fuente: autor.....	202
Tabla No 21: Rangos de ganancia normalizada (Hake) relacionada con los niveles de desempeño de la rúbrica de evaluación propuesta para la unidad didáctica. Fuente: autor	207
Tabla No 22: Porcentajes de aprobación en los dos momentos de la implementación del cuestionario comparativo para el cálculo de la eficiencia didáctica. Fuente: autor	208
Tabla No 23: Elementos del nivel de desempeño alto en la rúbrica de evaluación por nivel de desempeño. Fuente: profesoras en formación – Anexo 6.	209

Tabla No 24: Cursos de formación en física cuántica o afines en Plan de estudios – No electivas. Universidades de Colombia. Consulta propia en línea (Febrero del 2023).	238
Tabla No 25: Estrategias de Socialización de la Tesis Doctoral. Fuente: autor.	328

ANEXOS

1. Análisis malla curricular – Licenciatura en ciencias naturales y Licenciatura en física	237
2. Consentimiento Informado – sujetos participantes de la investigación Doctoral.....	238
3. Plan Curricular- Licenciatura en Ciencias Naturales - Universidad ICESI. 2022	240
4. Cuestionario previo y posterior al desarrollo de la Unidad didáctica (implementado a las profesoras en formación)	241
5. Unidad didáctica propuesta e implementada: Guía del estudiante (Desarrollado por las profesoras en formación)	249
6. Unidad didáctica propuesta e implementada: Guía del profesor. (Desarrollado por las profesoras en formación)	291
7. Criterios y Hallazgos de la implementación de la Unidad didáctica (Análisis de las participantes)	317
8. Estrategias de socialización del conocimiento adquirido en la investigación	327

RESUMEN

La presente investigación Doctoral se enfoca en la formación de profesores de ciencias naturales para la enseñanza de la física cuántica en la educación media, siendo el objetivo principal, 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 la secundaria, a través de la modelización como estrategia didáctica y el uso de las TIC como herramientas cognitivas desde la perspectiva del CTPC. Aplicándose con estudiantes de la Licenciatura en ciencias naturales de la Universidad ICESI, quienes elaboraron una unidad didáctica enfocada en la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz siendo implementada con estudiantes de grado once en una institución educativa oficial de la ciudad de Santiago de Cali.

En el marco teórico se analizaron conceptos orientadores como es el marco conceptual y metodológico del CTPC, los modelos científicos, mentales y en la enseñanza de las ciencias, la modelización como estrategia didáctica, las TIC como herramientas cognitivas y los modelos de la naturaleza cuántica de la luz. Asimismo, se presenta la metodología de investigación a través del estudio de caso como proceso de investigación – acción, mostrando la importancia de generar espacios educativos enfocados en los descubrimientos, avances y aplicaciones de la física cuántica, orientados a la visualización de nuevas esferas del conocimiento a la vanguardia con el desarrollo social, cultural, histórico y tecnológico, permitiendo la formación de una sociedad crítica, más conocedora de su entorno.

Palabras clave: Formación de docentes de física, física cuántica, CTPC, modelización como estrategia didáctica, TIC como herramientas cognitivas.

CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Justificación y contextualización del problema

Desde su descubrimiento, 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, 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, Van den Berg & Goedhart, 2019; Cuellar, 2021A).

Uno de estos cambios se ha evidenciado en las últimas dos décadas con las tecnologías basadas en las leyes de la física cuántica¹, que muestran un progreso exponencial en cuatro áreas de desarrollo (en mayor medida): (1) la información y comunicación cuántica, (2) la simulación cuántica, (3) la computación cuántica (en la que se emplea efectos cuánticos para acelerar drásticamente ciertos cálculos, como la factorización numérica), (4) la detección y metrología cuántica (Cuellar, 2016; Acín et al, 2018, Cuellar, 2020, 2021B).

Generando investigaciones, aplicaciones y descubrimientos que han concebido directa e indirectamente diferentes premios Nobel en Física², convirtiéndola en un importante campo interdisciplinario de investigación aplicada³ (Acín et al, 2018; Jaeger, 2018, Cuellar, 2020, 2021B).

Tanto así que en algunos países se han desarrollado iniciativas referentes a procesos de alfabetización científica para fomentar las investigaciones y proyectos educativos

¹ 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; Cuellar, 2020).

² En 1997 -Chu, Cohen-Tanoudji y Phillips ; 2001 - Cornell, Ketterle y Wieman; 2005 – Hall, Hänsch y Glauber; 2012 – Haroche y Wineland; 2016 - David Thouless, Duncan Haldane y Michael Kosterlitz; 2018 - Arthur Ashkin, Gérard Mourou y Donna Strickland y el del 2022 otorgado a Alain Aspect , John F. Clauser y Anton Zeilinger por experimentos con fotones entrelazados, estableciendo la violación de las desigualdades de Bell y siendo pioneros en la ciencia de la información cuántica (Usto, 2023)

³ La llamada “Segunda revolución Cuántica” (Jaeger, 2018).

enfocados en la enseñanza y el aprendizaje de la física cuántica en niveles anteriores al ciclo universitario (ya sea secundaria, media, preparatoria, High school), incorporándola en muchos casos en sus currículos oficiales. Algunos de ellos se pueden constatar en los currículos oficiales de Inglaterra, Alemania, Italia, EE.UU, Los Países Bajos, Francia, Noruega (Michellini et al, 2000; Müller & Wiesner, 2002; Olsen, 2002; Escalada, Rebello, & Zollman, 2004; Hoekzema et al, 2007; Henriksen et al, 2014; Lautesse et al, 2015 ; Stadermann, Van Den Berg, & Goedhart, 2019), España, Argentina, Chile y Brasil (Urban & Ramos de Freitas, 2006; Ferreira de OliveiraI, Miranda & Scofano, 2007; Fanaro, & Otero, 2011; Faúndez, Rojas, Pinto, & Astudillo, 2015; Gonzales, Muñoz, & Solbes, 2020; Kriegel, Miclniezu, & Martínez, 2020) en los cuales se han adelantado diversas investigaciones que procuran superar los retos, desafíos y dificultades, que conllevan 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, Solbes y Zambrano, 2020). Esto se logra evidenciar tanto en los “Estándares Básicos de competencias en ciencias naturales” (MEN, 2004), como en “Los derechos básicos de aprendizaje de ciencias naturales (DBA)” (MEN, 2016), en los que el Ministerio de Educación Nacional (MEN) no enuncia de manera explícita posibles componentes para la enseñanza de la física cuántica (Solbes, Muñoz y Ramos, 2019). Por ende se puede considerar que la enseñanza de la física en la educación Media Colombiana sigue enfocada en las problemáticas de la física clásica (anteriores al siglo XX); se puede inferir que la física moderna no ha llegado a los currículos ni a los salones de clase en la mayoría de las Instituciones Educativas⁴ (Cuesta – Beltrán, 2018). 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 naturales (física) en los documentos oficiales del MEN integrando tópicos de física cuántica, lo que aportaría significativamente a una mayor conocimiento de la ciencia en

⁴ Salvo en algunos casos aislados en los cuales, profesores de física a través de su formación educativa (pregrado y postgrado) han generado e implementado procesos investigativos en enseñanza de la física cuántica en este ciclo educativo. Algunos ejemplos son: (Sinarcas & Solbes, 2013; Figueroa & Orjuela, 2015; Cuesta & Mosquera, 2016; Grajales, 2017; entre otros)

nuestra sociedad. Tal y como lo mencionó el profesor Mario Redondo Ciercoles a través del Diario La Vanguardia de España:

“...Es imprescindible que todas las personas posean una mínima formación científica que les permita comprender los grandes hitos, tanto del pasado como del futuro, es decir, un mínimo conocimiento que les capacite para interpretar el mundo que nos rodea. El saber científico debe ser reconocido como expresión cultural y humanista por la sociedad...si queremos formar ciudadanos verdaderamente críticos y capaces de entender los cambios tan importantes que se están produciendo en el mundo, no debe existir, como hasta ahora, una distancia insalvable entre los avances científicos y el conocimiento que los ciudadanos tienen de ellos. La ciencia constituye en sí un lenguaje que es necesario conocer. Es una de las mayores fuerzas liberadoras de mitos y manipulaciones de todo tipo que padece la especie humana...” (2005).

Uno de los factores que sería clave para subsanar la anterior situación, estaría enfocada 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 conceptuales y teóricas, que se verán reflejadas en el aula de clase (Polanco, 2018). Al analizar la posibilidad de tener un espacio de esta índole dentro de los planes de estudios de los programas que forman futuros profesores de ciencias naturales y de física de nuestro país, en la mayoría de ellos, propiamente en las Licenciaturas en Física se cuenta con estas posibilidades en su totalidad, contrario a lo que sucede en las Licenciaturas en Ciencias Naturales que en su mayoría no incorporan dentro de su plan de estudios cursos en enseñanza de la física cuántica o afines (de forma explícita), solo un 30.77% aproximadamente lo hacen⁵; por lo tanto se deben establecer espacios de formación a través de electivas profesionales, seminarios, coloquios, etc⁶.

⁵ Ver anexo 1: Análisis malla curricular – Licenciatura en ciencias naturales y Licenciatura en física: Cursos obligatorios de formación en física moderna o afines (componente - física cuántica).

⁶ Es importante mencionar que en Colombia quienes se vayan a desempeñar como docentes en la educación inicial, básica, o media vocacional, deben realizar estudios ya sea a nivel de pregrado dentro de un programa de Licenciatura (según el decreto 2450 DE 2015), o normalistas en alguna institución educativa que sea reconocida como Normal superior. Estos docentes tendrán un escalafón asignado según los decretos 2277 de

Ahora bien, es importante que en estos espacios de formación se pueda contar con los recursos Tecnológicos de la Información y Comunicación (TIC), teniendo en cuenta que en el desarrollo de estas alfabetizaciones científicas demandadas por la sociedad del conocimiento, las TIC podrían potenciar los procesos de razonamiento y acciones inteligentes llevadas a cabo por estudiantes y profesores en formación, esto 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, de modo que las TIC tienen 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). Además, en las situaciones generadas por la emergencia sanitaria debida al virus del COVID-19 dentro del campo educativo, 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 que, en muchas ocasiones fueron infrautilizadas e infravaloradas en el proceso educativo, se convirtieron en la principal “herramienta didáctica” que permitió (de manera forzosa en muchos casos) que tanto profesores, acudientes, y estudiantes se pudieran acoplar a este entorno de comunicación e interacción (Aquino & Sena, 2021); 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).

Igualmente, estos espacios de formación de profesores han de desarrollarse dentro de un marco conceptual y metodológico que articule dichas herramientas tecnológicas con una propuesta pedagógica, y un contenido o eje temático a trabajar. El Conocimiento Tecnológico y Pedagógico del Contenido (CTPC) o TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) propuesto por Mishra y Koehler en 2006, toma como referencia la

1979 o 1278 del 2002. Para los profesionales que no sean egresados como Licenciados, como es el caso de los ingenieros (físicos, químicos u otro énfasis), científicos (físicos, químicos u otro énfasis), abogados, comunicadores sociales, contadores, entre otros...Deben realizar algún diplomado en pedagogía o algún postgrado en educación, debidamente validado por el M.E.N., con el fin de poder adquirir una formación docente orientando su quehacer profesional en el campo educativo (resolución 15683 del 2016).

Aunque en muchas ocasiones profesionales en física, química, ingenieros en física u otro énfasis, se han desempeñado como profesores en algunas instituciones educativas por el contexto social, político y laboral de nuestro país, *no es su objeto de estudio y perfil profesional*. Es por ello que en la presente investigación solo se tendrán en cuenta los programas que forman a futuros docentes a través de una Licenciatura ya sea en ciencias naturales, física o a fines.

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.

conceptualización del Conocimiento Pedagógico del contenido (CPC) o PCK (Pedagogical content knowledge) propuesto por Shulman en 1986⁸, acoplándola con las técnicas pedagógicas que usan las tecnologías en formas constructivas para la enseñanza de un contenido en particular (Mishra & Koehler, 2006; Candela, 2020); siendo un marco conceptual que permitiría que los profesores en formación generen procesos de diseño y construcción, enfocados en propuestas pedagógicas (en muchos casos innovadoras) que permitan que las tecnologías sean un complemento fundamental para la construcción y potencialización de conocimientos, habilidades y destrezas en sus futuros estudiantes (Polanco, 2018).

Por otro lado, la modelización⁹ 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; Justi, 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 (Giere, 1988; Justi & 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 & Franco, 2010; Zuluaga, 2017). Aunque se esperaría que esta estrategia de enseñanza sea reconocida e implementada en los procesos de formación actuales, 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, Verloop & De Vos, 1998; Justi & Gilbert, 2002, Zuluaga, 2017). Por ende, es importante articular la modelización como estrategia de enseñanza en los espacios de formación mencionados anteriormente.

Finalmente, 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 o secundaria. Una de ellas se realizó con varios expertos en física

⁸ El cual es considerado como un constructo o marco conceptual y metodológico, el cual 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)

⁹ En el proceso de revisión se evidencia que algunos autores como Justi, Chamizo, García y Figueredo usan el término de “Modelaje” o “Modelación” en algunos artículos, aunque en menor medida comparado con el uso de “Modelización” (Justi et al, 2011).

cuántica tanto a nivel educativo como científico, allí se concluyó que la dualidad onda-partícula¹⁰, la función de onda¹¹ y los átomos¹², son ejes temáticos que se deberían enseñar en la educación secundaria (Krijtenburg-Lewerissa et al, 2018; Méndez, 2020). En otro estudio realizado en quince países, se planteó que para enseñar física cuántica en la educación secundaria, se debería trabajar por lo menos cinco ejes temáticos siendo estos: la radiación de cuerpo negro, el modelo atómico de Bohr, los espectros de líneas de absorción de gases, la interacción radiación-materia y la dualidad onda-partícula, como también el principio de incertidumbre, la naturaleza cuántica de la luz o luz cuántica, la naturaleza probabilística de la mecánica cuántica y las aplicaciones tecnológicas de teoría cuántica (Staderman et al., 2019; Méndez, 2020).

Por consiguiente, teniendo en cuenta los ejes temáticos propuestos por Krijtenburg-Lewerissa, Staderman, Méndez y otros, con el fin de ser enseñados en la educación secundaria, abarcando casi todos los fenómenos y ejes temáticos propios de un curso tradicional de física cuántica en el nivel de pregrado, lo que resultaría muy complejo de desarrollar e implementar en un proceso de investigación como el propuesto, se decide enfocar este proceso de formación de profesores en un fenómeno físico cuyo descubrimiento, su relevancia histórica, haya permitido dar inicio (de forma significativa) a la física cuántica:

A finales del siglo XIX, la discusión acerca de interpretación de la naturaleza de la luz (colección de partículas - Sir Isaac Newton o como onda- Christiaan Huygens) 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

¹⁰ Abordándose la dualidad onda-partícula, el comportamiento de los fotones, la longitud de onda de De Broglie, el principio de incertidumbre y los experimentos de la doble rendija y del efecto fotoeléctrico (Méndez, 2020).

¹¹ Abarcando su interpretación probabilística y su aplicación a potenciales unidimensionales (Méndez, 2020).

¹² Se incluye la estructura atómica, las líneas espectrales, los niveles de energía y la cuantización, con aplicación al átomo de hidrógeno y la tabla periódica de los elementos (Méndez, 2020).

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: una vez más se reabrió el asunto referente a la naturaleza de la luz (Britannica, 2021; Salvat, 1973, Staderman et al., 2019).

Precisamente la tecnología láser, las pantallas de televisión, las comunicaciones satélites, entre otros...son muchos 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 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. (Brahambhatt, 2021; Salvat, 1973; Cala & Eslava, 2011; Staderman et al., 2019). Por esta razón, se propone desarrollar el fenómeno correspondiente a la naturaleza cuántica de la luz en el proceso de formación planteado.

1.2 Antecedentes

Teniendo en cuenta que dentro de la literatura no se evidencian investigaciones que se enfaticen en la formación de profesores para la enseñanza de la física cuántica en la educación secundaria a través del desarrollo del CTPC mediante la modelización en la enseñanza de las ciencias como estrategia didáctica¹³, es pertinente hacer una revisión del estado del arte de la literatura basada en los estudios que subyacen a tres problemáticas: la formación de profesores para la enseñanza de la física cuántica en la educación secundaria, el desarrollo del CTPC en procesos de formación de profesores asociados con el diseño y desarrollo de ambientes de aprendizaje digitales, y el uso de la modelización como estrategia didáctica de enseñanza de las ciencias. En este sentido se analizan algunos antecedentes que brindan información importante acerca de la naturaleza de estas investigaciones, identificando en cada uno de ellos el problema, algunos hallazgos y conclusiones, lo anterior con el objetivo de generar un panorama de las investigaciones enfocadas que existen alrededor de los conocimientos tratados en esta investigación, tal y como son: la enseñanza de la física cuántica en la educación secundaria, el desarrollo del CTPC en la formación de profesores y el uso de la modelización para la enseñanza de las ciencias, buscando el aporte de elementos de dichas investigaciones contribuyendo al planteamiento, desarrollo y aplicación de la presente tesis doctoral.

1.2.1 Formación de profesores para la enseñanza de la física cuántica en la educación secundaria

1.2.1.1 Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: a study in Norway (Olsen, 2002)

¹³ Se realizaron gran cantidad de búsquedas en los diferentes bases de datos académicos de la Universidad del Valle, como son: "Career & Technical Education", "Education Database", "ERIC (Centro de Información de Recursos Educativos)", "Professional Development", "Revistas Universitarias", "Nature Reviews", "APS Physics", "Science GALE", "Academic Search Complete", "Fuente Académica Premier", entre otras, enfocadas en la formación de profesores para la enseñanza de la física cuántica en la educación secundaria usando la estrategia didáctica planteada en la presente investigación. A su vez, no se evidencian las posibles dificultades o concepciones alternativas de los estudiantes de educación básica y media relacionadas con la naturaleza cuántica de la luz, teniendo en cuenta que esta conceptualización no se ha desarrollado en estos ciclos educativos a través de la formación de docentes, haciendo esta investigación novedosa (<https://biblioteca.univalle.edu.co/2-uncategorised/624-lista-alfabetica-de-bases-de-datos-de-libros-y-revistas>).

A través de esta investigación se evidenció la forma tradicional de enseñar física a nivel del ciclo de educación anterior al universitario (secundaria en Noruega) a partir de temáticas enfocadas en la física clásica (mecánica newtoniana, electromagnetismo, termodinámica, física ondulatoria). Por lo cual surgió la necesidad de realizar reformas curriculares, en las que se incluyen problemáticas referentes a la física cuántica (radiografías, el efecto fotoeléctrico y la dualidad onda-partícula), entre otros. Así mismo, en esta investigación el autor propone dos caminos principales referentes a la forma de comunicar en el aula de secundaria estas problemáticas concernientes a la física cuántica: un primer camino se da en el uso del lenguaje matemático formal propio de la mecánica cuántica; y otro mediante modelos visuales, enfocados en procesos fenomenológicos permitiendo un acercamiento aún mayor a las bases de física cuántica de parte de los estudiantes en estos ciclos de la educación.

Otro de los objetivos de la investigación se centró en describir la comprensión de los estudiantes de secundaria sobre los fenómenos y la naturaleza de la física cuántica, especialmente en el tema de onda-partícula, el cual se implementó con 236 alumnos de 20 instituciones elegidas al azar que finalizaron con sus cuatro o hasta veinte lecciones de física cuántica como parte de su curso ordinario de física durante la primavera de 1999, y que fue pertinente a través de los estudios con énfasis en los procesos fenomenológicos (Olsen, 2002).

Por consiguiente, el acercamiento a la física cuántica a través de procesos fenomenológicos es un camino pertinente a seguir dentro de la actual propuesta de investigación en la enseñanza de la física cuántica en el ciclo medio educativo.

1.2.1.2 Implementing a formative module on quantum physics for preservice. (Michelini, Ragazzon, Santi & Stefanel, 2004)

En esta investigación se presenta a la mecánica cuántica como el paradigma de referencia cultural y el fundamento teórico actual que permite describir los fenómenos microscópicos, ya que es de suma importancia su conocimiento por parte de la ciudadanía en general. Uno de los aspectos que se aborda, se basa en la necesidad de generar consenso frente a las metodologías y estrategias que se proponen para enseñar estos conocimientos. Se ha mencionado que entre los obstáculos en implementar la física cuántica en el colegio, están la falta de conocimiento de estas temáticas en muchos de los profesores de física de

secundaria, la falta de apoyo de parte de las instituciones en estas investigaciones, y el poco interés en algunos programas de formación de profesorado en la enseñanza de la física cuántica.

Es por ello que los autores en el marco de los Proyectos Nacionales de Investigación (SeCiF y FFC), desarrollaron una serie de materiales de trabajo y estudio virtuales (WEB) para la enseñanza de la física cuántica en la escuela secundaria y una serie de “Módulos de Intervención (MIF)” para la formación del profesorado sobre esta asignatura. En estos “Módulos de Intervención (MIF - FOMIN)” se proporcionaron ejemplos y sugerencias para la incorporación de la física cuántica en el salón de clases de los grados de secundaria, utilizando software y /o aplicaciones de Java en la web para su respectiva modelización a través de diversas simulaciones¹⁴.

A pesar de la dificultad y gracias al carácter innovador de la propuesta, muchos estudiantes y profesores (en la mayoría del 50% de los casos) pudieron desarrollar propuestas de implementación de estudio de la física cuántica en el salón de clases, mostrando mejores habilidades en la adquisición de los diversos conceptos trabajados, mayor interés de parte de los estudiantes en el uso de las herramientas tecnológicas anteriormente mencionadas, mostrando una curva de aprendizaje significativa.

Esto muestra la efectividad de las estrategias de enseñanza que integran el conocimiento de la física cuántica con propuestas didácticas de enseñanza y aprendizaje al usar diversas herramientas tecnológicas o Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

1.2.1.3 Teaching Quantum Physics To Future School Teachers. (Giannelli & Tarsitani, 2004)

En algunos Países como Italia, se reconoce que las características esenciales de la física cuántica deben formar parte de la investigación científica en una sociedad alfabetizada. Por ello se busca continuamente que la sociedad en general tenga la capacidad de leer y escribir en temáticas enfocadas en la física cuántica (alfabetización en física cuántica). Aunque es importante tener en cuenta que en el proceso de enseñanza de la física cuántica en la escuela, los estudiantes no necesariamente serán futuros científicos o físicos, es por esto que la enseñanza de la física cuántica debe estar motivada esencialmente

¹⁴ www.fisica.uniud.it/URDF/

por su atractivo intelectual y relevancia cultural. Esta es la razón por la que dicha enseñanza debe propiciar un aprendizaje significativo a través de la comprensión del cambio conceptual que implica la transición de las propiedades de la física clásica, a las propiedades fundamentales de la física cuántica. En este sentido, los estudiantes deberían lograr 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 y/o mecánica cuántica a nivel universitario.

En la investigación se recalca que los futuros profesores de física deberían estar en capacidad de comprender el cambio de representación de las propiedades de los objetos y fenómenos físicos cuánticos, dado el limitante de la explicación de los fenómenos físicos por parte de los modelos de la física clásica, es decir, el por qué la física clásica es estructuralmente incapaz de explicar dichos fenómenos en una escala atómica y cuáles son las principales consecuencias tecnológicas y filosóficas de la "revolución" cuántica.

1.2.1.4 La Enseñanza de la Mecánica Cuántica en la Escuela Media. (Fanaro, 2009).

A través de su investigación Doctoral, la profesora María de los Ángeles Fanaro estudia “las transformaciones del saber para volverlo enseñable”, a través de una estructura Conceptual de Referencia (ECR) basada en el enfoque de la Mecánica Cuántica de Richard Feynman conocida como “Integral de Camino” o “Caminos Múltiples”. Esta estructura presenta múltiples ventajas en la enseñanza de la física cuántica, permitiendo prescindir del desarrollo estrictamente histórico y tradicional, que se adopta usualmente en la enseñanza, que no facilita que los estudiantes comprendan los aspectos fundamentales de la Mecánica Cuántica. Tal y como lo expresa la autora, esta propuesta parte de la Física Clásica con conceptos familiares para los estudiantes, se analiza y fundamenta la transición entre la Mecánica Cuántica y la Clásica, procurando enseñar el concepto de sistema cuántico y los Principios de Superposición y de Correspondencia. Esta secuencia didáctica se implementó con estudiantes de último año de la secundaria a través de diversos simuladores disponibles de forma gratuita con Modelus TM.

Como resultado de esta investigación, se concluyó que los estudiantes aceptaron los desafíos propuestos en la implementación y fueron capaces de realizar el esfuerzo cognitivo

y afectivo necesario para poder comprender diversos fenómenos propios de la física cuántica. Se propone como futuros estudios la enseñanza del comportamiento de los fotones, la cuantización de la energía y el análisis de la naturaleza de la luz desde los fenómenos cuánticos, y finalmente se realizan algunas consideraciones en cuanto a posibles modificaciones en la forma que se aborda el tratamiento escolar de la mecánica clásica, estas transformaciones pueden generar procesos de introducción a la enseñanza de la física cuántica en la escuela en su fase final.

1.2.1.5 Teorías y modelos en la enseñanza –aprendizaje de la Física Moderna. (Fernández, 2014).

En esta investigación Doctoral la profesora Fernández analiza la formación, la visión y las posturas de los Profesores de física en temáticas referentes a la física cuántica enfocados a la visión de la estructura de la materia, temática que fue incluida en el currículo de la educación media en Argentina. Menciona que no se han realizado procesos de discusión e investigación de forma adecuada en cuanto a la inclusión de la física cuántica en la escuela, aunque la comprensión de los fenómenos estudiados dentro de la Física Moderna y en particular dentro de la física Cuántica merecen una especial atención dado que su presentación involucra modelos muy poco intuitivos, alejados de la experiencia cotidiana, y que introducen dificultades específicas que es necesario superar.

Muchos profesores de física tienen dificultades en la comprensión de estas temáticas, y esto obstaculiza los intentos de incorporar la física cuántica de forma adecuada en la secundaria. Por lo tanto, es de suma importancia investigar los modelos adquiridos por los profesores de ciencias durante su formación y las posibles estrategias didácticas que favorezcan a una presentación sencilla, pero significativa, de tópicos de interés de la Física Cuántica. Solo así con docentes formados, podrá encararse la transposición didáctica de estos temas al nivel del estudiantado.

En esta investigación se caracteriza la formación de los profesores de física quienes serán los responsables de trabajar estas problemáticas en la escuela, además plantea alternativas didácticas que faciliten la labor docente.

Como conclusión, se habla de la necesidad de seguir profundizando en los diseños de propuestas de implementación de temas de física cuántica en el nivel medio escolar y en la formación de profesores. A su vez, tal y como lo menciona la profesora Fernández: “un

avance en la comprensión de la física cuántica exige una revisión de los conceptos clásicos, y el reconocimiento de los límites de validez de los mismos, permiten comprender a la física cuántica como una nueva física. Ambas se realimentan en un proceso continuo que garantiza el logro del aprendizaje deseado.” (Fernández, 2014, p. 364). Es por ello que se deben incorporar problemáticas de este campo de estudio en la educación media, acercándola a lo acontecido con el modelo clásico de la física. Es así que la física cuántica es un área muy poco explorada en el campo educativo, por ende debe ser objeto de estudio en futuras investigaciones.

1.2.1.6 Teaching Quantum Physics in Upper Secondary School in France: ‘Quanton’ Versus ‘Wave–Particle’ Duality, Two Approaches of the Problem of Reference. (Lautesse et. al., 2015)

En la presente investigación, los autores procuran abordar el cómo se debe enseñar la física cuántica en la escuela secundaria en Francia, a través de la ruptura entre las propiedades de los fenómenos clásicos y los fenómenos cuánticos desde las dos posiciones referentes a la teoría cuántica (lo que los autores llaman “la posición conservadora”¹⁵ y la posición innovadora¹⁶). Este análisis se realiza a partir de la revisión de diferentes textos educativos de física en los cuales se analiza las posturas que toman frente a esta teoría. Como resultado se logra evidenciar que la posición conservadora en estos textos tiene la ventaja de brindar continuidad en la terminología entre física clásica y la física cuántica. Por otro lado, la posición innovadora al presentar la ruptura entre la física clásica y la física cuántica, satisface el proceso conceptual de adquisición de los fenómenos por parte de los estudiantes por encima de la posición conservadora. Sin embargo esta postura no se logra evidenciar realmente en los textos analizados, incluso cuando se desarrollan los fenómenos cuánticos de la naturaleza, estos no son usados para transmitir ninguna conceptualización innovadora real del objeto cuántico; lo que genera problemas en el proceso del aprendizaje de estos fenómenos, ya que conlleva a un desarrollo solamente conceptual a través de

¹⁵ Haciendo referencia a la “interpretación ortodoxa” de la física cuántica o también llamada la interpretación de Copenhague.

¹⁶ Se enfoca en la “ruptura” conceptual referente a los fenómenos naturales propios de la física clásica y los fenómenos de la física cuántica, lo que para los autores, reemplaza la interpretación ortodoxa por una “interpretación realista” enfocada en los procesos fenomenológicos de este campo de estudio. (Le’vy-Leblond, 2003)

diversas definiciones de la teoría cuántica sin lograr evidenciarse un aprendizaje real por parte de los estudiantes.

A pesar de que los investigadores recalcan que no toman postura frente a las dos posiciones al indicar cual es mejor que la otra, aconsejan que en el momento de enseñarse física cuántica en la secundaria, se deben generar procesos reflexivos sobre las condiciones de aplicabilidad de estas dos posturas a través de diversos modelos científicos acordes a lo que se espera enseñar.

1.2.1.7 La enseñanza de la física cuántica: una comparativa de tres países. (González, Muñoz & Solbes, 2020)

En el artículo los autores analizan el proceso de enseñanza de la teoría cuántica en carreras universitarias de formación docente y en los currículos de secundaria en países como: España, Argentina y Colombia. Se nombra la gran importancia de enseñar física cuántica desde la secundaria teniendo en cuenta el actual contexto tecnológico y cultural de la región, destacándose aspectos como los siguientes: (a) La física cuántica permite dar una imagen completa de cómo se desarrolla la ciencia a través de diferentes modelos científicos contextualizando al estudiante en el quehacer científico. (b) La física cuántica es necesaria para una interpretación adecuada de la estructura de la materia y la evolución de los fenómenos microscópicos, Como se puede ver en otras áreas del conocimiento como lo es la biología, la química y la medicina, además de los claros avances presentados en las relaciones de la ciencia, la tecnología y la sociedad (CTS). (c) Es relevante diferenciar la física cuántica de pseudociencias o conocimientos no científicos. (d) La física cuántica es un factor motivacional para que los alumnos mejoren sus conocimientos en el campo de la ciencia, específicamente en la física.

Por otro lado, se presentan los ejes temáticos o problemáticas que procuran trabajarse en la secundaria de cada uno de los países analizados; en el caso de España los principales ejes temáticos trabajados en la física cuántica son: la estructura atómica, la naturaleza de la luz y la dualidad onda- partícula. Lo anterior no se logra evidenciar en los otros dos países (Argentina y Colombia) en los cuales no hay un consenso oficial, que mencione el abordaje de la física cuántica en este ciclo educativo.

En Argentina, se evidencia la existencia de limitaciones estructurales en el proceso de formación de docentes, esto debido a que en los últimos años tanto los profesores como

el sistema de enseñanza en educación superior “quedaron alejados de los criterios de dedicación, investigación y producción de aprendizajes necesarios según las nuevas demandas educativas”. Posteriormente se analizan las posturas y visiones de parte de los profesores frente a conceptos y ejes temáticos tales como: la radiación de cuerpo negro, la constante de Planck, el átomo de Bohr, el efecto fotoeléctrico, la dualidad onda/partícula, el principio de incertidumbre, la catástrofe ultravioleta, las radiaciones alfa, beta y gamma, el espectro de emisión y la ecuación de Schrödinger.

En el caso de Colombia, se enfatiza sobre la problemática del “Dilema relacionado con la brecha entre el desarrollo tecno científico y la enseñanza de las ciencias en el salón de clases” (González, Muñoz & Solbes, 2020). Esto debido a que en el contexto colombiano, como en muchos países de la región, no se cuenta con una infraestructura adecuada en varias instituciones educativas imposibilitando tratar estas problemáticas a través de medios tecnológicos entre otros. Se muestra la ausencia de las problemáticas, ejes temáticos o fenómenos referentes a la física cuántica en los documentos oficiales del Ministerio de Educación Nacional (MEN) que orientan el proceso educativo en las áreas de ciencias naturales (Lineamientos curriculares, Estándares básicos de competencia de Ciencias Naturales y en los Derechos básicos de competencia para Colombia)¹⁷. Aunque se ha intentado realizar investigaciones de estudios de caso en los cuales se procura enseñar física cuántica en la educación media, no se han hecho evidentes procesos de formación docente en este campo de estudio.

1.2.1.8 On Teaching Quantum Physics at High School. (Bonacci, 2020)

En este artículo, el profesor Enzo Bonacci menciona que en el sistema educativo italiano, los estudiantes de secundaria dentro de sus cursos de física, tienen acercamientos con los fundamentos de la física cuántica durante el último trimestre del año preuniversitario, no obstante, el tiempo que se destina para ello es limitado en el desarrollo de un aprendizaje significativo en este campo de la física, el cual en muchas ocasiones es considerada difícil de asimilar.

Durante diecisiete años, se analizaron las dificultades que se han generado en la enseñanza de esta física en la secundaria italiana, arrojando seis aspectos macro críticos que

¹⁷ Lo cual es clave como contexto frente a la enseñanza de la física cuántica dados los referentes de calidad colombianos (L.C. de Ciencias, E.B.C., D.B.A.).

dificultan el aprendizaje de la Física Cuántica, para lo cual se proponen soluciones a través de estrategias educativas, ambos son mencionados a continuación:

- 1- Complejidad conceptual desalentadora: Generación de una riqueza epistemológica atractiva enfocada en fenómenos de la física cuántica.
- 2- Dificultad en la indeterminación ontológica: Aprovechar el azar para el desarrollo de un estudio interdisciplinario.
- 3- Abuso de la terminología “cuántica” en la ciencia ficción: Generación de la curiosidad acerca de las nociones básicas de física cuántica en la literatura, cine, entre otros.
- 4- Preocupante formalismo matemático en la enseñanza de la física cuántica: Formulación de la física cuántica a través de fenómenos naturales (enfoque fenomenológico).
- 5- Desarrollo a-histórico de la física cuántica: Enseñanza de la física cuántica en contextos históricos.
- 6- Bajo interés por el aprendizaje de la física cuántica: Narración cautivadora de la historia de la física cuántica.

Estas seis propuestas tienen como objetivo, enseñar la física cuántica en la educación secundaria de forma exitosa y significativa.

El autor propone que la enseñanza de la física cuántica en la secundaria debería enfocarse en los siguientes ejes:

1. Una breve mirada sobre la Filosofía y la Literatura que tratan los conceptos de física cuántica.
2. El estudio de la probabilidad coordinado con las asignaturas de matemáticas y química.
3. Un camino gradual de conocimiento acerca la ciencia ficción (del entusiasmo al conocimiento científico de la física cuántica).
4. Una familiarización con algunas fórmulas fundamentales de la física cuántica.
5. Un esquema histórico de la física cuántica.
6. Una narración de los grandes aportantes de la física cuántica a lo largo de la historia.

Finalmente el profesor Enzo Bonacci nos menciona que el aprendizaje de la física cuántica aporta de forma significativa al aprendizaje de los conceptos y los campos investigativos relacionados con la educación STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics - ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas)

1.2.1.9 Investigating teachers' and students' experiences of quantum physics lessons: opportunities and challenges. (Bouchée, Thurlings, De Putter & Pepin, 2021).

Los autores mencionan que en el contexto europeo y propiamente en el caso de los Países Bajos, la física cuántica se ido implementando en los planes de estudio de la educación secundaria superior (nivel previo a la educación Universitaria). Esta tendencia está relacionada con el avance tecnológico y científico basado en las leyes de la física cuántica.

Pero dado el rigor en los conceptos de este campo de la física, regularmente se reportan las dificultades de los estudiantes para aprender física cuántica.

Por lo cual, los investigadores examinaron las oportunidades y los desafíos que experimentan los maestros de secundaria y sus estudiantes cuando se enseñan física cuántica en este ciclo educativo. Para ello realizaron una investigación con tres docentes en ejercicio y cinco estudiantes por cada docente.

Uno de los resultados que arrojó esta investigación, evidencio que el mayor reto es generar en los estudiantes el entusiasmo por el aprendizaje de la física cuántica, dándose a través de la retroalimentación que brindaban los docentes en las dificultades conceptuales, el uso de simuladores, de elementos tecnológicos que permitían mayor interacción y dinamismo relacionado con los fenómenos naturales estudiados.

Otro reto radica en fomentar la formación de profesores de física en problemáticas relacionadas con la física cuántica con el propósito de poder diseñar sus sesiones de clases efectivas en la educación secundaria, de forma clara y significativa.

1.2.2 El desarrollo del CTPC en procesos de formación de profesores

1.2.2.1. The role of TPACK in physics classroom: case studies of preservice physics teachers. (Srisawasdi, 2012)

En este artículo se presenta la transformación del conocimiento tecnológico y pedagógico del contenido de tres profesores en formación de física los cuales participaron en un módulo de TIC en educación utilizando entornos de laboratorio computarizados de física.

Este módulo estaba enfocado en la capacitación de cada uno de los conocimientos relacionados con el CTPC: el conocimiento tecnológico, tecnológico del contenido, del contenido, pedagógico del contenido, pedagógico y tecnológico pedagógico.

El resultado muestra que el módulo de formación permitió de forma positiva la transformación del CTPC de los participantes al generar la adquisición de competencias enfocadas en la enseñanza de la física, permitiendo atender a la necesidad de formar profesores de física de alta calidad. Finalmente el autor menciona que el CTPC es clave para poder realizar un buen proceso de formación de docentes, en este caso profesores de física.

1.2.2.2. Adaptación del instrumento metodológico de la representación del contenido (ReCo) al marco teórico del CTPC. (Candela, 2017)

El profesor Boris Candela en el presente artículo transforma un instrumento de análisis que permite identificar el Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC) de los profesores en formación y en ejercicio, a través del instrumento metodológico de la representación del contenido (ReCo) adaptado al uso de las tecnologías digitales como instrumento de representación de los contenidos y gestión efectiva en el salón de clases, posibilitando la transformación del constructo del conocimiento pedagógico del contenido (CPC) al conocimiento tecnológico y pedagógico del contenido (CTPC). *“como una heurística clave en los programas de educación donde la práctica del diseño de ambientes de aprendizaje resulta importante para el desarrollo profesional de los profesores”* (Candela, 2017, p.158).

Es así que a través de una problemática enfocada en un curso de problemas de la enseñanza y aprendizaje de la química desde una perspectiva de orientación reflexiva enfocada en la formación de profesores de ciencias, el profesor Candela presenta doce ítems o categorías de análisis a tener en cuenta en el proceso de diseño y desarrollo de ambientes de aprendizaje de contenidos específicos encaminados en diferentes ámbitos de reflexión que permiten establecer conexiones de algunos elementos de la práctica docente¹⁸, generando implicaciones para que el profesor en formación pueda establecer conexiones más amplias entre las bases del conocimiento del contenido, la pedagogía y la tecnología.

¹⁸ Comprensión de las formas de representar un tópico por medio de la tecnología; técnicas pedagógicas que usan la tecnología en formas constructivas para enseñar el contenido; conocimiento de los conceptos difíciles o fáciles para aprender, diversas formas en que la tecnología puede ayudar a los estudiantes a superar estas restricciones; conocimiento de las concepciones alternativas; conocimiento de cómo las tecnologías pueden ser usadas para construir sobre el conocimiento ya existente (Candela, 2017).

1.2.2.3. Desarrollo del conocimiento tecnológico y pedagógico del Contenido de la química, de profesores en formación a través de la reflexión de los PaP-eRs y videos. (Candela, 2018)

Por otro lado el profesor Boris Candela hace referencia a otro tipo de instrumentos que documentan y analizan los procesos de formación de profesores de ciencias, como son los videos de caso y el repertorio de experiencias profesionales y pedagógicas (PaP-eRs) los cuales permitieron analizar el conocimiento tecnológico y pedagógico de los profesores en formación y en ejercicio.

Como resultado de dicha implementación de instrumentos de análisis, el proceso de formación redujo la complejidad de la enseñanza en una historia manejable situada en un contexto específico, para que los profesores pudieran identificar y reflexionar sobre sus teorías acerca de la enseñanza y aprendizaje de la ciencia. En el artículo se logra evidenciar que los profesores en formación identificaron y desarrollaron los siguientes elementos del CTPC de las ciencias: la pedagogía general, el lenguaje como una herramienta de aprendizaje, las dificultades y concepciones alternativas, el conocimiento de la tecnología como un instrumento para representar los contenidos y gestionar el aula de ciencias, y la evaluación formativa (Candela, 2018). Tal y como lo menciona el profesor Boris:

“... la reflexión de los eventos críticos de los PaP-eRs y videos de caso fue considerada una heurística apropiada que les permitió a los futuros profesores articular el conocimiento proveniente de la literatura en educación, con las experiencias virtuales de enseñanza/aprendizaje procedentes de un contexto real. Desde luego, dicha reflexión estuvo mediada por la lectura y discusión de las acciones inteligentes de un docente ejemplar cuando orienta a unos estudiantes singulares desde una perspectiva sociocultural, con el propósito de comenzar a refinar sus teorías de la enseñanza y aprendizaje...” (Candela, 2018, p. 102).

Precisamente, se crea la necesidad de usar tanto los videos de caso, los PaP-eRs y el ReCo como instrumentos de análisis, en la formación de profesores que se plantean en la actual investigación doctoral con el fin de establecer las conexiones de las bases del Conocimiento Tecnológico y Pedagógico del Contenido (CTPC).

1.2.2.4. Formación del docente y su adaptación al modelo TPACK (Lenin, Morán, & Albán, 2017)

La investigación presentada en el artículo, muestra la adaptación del TPACK o CTPC en el proceso de formación de profesores de física y matemáticas enfocados en el ciclo de bachillerato (educación secundaria en Ecuador) del programa de física y matemáticas de la Universidad de Guayaquil, la aplicación de una serie de cuestionarios a estudiantes permitió analizar la formación que se estaba llevando a cabo en dicho programa universitario, también se realizaron varias entrevistas para contrastar dichos resultados usando el coeficiente de fiabilidad Alfa de Cronbach.

La conclusión de dicho diagnóstico, permitió visibilizar nuevos enfoques de formación de profesores de física y matemáticas en los que lograron (según los análisis) desarrollar los aprendizajes propios de la disciplina, el uso de las herramientas tecnológicas y los procesos pedagógicos en el aula de clases. Por ende el modelo TPACK se adoptó al programa anteriormente mencionado, debido a que los docentes tenían los conocimientos necesarios en los contenidos de las materias o asignaturas, así como también didáctica para impartir esos contenidos y saber aplicar las tecnologías adecuadas para mejorar el aprendizaje. Los autores manifiestan la enorme necesidad de implementar el modelo TPACK en la formación de profesores de física y matemáticas.

1.2.2.5. 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 (Polanco, 2018)

El profesor Cristian Polanco a través de su investigación posgradual propició la integración de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) en los procesos educativos de profesores de ciencias en formación a través del desarrollo del Conocimiento Tecnológico y Pedagógico del Contenido de una profesora de ciencias naturales en formación inicial, fundamentada en la construcción reflexiva de una WEBQUEST referente al núcleo conceptual de la dinámica de las aguas subterráneas.

Para lograr ello, se contempló tres fases operativas caracterizadas por: (a) el diseño de la propuesta pedagógica de formación docente para el desarrollo del CTPC, (b) la puesta en marcha de la propuesta pedagógica con una profesora de ciencias naturales en formación inicial de la Licenciatura en educación Básica con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la Universidad del Valle, y (c) la documentación y caracterización del CTPC de la docente en formación en torno al núcleo conceptual de la

dinámica de las aguas subterráneas; optando por una metodología de investigación cualitativa de estudio de casos, usando instrumentos de análisis y desarrollo del CTPC de la profesora en formación a través de los paP-eRs y los ReCo mencionados anteriormente.

Como conclusión de la investigación enfocada al desarrollo de formación, se evidencia la integración positiva de los conocimientos mencionados en el CTPC permeados por un enfoque reflexivo de la profesora en formación inicial, consiguiendo que se convirtiera en generadora de actividades académicas enfocadas en la enseñanza de las ciencias naturales teniendo en cuenta los recursos digitales a usar, la disciplina a enseñar y la pedagogía necesaria para lograr este proceso, por ende, se puede considerar que el aporte de este estudio al campo de la educación en ciencias y particularmente a la línea de investigación de formación de profesores, contribuye al desarrollo del CTPC de los futuros docentes de ciencias naturales mediante propuestas pedagógicas que integren el conocimiento del contenido, el conocimiento pedagógico, el conocimiento tecnológico y las intersecciones epistemológicas que estos conocimientos forman; este aspecto es fundamental para realizar una integración efectiva de las TIC en el aula de clase, con sentido crítico y reflexivo.

1.2.2.6. TPACK development of prospective physics teachers to ease the achievement of learning objectives: A case study at the State University of Malang, Indonesia. (Purwaningsih et al, 2019)

El desarrollo de la ciencia y la tecnología digital ha estado progresando de forma vertiginosa en la era de la Industria 4.0. En el campo de la educación, la tecnología multimedia juega un papel crucial, es tanto así que el uso de Internet y la tecnología digital en las actividades de enseñanza y aprendizaje, son útiles para acelerar y facilitar el aprendizaje de los estudiantes, de modo que los objetivos de enseñanza puedan lograrse de mejor forma. Este estudio tuvo como objetivo presentar los esfuerzos realizados por los profesores de física para ayudar a los estudiantes a obtener una mejor comprensión del material del curso utilizando el CTPC. El tipo de investigación fue cualitativa con un enfoque de estudio de caso realizado en el programa de Enseñanza de la Física en la Universidad Estatal de Malang en Indonesia.

Los resultados mostraron que el CTPC tuvo un gran impacto en estos profesores en formación, sobre todo al presentar las ventajas que tiene la implementación de las TIC en la

enseñanza de la física, permitiendo una mejor capacitación en cuanto a la planificación e implementación de las clases de física a través de recursos tecnológicos.

1.2.2.7. Integrating information and communication technology in teaching physics beyond covid-19. (Abubakar & Umaru, 2020)

Este artículo se enfoca en la integración de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la enseñanza de la física en el contexto generado por el COVID-19. El artículo explora diferentes cuestiones relacionadas con la integración de las TIC en la enseñanza de la física que incluyen el concepto de TIC, la integración de las TIC en la enseñanza de la física, las herramientas de las TIC para la enseñanza de la física, los desafíos de la integración de las TIC en la enseñanza de la física, los diversos requisitos a cumplir por parte de los profesores de física que requieran implementar las TIC en el salón de clases y los problemas del uso de las TIC en este contexto.

Se destaca la importancia de fortalecer la integración de las TIC en la enseñanza de la física en el actual contexto de pandemia generada por el Covid-19, movilizando el conocimiento tanto en educación remota como presencial, a través de las diferentes herramientas digitales para la enseñanza de la física como son: la pizarra interactiva, los retroproyectores, la pizarra digital, las app, los simuladores y la pizarra web. Se analizan los desafíos a los que se enfrentan profesores y estudiantes en la integración de las TIC y la aplicación del método de indagación en la enseñanza de la física, como también la importancia de usar el TPACK en la implementación de estas herramientas TIC en el salón de clases.

Se mencionan los diversos problemas de la integración de las TIC en la enseñanza de la Física contantemente discutidos como son el uso de herramientas TIC inadecuadas, el analfabetismo tecnológico, las políticas escolares ineficaces, la ausencia de conexión y energía eléctrica en diversas regiones.

El documento menciona la necesidad de preparación en el uso y adopción de las herramientas TIC en la enseñanza de la física por parte de los profesores de ciencias naturales en ejercicio y en formación, implementando tanto el modelo TPACK como el método de enseñanza por indagación.

1.2.2.8. Fostering TPACK in pre-service physics teachers during the covid-19 pandemic. (Putri, 2021)

La situación de pandemia generada por el Covid -19 obligó al sistema educativo a dar respuesta a una variedad de situaciones propias del proceso de enseñanza-aprendizaje y los conocimientos que usan los docentes para guiar dicho proceso. Por ende es esencial conocer acerca del conocimiento tecnológico y pedagógico del contenido (CTPC) de los profesores en ejercicio y cómo se puede incorporar al profesorado de física en formación.

Esta investigación mostró que una gran mayoría de los profesores de física en formación pertenecientes a la muestra, carecían de los diferentes conocimientos mencionados en el CTPC en el momento de la planeación de una clase en la metodología en línea, necesitando una mayor capacitación e interés en su formación enfocado en estos conocimientos, con el fin que sus prácticas sean más significativas promoviendo un mejor aprendizaje de la física. Estos hallazgos resaltan la importancia de ampliar cursos que aborden componentes del CTPC en los procesos de aprendizaje de futuros profesores de física.

1.2.3 Uso de la modelización como estrategia didáctica de enseñanza de las ciencias

1.2.3.1. Modeling methodology for physics teachers (Hestenes, 1996)

Como en la práctica científica se construyen, validan y aplican modelos científicos, la enseñanza de las ciencias debe estar diseñada con el objetivo de involucrar a los estudiantes en la elaboración y uso de modelos científicos en el salón de clases. Por lo tanto, el conocimiento se puede hacer más explícito al planear el contenido de un curso de física en torno a un pequeño número de modelos científicos básicos, así la capacidad de los estudiantes para hacer y usar estos modelos depende de las herramientas de representación a su disposición. Los estudiantes aprenden habilidades de modelización en el momento en que describen, explican o predicen fenómenos físicos en el diseño de experimentos.

Según el autor, el fin de la modelización es que los estudiantes aprendan a través de actividades que logren involucrarlos en la construcción de su propia experiencia en el acercamiento de los fenómenos relacionados con el comportamiento de la naturaleza, por ello, las actividades deben ser cuidadosamente planeadas y dirigidas por el docente. La

planificación y orientación del docente es la clave para que se logre la adquisición de habilidades científicas por parte de los estudiantes.

1.2.3.2. Experiencias de formación de profesores de ciencias latinoamericanos sobre modelos y modelaje (Justi et al., 2011)

A través del presente artículo, se presenta una propuesta de formación continua de profesores de ciencias enfocada en tres marcos teóricos: un modelo de razonamiento pedagógico, la investigación acción, y la práctica de actividades de colaboración destinadas a desarrollar el conocimiento pedagógico del contenido (CPC) de profesores acerca de modelos y modelaje (o modelización según la traducción). Esta propuesta de formación se desarrolló con profesores en ejercicio de ciencias naturales de Brasil y de México desde el marco de una perspectiva crítica y reflexiva a través de un intercambio de experiencias de formación y ejercicio de la práctica pedagógica.

Según los autores, los resultados mostraron una tendencia de cambios efectivos en las prácticas de los maestros participantes, en la cual los maestros y maestras participantes no solamente conocieron una nueva forma de enseñar ciencias, sino que también se comprometieron con ella al incorporarla en su práctica docente. Este proceso de formación y aprendizaje por parte de los estudiantes participantes se llevó a cabo en un proceso que integraba continuamente la reflexión teórica con la práctica, ya que los profesores realizaban actividades de modelaje en las reuniones periódicas y con sus estudiantes en el salón de clases. Este continuo proceso promovió que los docentes construyeran concepciones sobre el aprendizaje, la enseñanza y la ciencia que están de acuerdo con las visiones actuales y que implican una transformación profunda de su práctica docente. Lo que conlleva la necesidad de una mayor divulgación de este tipo de propuestas dentro de los profesores formadores de formadores, de tal manera que esta práctica pueda ser incorporada en otros programas, incluidos los cursos de formación inicial para futuros profesores de ciencias naturales en otras regiones en donde los modelos y el modelaje (o modelización) haga parte de las estrategias de enseñanza de las ciencias.

1.2.3.3. Modelos y modelización como estrategia didáctica para abordar la dualidad-onda partícula (Tuay & Céspedes, 2017)

Las autoras plantean estrategias de modelización en las que se abordan, la construcción del conocimiento científico a través del análisis de los fenómenos naturales mediante modelos que proporcionan diferentes formas de acercamiento a los saberes científicos desde el campo de la enseñanza de las ciencias. Es por ello que en este artículo se evidencia la importancia del uso de diferentes contextos de formación con estudiantes de nivel universitario en el caso de los métodos de modelización acerca del fenómeno de la dualidad-onda partícula, en el campo de la radiología y la interpretación de imágenes. Tal y como lo mencionan, mediante la utilización de una metodología cualitativa y el uso del software HUDAP y ATLAS TI, fue posible encontrar diferentes interrelaciones entre las explicaciones dadas por los estudiantes y su relación con los referentes teóricos del fenómeno abordado a través de procesos de modelización. Los resultados presentados en el artículo, muestran la posibilidad de evidenciar los avances de la construcción del conocimiento a partir de diversas experiencias de los estudiantes y las diferentes comprensiones de los fenómenos naturales enfocados, en este caso, a la dualidad-onda partícula de forma significativa desde la organización de saberes integrados en contextos reales, por lo que se menciona que los modelos y la modelización proporcionan rutas didácticas para la contextualización de fenómenos en física, conducentes a la explicación de los procesos de adquisición del conocimiento científico.

1.2.3.4. 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 (Zuluaga, 2017)

Con el fin de caracterizar el Conocimiento Pedagógico del Contenido (PCK o CPC) y promover su desarrollo, el profesor Carlos Zuluaga investigó la identificación y desarrollo del PCK del docente de química en relación al tema de enlace químico. Se asumió como principio fundamental del desarrollo del PCK, el proceso reflexivo en un grupo de docentes de ciencias en relación a la modelización como estrategia didáctica en la enseñanza de las ciencias, acompañado del trabajo colaborativo en la construcción de una unidad didáctica bajo este mismo enfoque. Metodológicamente, esta investigación se abordó desde la perspectiva del estudio de caso, en el que se seleccionaron dos estudios de caso, correspondientes a dos docentes participantes en el proceso de formación. En la

identificación del PCK de los docentes se utilizaron dos instrumentos como son: el CoRe y el PaP-eRs, cuya construcción permitió a los docentes reflexionar sobre sus conocimientos.

El proceso de formación se caracterizó por la discusión y reflexión sobre diferentes temas relacionados con el uso de modelos y modelización en la Enseñanza de las Ciencias, orientados a movilizar cada uno de los componentes del PCK. Al final del proceso, se volvió a utilizar como instrumento de análisis la elaboración de un CoRe y el análisis de la unidad didáctica construida por el grupo de docentes. Estos dos instrumentos, al contrastarse con la información obtenida al inicio del proceso y las narrativas que surgieron durante su desarrollo, permitieron reconocer la existencia del desarrollo del PCK. En la investigación se logra evidenciar el valor de la formación en procesos de modelización en el desarrollo de conocimientos asociados a los diferentes componentes del PCK a través de trabajos colaborativos en los que se propicia la reflexión desde la práctica docente del profesor de ciencias.

1.2.3.5. Teaching Einsteinian Physics at Schools: Part 1, Models and Analogies for Relativity. Physics Education (Kaur et al., 2017)

El proyecto Einstein-First tiene como objetivo cambiar el paradigma de la enseñanza de las ciencias en la escuela mediante la introducción de los conceptos Einsteinianos modernos de espacio y tiempo, gravedad y cuantos, los cuales rara vez se enseñan a los estudiantes de la escuela secundaria a pesar de su importancia fundamental para la ciencia moderna y la actual tecnología. Los autores muestran que la clave para implementar este tipo de proyectos en el plan de estudios, está en el desarrollo de modelos en el salón de clases y analogías apropiados como estrategias de enseñanza, de esta manera se proporciona la relación entre la física que se pretende enseñar y los modelos que se utilizan en la enseñanza.

La naturaleza interactiva y atractiva que proporciona el uso de modelos y su ejecución en el salón de clases de física enfocados en este tipo de actividades, conlleva mejorar la motivación y la actitud hacia las ciencias de parte de los estudiantes, lo que conduce a resultados de aprendizaje más positivos. Igualmente mencionan que se requiere de más investigaciones en el uso de modelos y su implementación en el salón de clases de ciencias, así como en la formación de profesores de física para evaluar la eficacia de estas actividades y lograr resultados positivos a largo plazo.

1.2.3.6. Modelos y modelización como estrategia de producción de conocimiento en la enseñanza de la mecánica cuántica (Céspedes, 2017)

En esta ponencia, la profesora Nelly Yolanda Céspedes destaca el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Mecánica Cuántica, el cual gira en torno a la creación de nuevo conocimiento, provisto de una serie de análisis de fenómenos naturales, encaminados a la construcción de perspectivas que enriquezcan el saber de estudiantes y docentes.

Estos análisis, han sido protagonistas de una serie de tratamientos teóricos y formulaciones que han hecho parte de los esquemas de trabajo de la disciplina de la mecánica cuántica, ligados a la construcción de modelos científicos que describen los elementos necesarios para la comprensión de un fenómeno característico, permitiendo la elaboración teórica a través de la modelización, reconociendo el análisis y estudio de fenómenos naturales a partir de esquemas de datos los cuales han sido identificados en el contexto de la comprensión epistemológica y la evaluación del conocimiento científico. Es así que la modelización se puede considerar como el eje central de los procesos de enseñanza y aprendizaje de una disciplina, en este caso la mecánica cuántica. Tal y como lo menciona la profesora: “... *la modelización genera elementos de trabajo para la construcción de contextualizaciones de fenómenos, conducentes a la explicación de los procesos de adquisición del conocimiento científico; es decir, un buen ejercicio de modelización puede proporcionar la ruta clave de comprensión de cualquier fenómeno.*” (Céspedes, 2017)

1.2.3.7. Modelización en mecánica cuántica desde la contextualización (Tuay & Céspedes, 2018)

La construcción de modelos en física y su modelización en el salón de clases, particularmente en la enseñanza de la mecánica cuántica en la escuela, se ha convertido en un mediador entre la teoría y la práctica, es por ello que los escenarios de la modelización en mecánica cuántica proporcionan elementos de análisis y construcción de los procesos de enseñanza y aprendizaje de los fenómenos a través de la exploración de los conceptos a partir de la contextualización.

A través de la ponencia, las profesoras mostraron los resultados del acercamiento de la modelización a las perspectivas de investigación educativa en mecánica cuántica. Para

presentar los resultados de dicha investigación, se realizaron a través de diferentes categorías de análisis: la formalización del fenómeno que permitió el abordaje teórico a través de un análisis desde la modelización como una estrategia para el acercamiento de los estudiantes a la producción de conocimiento. Reconocen la importancia de la modelización en el abordaje de los fenómenos de la Mecánica Cuántica, que se ha convertido en la base de las ciencias naturales, y junto con la tecnológica han cambiado fundamentalmente las condiciones de la vida.

1.2.3.8. Modeling Instruction in High School Physics (Schober, 2019)

El autor menciona que la modelización es la forma en que damos sentido al mundo a través de la construcción de modelos mentales con el fin de organizar las representaciones de los diferentes fenómenos naturales, define el modelo como la unidad primaria del conocimiento coherentemente estructurado.

Cuando los profesores de física enseñan de forma tradicional, escasamente planean la clase de ciencias orientada al diseño, elaboración y uso de modelos científicos, en su lugar enseñan una larga lista de temas que para los estudiantes lucen fragmentados con ideas desconectadas, generando mayor dificultad en la motivación por el aprendizaje de la física. Por el contrario, cuando se planea la enseñanza de la física enfocada en la modelización, la instrucción se organiza en torno a una línea argumental de conceptos diseñada específicamente para desarrollar un modelo científico, utilizando una variedad de representaciones de fenómenos naturales, permitiendo las conexiones entre las representaciones conceptuales y el modelo físico.

A través de los antecedentes presentados se logra evidenciar la ausencia de investigaciones como la planteada en esta tesis doctoral, sin embargo el análisis del estado del arte enfocados en la enseñanza de la física cuántica en la educación secundaria, el desarrollo del CTPC en la formación de profesores y el uso de la modelización para la enseñanza de las ciencias, permiten tener presente elementos que aportan de forma significativa a la presente investigación doctoral orientada en la formación de profesores, tales como: la visión fenomenológica de la física cuántica como acercamiento a la enseñanza de la física cuántica en la educación secundaria, el contexto nacional e

internacional relacionado con la formación de profesores de física para enseñar física cuántica en este ciclo educativo, diferentes apuestas buscando el fortalecimiento de ello, las transformaciones del saber de la física cuántica con el fin de volverlo enseñable, las posturas, dificultades y concepciones de los profesores frente a la enseñanza de la física cuántica en diferentes países, la enseñanza de la física cuántica desde la posición conservadora y la posición innovadora junto con sus ventajas y limitaciones, el estado del arte de la enseñanza de la física cuántica en Latinoamérica y en Colombia, los grandes avances que se han dado en procesos de enseñanza de la física cuántica a nivel europeo en contraste con las ausencias evidenciadas en Latinoamérica y propiamente en Colombia, el CTPC en la formación de profesores de ciencias, los instrumentos usados para el análisis y captura del CTPC en profesores en formación, diferentes investigaciones enfocadas en este tipo formaciones, la importancia de las TIC como herramientas cognitivas en el aporte del aprendizaje de física moderna, diferentes propuestas de formación de profesores usando el CTPC como es la cartografía de la tecnología, el uso de la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de la física cuántica y relativista, experiencias de formación de profesores de ciencias en Europa y Latinoamérica enfocada en la modelización y los modelos científicos, entre otros.

Teniendo en cuenta estos vacíos investigativos, así como lo mencionado en la justificación, y a su vez haciendo hincapié en la necesidad que hay en la educación secundaria y media vocacional, se debe propender por permitir la visualización de nuevas esferas del conocimiento que están a la vanguardia en el desarrollo social, cultural, histórico, científico y tecnológico, logrando la formación de una sociedad crítica, conocedora de su entorno, y de las implicaciones que se generan a medida que se avanzan en los descubrimientos permeados por dichos conocimientos, debido a la importancia de contar con tales conocimientos surge el siguiente interrogante de investigación:

¿Cómo desarrollar un proceso de formación con estudiantes de la Licenciatura en ciencias naturales para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz mediante la modelización como estrategia didáctica y que tenga en cuenta el CTPC?

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 El conocimiento tecnológico y pedagógico del contenido CTPC

El marco conceptual del Conocimiento tecnológico y Pedagógico del Contenido (CTPC o TPACK - Technological Pedagogical Content Knowledge) propuesto por Mishra y Koehler (2006) surge a partir del modelo del Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC o PCK – Pedagogical Content Knowledge) planteado por Shulman ¹⁹(1986), integra el conocimiento tecnológico desarrollado en el aula, dando cuenta de cómo la ciencia didáctica produce sus propias entidades conceptuales, demostrando la manera en que el profesor apropia los conocimientos disciplinares, presentando los saberes acerca de cómo enseñar estos conocimientos y como dichos saberes se integran (Perafan & Tinjacá, 2016) . El CTPC como marco conceptual de referencia, permite identificar una estructura que unifica la relación del conocimiento tecnológico con los otros en mención 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). En consecuencia, a través del CTPC los profesores podrán analizar la interrelación entre la tecnología, la pedagogía, y el contenido, creando una forma de conocimiento que va más allá de las tres bases del conocimiento de forma separadas (Koehler, Shin, & Mishra, 2011).

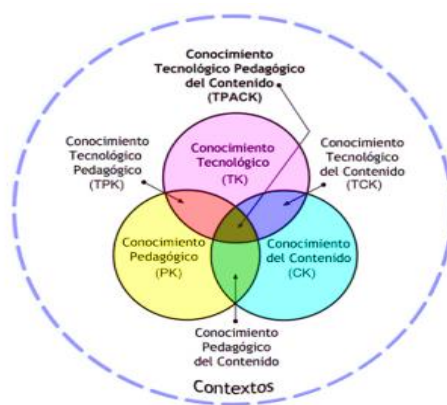


Figura 1: Modelo CTPC, adaptado de Mishra y Koehler. (2008)

¹⁹ El cual considera que el profesor se distingue de los especialistas del contenido o de la disciplina porque en su práctica debe combinar el conocimiento de este contenido o disciplina con los conocimientos propios pedagógicos (Shulman, 1986).

Es por ello que 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, Morán, & Albán, 2017). Por lo tanto, el uso de la tecnología introduce en el salón de clases un nuevo conjunto de variables en el contexto de la enseñanza, y de suma complejidad debido a su naturaleza rápidamente cambiante (Koehler & Mishra, 2008), enfatizando que el proceso de enseñanza es una actividad intencionada, reflexiva, compleja, la cual ocurre en ambientes inciertos y dinámicos (Spiro, et al, 1991).

De hecho, en el proceso del diseño e implementación de este marco conceptual, requiere que de forma progresiva se identifique, explicita y desarrolle diferentes representaciones relacionadas con el conocimiento del contenido (analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones, modelos analógicos, practicas experimentales y demostraciones) el conocimiento de las dificultades, limitaciones o concepciones alternativas de los estudiantes (la comprensión de la facilidad o dificultad en el aprendizaje de un concepto específico, así como las ideas previas que se tienen acerca de ello), conocimientos relacionados con las mejores formas de representar y formular un contenido específico (repertorio de estrategias de enseñanza que el docente genera a partir de los procesos de planeación, enseñanza y reflexión en pro de un aprendizaje significativo, buscando dar sentido a los diferentes fenómenos naturales en el contexto educativo) (Shulman, 1986), el conocimiento de la tecnología (conocimiento de recursos digitales, software y hardware) con fines pedagógicos, entre otros elementos (Candela, 2016; 2020). Por lo anterior, el uso o la implementación de la tecnología en el salón de clases debe hacerse de forma relacionada con las bases del conocimiento del contenido y del conocimiento pedagógico (Candela, 2016).

Para ello, Mishra y Koehler especifican la articulación de estas formas del conocimiento y su respectiva interrelación de la siguiente forma:

El Conocimiento del Contenido (CC): En la formación del profesor, es necesario que exista una selección adecuada de los contenidos académicos que van a fortalecer su dominio de temáticas relevantes que se pondrán en práctica en el aula. “Los maestros deben

conocer y comprender las materias que enseñan, incluyendo el conocimiento de hechos, conceptos, teorías y procedimientos centrales dentro de un campo dado; Conocimiento de marcos explicativos que organizan y conectan las ideas” (Mishra & Koehler, 2006).

El Conocimiento Pedagógico (CP): Se caracteriza como el conjunto de habilidades que deben desarrollar los docentes con el fin de gestionar y organizar su práctica pedagógica en pro de la obtención de los resultados de aprendizaje esperados. Ello implica tener en cuenta el papel de estudiante, la motivación, la planificación de las clases, y la evaluación del aprendizaje (Polanco, 2018), lo cual engloba los propósitos, valores y objetivos educativos generales, para ello el profesor debe interiorizar los principales aspectos de las teorías del aprendizaje como por ejemplo, el enfoque constructivista, cognitivo, sociocultural, entre otros (Candela, 2016).

El Conocimiento Tecnológico (CT): El CT está relacionado con la capacidad que tiene el docente de adaptarse y aprender el uso de las nuevas herramientas tecnológicas, tratando de sobrepasar los conocimientos tradicionales que se encuentran en un estado de cambio constante, debido al rápido ritmo en que avanza la tecnología y a la naturaleza variable de la misma (Koehler y Mishra, 2008). En el caso de las tecnologías digitales, se incluye el conocimiento de los sistemas operativos, la habilidad de uso del software (procesadores de texto, simuladores, hojas de cálculo, navegadores, entre otros), y el hardware de la herramienta tecnológica (computadora, Tablet, celular, etc.).

El Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC): El CPC hace referencia a la representación y formulación de conceptos, técnicas pedagógicas, y conocimientos que permiten la “facilidad o no” del aprendizaje de los conceptos desarrollados en el aula, el conocimiento del contenido previo de los alumnos y las teorías de la epistemología que subyacen a ello (Shulman, 1986; Mishra & Koehler, 2006). Es decir que el CPC “representa la mezcla entre el contenido y la pedagogía por la que se llega a una comprensión de como determinados temas y problemas se organizan, representan y adaptan a los diversos interés de los aprendices, además, se exponen para la enseñanza” (Candela, 2016, p 175).

El Conocimiento Tecnológico Pedagógico (CTP): Es importante para el docente poder saber utilizar didácticamente la tecnología. Esta relación entre el conocimiento Tecnológico y el conocimiento Pedagógico, indica que se debe tener la capacidad para

seleccionar adecuadamente las herramientas tecnológicas según la didáctica que se pretende aplicar en clase, así como el fortalecimiento de las estrategias pedagógicas enfocadas al alcance de las metas de aprendizaje (Mishra & Koehler, 2006; Lenin, Morán, & Albán, 2017).

El conocimiento Tecnológico del Contenido (CTC): En la intersección del Conocimiento Tecnológico con el Conocimiento del Contenido, se logra evidenciar la necesidad de parte del docente en poder transmitir adecuadamente las temáticas o problemáticas en el salón de clases haciendo uso de la tecnología para ello, permitiendo el descubrimiento de nuevos contenidos y representaciones de los mismos (Mishra & Koehler, 2006). Por ejemplo, el uso de simuladores para representar fenómenos físicos de forma dinámica.

El CTPC debe ser una característica inherente en todo docente, permitiéndole distinguirse de los profesionales de la disciplina (físicos, químicos, ingenieros, etc.), por lo que es un constructo que va más allá de los elementos teóricos y metodológicos que configuran las bases de los conocimientos involucrados de forma independiente (Mishra & Koehler, 2006). Considerándose “...un constructo en el cual se entreteje de manera sinérgica y coherente un conjunto de elementos de enseñanza, con el fin de mediar el aprendizaje de unos estudiantes dentro de un contexto particular, a saber: las mejores formas de representación y formulación de un concepto por medio de los recursos digitales, las técnicas pedagógicas que usan las tecnologías en formas constructivas para la enseñanza de un contenido; el conocimiento que hace los conceptos difíciles o fáciles de aprender y como la tecnología puede ayudar a redireccionar algunos problemas que los estudiantes enfrentan...” (Candela, 2020, p 78).

Es así que se logra evidenciar que el CTPC es un referente teórico y conceptual, tanto para investigadores como educadores cuyo objeto de estudio es la formación de futuros profesores en pro de la adecuada utilización de la tecnología teniendo en cuenta la pedagogía y el contenido, en este caso en la enseñanza de las ciencias (Schmidt et al., 2009; Koehler, Shin y Mishra, 2011; Polanco, 2018; Candela, 2016; 2020).

2.2 El desarrollo del CTPC en profesores de ciencias en formación inicial

Existen diversos enfoques con el fin de potenciar el desarrollo del CTPC de profesores de ciencias tanto en ejercicio como en formación inicial. Algunos de ellos han sido muy criticados en cuanto al énfasis del conocimiento tecnológico, cuyo objetivo es la alfabetización tecnológica, dejando de lado el aporte educativo de esas herramientas, es decir la relación de este conocimiento con la pedagogía y el contenido (Polanco, 2018), eso se ha logrado evidenciar en diversos programas de convenio internacional en los cuales se pretende fortalecer las competencias TIC de los docentes cuyo objetivo es el desarrollo de “habilidades de instrucción”, el desarrollo de habilidades de manejo de cierto software (Mirete, 2010; SEM, 2014; candela, 2016). Esto ha llevado a que muchos pedagogos creen que los programas tradicionales de formación de maestros en tecnología, son poco convincentes, sin lograr evidenciar la comprensión de las potencialidades que tiene la tecnología en el proceso educativo (Candela, 2020). Por otro lado, se evidencian otros tipos de programas de formación enfocados en los conocimientos pedagógicos y/o conocimientos disciplinares, sin reconocer las potencialidades del uso de la tecnología, relegando los grandes aportes que generan las TIC en los procesos educativos.

Es por ello que en los últimos años se han ido desarrollado diversos enfoques de formación que se procura integrar el conocimiento tecnológico en la práctica pedagógica teniendo en cuenta la disciplina a tratar en dicho proceso de formación, (Mishra y Koehler, 2006), buscando que el futuro profesor de forma reflexiva y gradual vaya identificando, y comprendiendo las relaciones entre los conocimientos mencionados en el marco del CTPC y sus aportes en la generación de nuevo conocimiento (Candela, 2026; 2020). Algunos de estos enfoques son:

2.2.1. El rediseño de tecnologías digitales (Mishra & Koehler, 2006)

Este enfoque surgió con el fin de poder desarrollar diversas clases en línea en un seminario basado en el diseño, cuyas metodologías de elaboración curricular están comúnmente basados en un diseño instruccional²⁰.

Mediante este enfoque los profesores en formación diseñan un material educativo usando las TIC de forma progresiva través de cursos que buscan contribuir al desarrollo de la práctica docente. El rediseño o diseño de tecnologías digitales se ha utilizado

²⁰ Los estudiantes no son receptores de la instrucción, pero llevan a cabo un "aprendizaje cognitivo" con instructores (Mishra y Koehler, 2006).

mayormente en el fin de crear videos educativos, rediseñar sitios web y la creación de cursos en línea.

2.2.2. El conocimiento de las herramientas tecnológicas en pro de los objetivos pedagógicos y de contenido (Saye & Brush, 2007)

A través de este enfoque se plantea la necesidad que los profesores en formación, tengan los conocimientos en el uso de las diversas herramientas tecnológicas y su utilización sea con el fin de mejorar los procesos educativos. Se enfoca principalmente en aplicaciones, simuladores y programas gratuitos, permitiendo mayor accesibilidad en la aplicación en el aula.

2.2.3. La exploración en aulas auténticas (Cepillo & Saye, 2009)

En este enfoque el profesor en formación debe interactuar con la realidad del salón de clases a partir de dos momentos: (1) Debe estar acompañado de un profesor tutor perteneciente a la institución educativa (preferiblemente). Seguidamente hace un análisis de los recursos tecnológicos disponibles en los que obtienen las diferentes perspectivas de los profesores en ejercicio con respecto al uso eficaz de la tecnología y los diferentes niveles de conocimientos técnicos (Cepillo y Saye, 2009; Polanco, 2018). (2) En base a los datos obtenidos durante el análisis del momento (1), el profesor en formación participa en el diseño de una actividad de clase la cual permita integrar la TIC en el aula. Posteriormente evalúa la eficacia de dicha actividad luego de su respectiva aplicación, lo que conlleva a una reflexión de su validez desde un enfoque educativo integrando los conocimientos propios del CTPC.

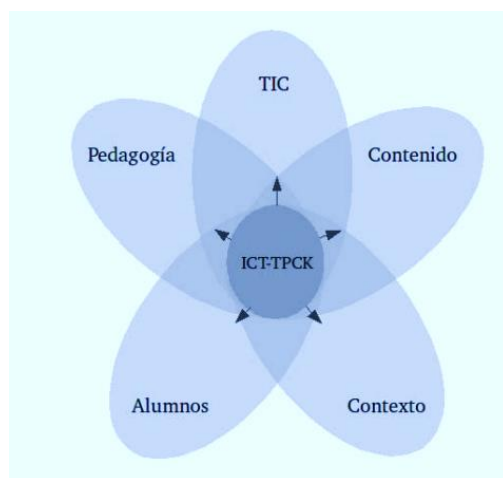
2.2.4. “Cartografía de la tecnología” (Angeli & Valanides, 2009)

Es un enfoque basado en la práctica pedagógica para la comprensión de una orientación hacia el desarrollo y aprendizaje de las TIC con el uso del CTPC a través del establecimiento de conexiones entre las cualidades de una determinada herramienta tecnológica, la disciplina y la pedagogía. Algunos aspectos de la “cartografía de la tecnología” a tener en cuenta, son:

(1) Los profesores en formación identifican varios ejes temáticos o problemáticas dentro de un dominio de contenido específico en los que se observe dificultad para enseñar y aprender; (2) para cada problemática o eje temático, se asocian contenidos que se consideran relevantes con objetivos temporales sobre la base de las posibles concepciones

alternativas de parte de los estudiantes; (3) se genera una etapa de diseño en la cual se toman decisiones frente al cómo debería transformarse el contenido para ser enseñable a los estudiantes; (4) los profesores en formación junto con los profesores en ejercicio deciden cómo las cualidades de determinada herramienta tecnológica pueden emplearse para transformar el contenido en representaciones que permitan “facilitar el aprendizaje”, y cómo adaptar esas representaciones para las necesidades específicas de los estudiantes mediante la aplicación de diversas estrategias pedagógicas en los respectivos salones de clase (Angeli & Valanides, 2008; Polanco, 2018).

Para los autores de este enfoque, el CTPC es un cuerpo de conocimientos diferenciados que pueden ser desarrollados, evaluados y orientados a la transformación de estos conocimientos en algo nuevo. Por ende, debe existir un acompañamiento exclusivo en la formación de profesores teniendo en cuenta los conocimientos específicos del CTPC (Angeli & Valanides, 2005; Angeli, 2005; Valanides & Angeli, 2006, 2008a, 2008b). Es por ello que en cualquier programa de desarrollo del CTPC, se debe tener en cuenta las creencias del profesor en formación, su experiencia práctica, las comprensiones de las concepciones de sus estudiantes y las dificultades relacionadas con el contenido (Angeli & Valanides, 2009). Por ende se propone tener en consideración, el conocimiento de los estudiantes, el conocimiento del contexto en el cual se desarrolla el proceso de formación y aprendizaje, así como los conocimientos propios del CTPC²¹ (Angeli & Valanides, 2009).



²¹ Esta integración de conocimientos los autores los mencionan como ICT-TPACK (el conocimiento del contenido curricular, el conocimiento pedagógico, el conocimiento tecnológico, el conocimiento de los sujetos de formación y el conocimiento del contexto dentro del cual tiene lugar el aprendizaje) (Angeli & Valanides, 2009).

Figura 2: El Modelo ICT-TPCK de Angeli y Valanides. (2009)

La Cartografía de la tecnología adopta ideas del constructivismo socio-cognitivo, considerando que las transformaciones educativas más eficaces son aquellas que crean conflicto socio-cognitivo, propiciando el diálogo y la negociación de significados de los sujetos de formación cuyas concepciones previas son diferentes (Valanides & Angeli, 2008c; Valverde-Berrocso, Garrido & Fernandez, 2014). El ICT-TPCK es un marco conceptual que considera a los sujetos en formación con sus diferentes formas de aprender, quienes transforman el contenido usando múltiples representaciones a través de distintos medios tecnológicos de forma que junto con la tecnología constituyen un sistema cognitivo en conjunto (Valverde-Berrocso, Garrido & Fernandez, 2014).

2.3 Las TIC como herramientas cognitivas

Entendiendo que las TIC son aquellos instrumentos y procesos contruidos por el hombre para ser utilizados en la búsqueda , adquisición, almacenamiento, organización, control, procesamiento, transmisión e intercambio de la información buscando la optimización de los procesos de información y comunicación en la actual sociedad con la finalidad de mejorar los procesos de construcción y socialización del conocimiento en pro de la atención de necesidades y demandas tanto a nivel social como en contextos educativos (Viafara, 2015; Zambrano, 2015).

Se podría decir que a nivel epistemológico hay dos posiciones fundamentales acerca de las TIC: La primera las considera como herramientas o instrumentos mediadoras del conocimiento, y la segunda las ve como formas de representación del pensamiento, más cercanas al lenguaje y por tanto ligadas a la forma del pensamiento (Maldonado & Maldonado, 2000; Maldonado, et al, 2008; Maldonado & Serrano, 2008).

En la primera posición (1), las TIC en la escuela se utilizan como medios de comunicación para la trasmisión de información a los estudiantes de forma unidireccional, por lo que desde esta visión, se ha generado en muchas ocasiones, resultados decepcionantes de implementación de innovaciones educativas potenciadas por las TIC (Jonassen & Reeves, 1996; Candela, 2020). Por el contrario desde la segunda posición (2), las TIC son usadas como 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 lo hacen como “herramientas cognitivas²²” las cuales permiten la interpretación y organización del conocimiento desde un contexto sociocultural (Candela, 2020), de esta forma se genera el aprendizaje “con” la tecnología mientras desarrollan las diferentes actividades planteadas en el aula (Oppenheimer, 1997). A partir de esta visión, las TIC pueden considerarse como *“...herramientas que permiten trascender las limitaciones cognitivas del procesamiento humano para ponerse así al servicio de los procesos investigativos en los diversos medios sociales”* (Azevedo, 2014) Véase también en (Aparicio & Ostos, 2018, p. 2).

Por consiguiente se trata de considerar las posibilidades que ofrecen las TIC con el fin de acceder, mostrar y presentar problemáticas y/o ejes temáticos complejos; profundizar en la representación inicial del caso o problema tratado en el salón de clases y progresar en el planteamiento del mismo, estableciendo procesos de comunicación y trabajo en equipo a través de la construcción del conocimiento usando diversas formas de representación (Coll, Mauri, & Onrubia, 2008; Aparicio & Ostos, 2018), así el estudiante puede acceder a una variedad de representaciones a través de estas herramientas permitiendo que él haga interpretaciones de su entorno, propiciando la generación de su nuevo conocimiento, contrario a cuando se menciona que la tecnología es la mediadora del conocimiento (Aparicio, 2015).

Las herramientas cognitivas combinan las diferentes formas de razonamiento que sustentan el desempeño en un contexto determinado, 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 científicas²³ (Candela, 2016; Candela, 2020). Por ende deben ser pensadas como un conjunto de herramientas que favorecen a los procesos cognitivos generados en el aprendizaje (lo que ocurre con la tecnología²⁴, no a través de la tecnología), permitiendo que el estudiante asuma su propio conocimiento (Aparicio, 2015).

²² Gros 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. (Gros, 2013)

²³ *“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 & Solarte, 2017).

²⁴ *“Aprender con la tecnología supone el uso y la implementación de las herramientas cognitivas en los procesos de aprendizaje suponiendo la disposición de un facilitador suficientemente preparado para que sea*

Netchine-Grynberg (1995) afirma que las herramientas cognitivas deben presentar las siguientes características: “(1) Están culturalmente formadas y transformadas para las diferentes funciones de las actividades humanas dentro de un contexto de actuación específico; (2) encierran estructuras semióticas que brindan los medios para construir representaciones que guíen las acciones de los sujetos; (3) forman y activan las estructuras cognitivas de las personas el propósito de mejorar sus procesos de razonamiento y acciones inteligentes encaminadas a dar respuesta a determinadas problemáticas; (4) son instrumentales y orientadas a la meta, formando relaciones cognitivas y acciones de mediación entre los seres humanos y el medio ambiente”.

Por lo tanto las herramientas cognitivas deben ser llevadas a la comunidad educativa con el fin de generar motivación a la innovación, estimular el aprendizaje, generar redes de aprendizaje, procesar, clasificar la información recogida, interpretar y resignificar los datos obtenidos mediante diversas investigaciones educativas, promoviendo la generación de nuevos conocimientos o el planteamiento de modelos científicos por parte de investigadores y/o estudiantes (Ferreira, 2014; Aparicio & Ostos, 2018).

De forma que en este proceso de formación, los profesores²⁵ y estudiantes no confrontarán directamente “la realidad” del contenido a tratar²⁶, sino que experimentarán e interiorizarán las diversas actividades educativas-científicas a través de las estrategias que utilizarán de las TIC como herramientas cognitivas, destacando la potencialidad de las simulaciones que a partir de la interacción por medio de sus visualizaciones, contribuirán a que los estudiantes utilicen sus conocimientos previos, accediendo al estudio de los principales aspectos del mundo microscópico (Fanaro, Otero & Arlego, 2007).

2.3.1 Tipologías de las TIC como herramientas cognitivas

Las herramientas cognitivas albergan una serie de combinaciones distintas enfocadas en el pensamiento crítico, complejo y creativo (Jonassen, 2000), por ende se clasifican en las siguientes tipologías teniendo en cuenta unas ciertas características en común, llamado por Jonassen, Carr & Yueh “La clasificación de las herramientas

capaz de acompañar el camino del aprendiz y promueva en él la construcción del conocimiento, y no solo la reproducción de información”. (Aparicio, 2015, p 30)

²⁵ En formación.

²⁶ En este caso, la naturaleza cuántica de la luz.

cognitivas por computador” (1998) (Aparicio, 2015; Aparicio & Ostos, 2018; Andrango-Toaquiza, et al., 2020).

2.3.1.1 Herramientas de organización semántica:

Estas herramientas tecnológicas permiten la organización de la información según la temática, el objeto de estudio, los modelos a plantear, entre otros. El profesor o el estudiante pueden diseñar estructuras, clasificar y filtrar la información con el objetivo de transformarla en conocimiento. En este grupo de herramientas se pueden encontrar las bases de datos, esquemas, tablas y mapas conceptuales y mentales, así como programas y aplicaciones específicas. Ejemplos: ATLAS – TI, CMapTools, Scribd, Google Drive, MySQL, MAXQDA, Dedoose, NVivo

2.3.1.2 Herramientas de comunicación y colaboración:

Estas herramientas permiten la comunicación social en ambientes sincrónicos y asincrónicos, lo que podría propiciar el aprendizaje colaborativo y la comunicación según su uso, requiriendo que los estudiantes puedan interpretar mensajes, razonen su contenido y puedan producir respuestas coherentes. Las plataformas virtuales, las redes sociales y los correos electrónicos pertenecen a este tipo de herramientas, como también: Moodle, INTU, Facebook, Twiter, Whatsapp, Telegram, Instagram, wikis, Gmail, Outlook, redes virtuales de aprendizaje, entre otros.

2.3.1.3 Herramientas de construcción de conocimiento:

En este tipo de herramientas permiten que los profesores y los estudiantes podrán desempeñarse como administradores de proyectos, ser diseñadores de programas enfocados en conocimientos específicos, organizar y presentar ideas, ser divulgadores de información enfocadas en diversas investigaciones (divulgación científica), usando distintos recursos como son los editores de webs, de contenido multimedia: YouTube, Picasa, OpenShot, Blender, VSDC, Shotcut, TED, iMovie, Lightworks, VideoPad, GoPro, QuikStories, Sublime Text, Komodo Edit, etc.

2.3.1.4 Herramientas de modelado dinámico:

Permiten describir relaciones dinámicas entre objetos, así como la manipulación, la visualización y el cálculo de diferentes representaciones de información cuantitativa, propiciando la reflexión, la organización y la modificación de un conjunto de datos, tal y como ocurre con las Hojas de cálculo como Excel de Microsoft, sistemas expertos

(simuladores de resolución de problemas), Qiskit, IBM Quantum Experience, MATLAB, lenguaje R, Open Stat, Genstat Discovery Edition, entre otros.

2.3.1.5 Herramientas de interpretación de la información:

Estas herramientas permiten representar modelos mentales a través de imágenes y del dinamismo que se genera en la representación de “la realidad”, por lo que su visualización es interpretativa o representativa. A través del uso de estas herramientas los estudiantes pueden sentirse estimulados para pasar de lo abstracto a lo “real”. En estas se ubican los laboratorios virtuales y los simuladores como son: PHET, ALGETEC, virtual STEM, Eduteka, OVAs, Educaplus, física en la escuela – html 5, Tracker, entre otros.

En el caso de los simuladores, se esperan que sean interactivos, intuitivos (de fácil uso) y que presenten altos niveles de realismo (en particular la relación entre la interactividad y el realismo con la intuitividad de esta) (Velasco & Buteler, 2017), propiciando la creación de escenarios para que los estudiantes a través de la aproximación del quehacer científico desarrollen sus capacidades y puedan tener las herramientas necesarias para comprender el mundo que los rodea (MEN, 1998; Peñata et al., 2016).

Los aportes de los simuladores en el proceso de enseñanza de la física son significativos, ya que permiten construir situaciones ideales, muchas veces imposibles en condiciones de laboratorios reales, como por ejemplo en física cuántica los cuales permiten representar fenómenos cuánticos imposibles de vislumbrar con los métodos clásicos de experimentación en condiciones normales a nivel educativo, ofreciendo beneficios como:

- Permitir que los estudiantes experimenten situaciones que serían difíciles o imposibles de recrear en un laboratorio real, como simular eventos extremos o experimentos costosos.
- Ayudar a visualizar y comprender mejor los conceptos físicos, por lo que los estudiantes pueden evidenciar cómo los sistemas físicos interactúan en tiempo real y la relación de dependencia entre variables físicas.
- Permitir realizar experimentos controlados, ajustando variables, observando resultados, propiciando el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y resolución de problemas.
- Ofrecer una retroalimentación inmediata y precisa, buscando que los estudiantes evalúen la comprensión de los conceptos físicos, replanteando sus concepciones.

- Fomentar la autonomía en su proceso de aprendizaje, permitiendo la experimentación a su propio ritmo.
- Utilizar los simuladores como una forma de acercamiento a los fenómenos más abstractos y poco intuitivos (en física cuántica, por ejemplo), lo que no se podría lograr en un laboratorio de forma tradicional.

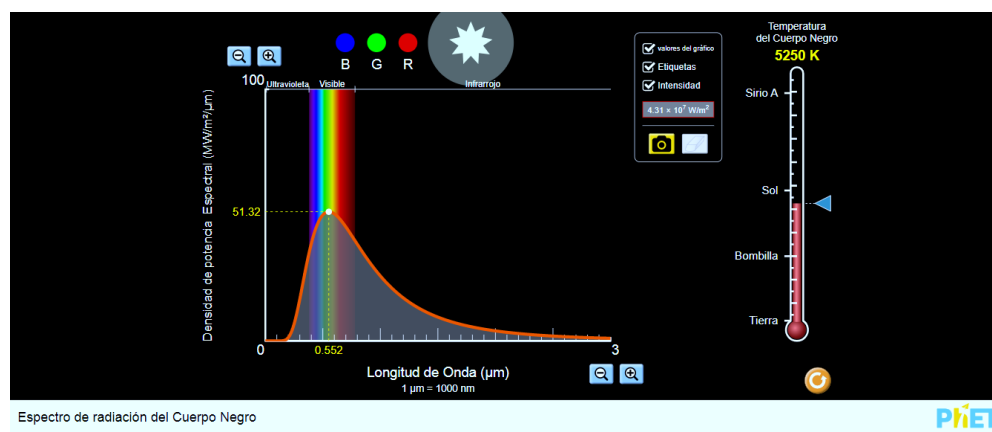


Figura 3: Simulación del “Espectro de radiación del cuerpo negro” en Phet Interactive Simulations

Tal y como lo menciona Infante Jiménez “las simulaciones virtuales destacan por su impacto visual y sus características de animación, las cuales simulan el ambiente de un laboratorio real” (Jiménez, 2014, p 917). Es así que para los estudiantes y docentes, los simulares permiten el procesamiento de mayor cantidad de información,

al propiciar la concentración y atención hacia la comprensión de fenómenos naturales y hacia los resultados, por encima de los aspectos instrumentales y mecánicos que se generan comúnmente en un experimento²⁷ (Ríos, 2019).

2.4 Modelos y modelización en la ciencia y en enseñanza de las ciencias

Con el fin de definir el fundamento teórico y pedagógico de la modelización como estrategia didáctica en la enseñanza de las ciencias, se parte del análisis de la noción de modelo desde un carácter epistémico implicando el reconocimiento del concepto de modelo científico y su visión dentro de las practicas científicas, posteriormente, la referencia de

²⁷ “Durante la simulación a través de software el estudiante puede interactuar con las variables del fenómeno estudiado, modificándola para obtener resultados diversos, un aspecto que aporta a la comprensión del fenómeno” (Ríos, 2019)

modelo que procede de las ciencias cognitivas relacionándose con el concepto de modelo mental como un concepto que permite fundamentar los procesos de cognición humana (Zuluaga, 2017; Cuellar, 2021A).

2.4.1 Modelos científicos

A finales del siglo XIX surge la corriente filosófica del positivismo científico que procura justificar la consolidación de la mecánica (clásica) como la forma verdadera de explicar el comportamiento de la naturaleza y el método inductivo como método universal de investigación (García, 2009), al sugerir que el mundo consiste en hechos positivos y reales que se generan a través de fenómenos observables definiendo el conocimiento científico en la descripción de estos fenómenos (Mansoor, 2010). Esta perspectiva muestra una concepción de “la realidad” en la cual, los hechos y fenómenos naturales existen por sí mismos, independientes del observador, es decir que el papel del científico es describir las leyes que están en la naturaleza (García, 2009; Mansoor, 2010; Zambrano, 2015).

Esta visión de ciencia es criticada por muchos epistemólogos y pedagogos a partir de la concepción del conocimiento científico desde un enfoque constructivista, mencionando que la actividad científica está en constante desarrollo, estando estrechamente relacionada con el contexto en la que se elabora a través de teorías científicas (Hodson, 1992). Para el profesor Agustín Adúriz-Bravo un rasgo en común en el cual concuerdan los científicos naturales y los investigadores en epistemología de las ciencias, es considerar el modelo como un sustituto o un “subrogado” de los sistemas reales que se están estudiando, por ende los científicos trabajan con “representaciones” de estos fenómenos naturales con el fin de facilitar su comprensión, utilización y divulgación (Adúriz-Bravo, 2010).

Lo que el científico observa e investiga es una “construcción” de la realidad de acuerdo con su formación, marco teórico, valores sociales y culturales, por lo tanto, el que hacer del científico responde más a las demandas sociales y culturales que a las doctrinas filosóficas (García, 2009), por lo que no se pueden imponer métodos para conocer la naturaleza (Fleck, 1986; Kuhn, 1972).

Por lo que las teorías científicas como representaciones específicas de la ciencia, se convierten en lo más propio e importante de la actividad científica (Adúriz-Bravo &

Izquierdo, 2009; Bravo, 2010). Estas representaciones están formadas por modelos teóricos y por dominios de fenómenos. “Los científicos desde sus prácticas elaboran modelos teóricos de manera creativa e imaginativa, para conseguir que muestren o sugieran las características “transversales” de determinadas agrupaciones de fenómenos” (Lombardi, 1998; Izquierdo-Aymerich et al., 1999; Bravo, 2010), véase también (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2009, p. 43).

Para Adúriz-Bravo & Izquierdo (2009), “Las teorías no son solo los enunciados teóricos de los que aquellas están compuestas, sino que contienen también los hechos interpretados por ellas. Además, las teorías científicas no se reducen a un saber de naturaleza proposicional, sino que constituyen también un ‘saber cómo’ (know-how) en torno a las explicaciones e intervenciones que se pueden hacer con ellas. Una teoría es, por tanto, una familia de modelos, pero más que una simple suma de estos modelos, porque estos últimos están vinculados por relaciones lógicas y experimentales que aseguran cierta coherencia al conjunto” (p. 44).

Por lo anterior, se podrá decir que las teorías científicas consisten en “familias” de modelos, en las que cada uno de ellos crea una representación individualizada de una situación posible comparable a mapas reales del mundo, en la que se toma al modelo teórico como la unidad de análisis epistemológico (Giere, 1988; Zuluaga, 2017). Estos modelos están relacionados dentro de una teoría por vínculos cognitivos, por esa razón se puede asociar una hipótesis de aplicabilidad, que afirmaría que esa representación cognitiva guarda una relación de similitud con algún sistema de realidad (Giere, 1988; Izquierdo-Aymerich et al., 1999; Zuluaga, 2017). La relación del conocimiento con ese sistema de realidad se basa en cómo el modelo²⁸ se ajusta a dicho sistema, objeto o fenómeno representados, lo que implica la posibilidad de “coexistir” en diferentes modelos con diferentes explicaciones (Giere, 1999; Adúriz-Bravo, 2010; Zuluaga, 2017).

Para Rosária Justi la principal función de los modelos científicos, es la capacidad que tienen de representar el mundo natural a través del pensamiento, por ello los modelos se convierten en instrumentos mediadores entre la teoría y la realidad, siendo instrumentos autónomos con relación a ambas (2006).

²⁸ Cualquier representación, subrogante, en cualquier medio simbólico, que le permite pensar, hablar, actuar con rigor y profundidad sobre el fenómeno a ser estudiado o analizado (Izquierdo-Aymerich et al., 1999).

Las distintas explicaciones, marcos teóricos y opiniones encontradas referentes al concepto de modelo científico no solo se generan frente a su definición, así como a la relación existente entre teoría vs realidad, sino también a los siguientes criterios que se tienen en cuenta en el momento de clasificarlos (Gilbert & Boulter, 2000; Islas & Pesa, 2004; Adúriz-Bravo et al, 2005, Joshua & Dupin, 2005; Adúriz-Bravo, 2010):

Modelo interno “mental” vs modelo externo “expresado”: Se refiere al sentido de mundo que dan la teorías científicas en el momento de su aplicación, cobran sentido tanto para docentes como estudiantes (agentes cognitivos), *“frente al usual análisis sintáctico, priorizan un acercamiento semántico, pragmático y retorico”* (Adúriz-Bravo, 2010, p 149).

Modelo físico, analógico o teórico: Según esta caracterización las teorías científicas son tanto enunciados teóricos como hechos interpretados por dichas teorías, por lo que una teoría científica es *“una familia de modelos, pero más que una simple suma de estos modelos, porque estos últimos están vinculados por relaciones lógicas y experimentales que aseguran cierta coherencia al conjunto”* (Joshua & Dupin, 2005).

Modelo histórico “perimido” vs modelo actual “vigente”: Las teorías científicas quedan mejor determinadas y caracterizadas por los modelos que se usan a medida del tiempo según se vayan realizando nuevas interpretaciones del universo. Por ende se trata de entender la naturaleza profunda del modelo científico presentado, más que los enunciados que se usan en la teoría para describir los fenómenos naturales respectivos.

Modelo personal “idiosincrásico” vs modelo consensuado “compartido”: No hay una relación tan directa entre lo que decimos o pensamos referente a un fenómeno natural (proposiciones), y la relación mediada por los modelos como representaciones abstractas del universo construidas por una comunidad de científicos de forma consensuada y compartida.

Modelo “sabio o erudito” vs modelo “pedagógico o didáctico”: Se refiere a la relación que existe entre los modelos desarrollados y construidos por las comunidades de los científicos y los modelos transpuestos con el fin de ser enseñados en una comunidad académica, tomando distintas formas lingüísticas con las que se pueden representar estos modelos transpuestos. Los modelos abstractos pueden presentarse a través de maquetas,

dibujos, u otros medios con el fin de llevarlos al salón de clases de forma simple, destacando solo lo esencial buscando ser explicativos (Izquierdo, 2007).

2.4.2 Modelo mental

Como se manifestó anteriormente, la ciencia se puede interpretar como una actividad cognitiva que se ocupa de la construcción del conocimiento mediante el desarrollo, aplicación y validación de modelos como elementos mediadores entre la teoría y la realidad (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2009; Bravo, 2010; Zuluaga, 2017). En este sentido, la construcción de un modelo es un proceso que debe ser interpretado a partir de la teoría de la mente y la cognición humana. Aunque, desde que las ciencias cognitivas han descrito el razonamiento y la cognición a través de modelos mentales desde diversos constructos teóricos, no existe una definición general de lo que es un modelo mental (Greca & Moreira, 1998; Gutiérrez, 2005).

Cuando se hace referencia al modelo mental, se debe remontar a las definiciones de Johnson-Laird (1983), de Norman (1983), de Carroll & Olson (1987) y Borges (1997), las cuales permitieron a las investigaciones enfocadas en las ciencias cognitivas comprender el funcionamiento de la mente relacionándola con las características fenomenológicas que se enmarcan en las ciencias naturales, dado que los modelos mentales definidos desde este punto de vista, tienen un campo de aplicación más amplio que les permite ser aplicados en diferentes contextos investigativos entre ellos el educativo (Johnson, 1983). Estas definen los modelos mentales como:

(1) “...los modelos mentales consisten en unidades de significado denominadas “tokens” las cuales pueden ser manipuladas mentalmente para dar cuenta de situaciones que el sujeto necesita...es una representación de información que corresponde análogamente a lo que se representa, ...” (Johnson, 1983); (2) “... se utilizan para caracterizar las formas en que las personas comprenden los sistemas físicos con los que interactúan...” (Norman, 1983); (3) “...es una estructura rica y elaborada que refleja una comprensión del sujeto de lo que contiene el sistema, cómo funciona y por qué funciona de esa manera. Se puede considerar como un conocimiento suficiente del sistema...” (Carroll & Olson, 1987); (4) “...es una forma de organizar nuestro conocimiento sobre un objeto, proceso o fenómeno particular que utilizamos para pensar en ello por medio de

simulaciones mentales...” (Borges, 1997); (5) “...son representaciones cognitivas internas de carácter conceptual, metodológico, actitudinal y axiológico a partir del cual los individuos construyen y reconstruyen explicaciones, para ellos mismos y para los demás.” (Amador, et al, 2005), entre otros autores.

Por otro lado Otero sostiene que el individuo es quien establece las diversas representaciones y unidades mentales determinando la percepción subjetiva del mundo, ya que poseen un cierto orden y significado dependiendo del contexto en el cual se generan (1999). Estas representaciones se consideran como “*cualquier noción, signo o conjunto de símbolos que significan algo del mundo exterior o de nuestro interior*” (Tamayo, 2006, p. 39). De manera similar, Justi afirma que las representaciones se utilizan a partir de lo que se puede inferir a través de sus características, generándose mediante sus cualidades materiales (no solo de las ideas), por lo que pueden construirse tanto a nivel individual como colectivo, permitiendo darle mayor sentido o interpretación (Justi, 2006; Chamizo, 2010; Rocha, 2018)

A continuación se mencionan algunas características que podrían generalizar el concepto de modelo mental (Zuluaga, 2017): (1) Un modelo mental es una estructura rica y elaborada por lo que es diferente de una representación de información aislada sobre el sistema: (Borges, 1999); (2) Los modelos mentales pueden profundizarse para generar predicciones y explicaciones sobre un evento (Greca & Moreira, 1998); (3) Un modelo mental representa diferentes tipos de información, concretamente, lo que el sistema contiene, su funcionamiento, su estructura y su comportamiento, relacionándose con la ontología de los objetos y eventos que se cree que existen en el mundo, de tal forma que implica cierto grado de sistematización y coherencia (Borges, 1999); (4) Un modelo mental se compone de diferentes entidades representando un estado particular de “cosas” que están estructuradas de una manera adecuada y coherente con el uso previsto, por lo tanto no hay un modelo mental único, pueden existir varios modelos que obedezcan al proceso que se pretende operar. (Moreira, 1996).

Por consiguiente los modelos mentales se utilizan en el proceso de análisis de la actividad científica y por ende son importantes en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales (Zuluaga, 2017), ya que conducen a la formación de hábitos apropiados de trabajo intelectual que permiten el aprendizaje de los significados

interrelacionados propios del lenguaje científico desarrollándose (posiblemente) en un pensamiento científico (Uribe & Solarte, 2017). De modo que se puede establecer una relación entre los modelos mentales, los modelos científicos, y los modelos que se enseñan y aprenden en el salón de clases (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2009; Bravo, 2010; Zuluaga, 2017).

Chamizo menciona que pueden existir diversas interpretaciones de los modelos mentales de acuerdo a la intención que se tenga, permitiendo identificar modelos mentales tanto de forma ejemplificada (cuando se tiene un referente para imitar o comparar) como analógicos (que permiten contextualizar y representar cierta porción del mundo con un objetivo específico, estas representaciones son propias de los sujetos ya sea de manera individual o grupal) (2010). A su vez se pueden identificar por tres características específicas: (1) de acuerdo a la analogía (mentales, materiales y/o matemáticos), (2) de acuerdo al contexto (pueden ser didácticos o científicos teniendo en cuenta que principios los sustentan y la funcionalidad que se les asigne) y (3) de acuerdo a la porción del mundo que se desea representar (se identifican los objetos, fenómenos y/o sistemas) (Chamizo, 2010; Castiblanco & Nardi, 2014; Rocha, 2018).

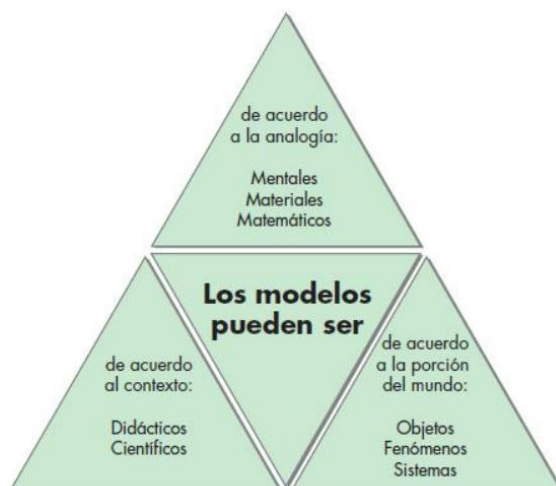


Figura 4: Tipología de los Modelos. (Chamizo, 2010)

Por lo tanto, se comprende un modelo mental como un conjunto interrelacionado de creencias que da forma a las expectativas de una persona para el futuro e influye en su forma de entender cómo funciona el mundo. Por ende, obtener, comprender y actuar acerca

de la manera en que los individuos o grupos de personas conceptualizan los modelos mentales, tanto individual como colectivamente, pueden revelar desafíos de implementación en el campo de la educación que parecen poco claros o intratables (Summers et al., 2021).

2.4.2 Modelos en la enseñanza de la ciencia

Hasta hace un tiempo se asumía que una de las funciones principales de los docentes de ciencias naturales, era la trasmisión de los conocimientos científicos puesto que la información brindaba debía ser memorizada por los estudiantes, llevándola a un proceso cíclico de repetición hasta lograr la posible “interiorización” (Zambrano, 2003; García, 2009; Perafán, Badillo & Bravo, 2016). Este proceso transmisivo de las ciencias que en muchas ocasiones aún persiste de forma inconsciente, ha sido presentado en la ciencia desde diversos puntos de vista (visiones): descontextualizada, individualista, elitista, empiro-inductivista, atórica, rígida, algorítmica, matematizada, aproblemática, ahistórica, acumulativa de crecimiento lineal (Fernández, et al., 2005), y que no corresponde con la forma en que el conocimiento científico se va construyendo y “evolucionando”. Estas visiones generan una idea de ciencia que parece coincidir con la baja motivación de los estudiantes por aprenderla, y a su vez, las analfabetización científica²⁹ que se percibe en la sociedad (Uribe & Solarte, 2017; Zuluaga, 2017).

Como alternativa en pro de la superación de estas visiones deformadas, se desarrolla la enseñanza de las ciencias naturales a través de modelos científicos y modelos mentales descritos anteriormente, abriendo “un extraordinario espacio de juego” para el trabajo en las aulas de ciencias naturales (Giere, 1999; Izquierdo-Aymerich, 2000; Adúriz-Bravo, 2001), por lo que “...reduce la pesada carga impuesta por los formalismos que supuestamente se han de seguir cuando se hace ciencia escolar...es decir que lo importante no es enseñar a repetir y a manipular enunciados compactos... sino poder pensar sobre ciertos hechos-clave reconstruidos teóricamente para dar sentido a los fenómenos del mundo que nos rodea ...” (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2009, p. 46).

²⁹ Falta de habilidades y competencias necesarias para la formación de un pensamiento científico. Esto se ha hecho aún más evidente en las actuales concepciones que se tienen de la transmisión y prevención frente a las enfermedades generadas por el virus del Covid -19. (Visión deformada de las ciencias médicas). (Tony, S. et al., 2021)

En este sentido, un modelo científico llevado al aula (o un modelo científico escolar) es una representación de las explicaciones de los diversos fenómenos estudiados por los científicos, y se referencia a través del desarrollo de los procesos educativos, permitiendo identificar las necesidades cognitivas y las construcciones del conocimiento realizadas por los estudiantes (Tuay & Céspedes, 2018).

Por ende, *“los seres humanos no aprehendemos el mundo directamente, sino que lo hacemos a través de las representaciones que tenemos de él, pues la percepción implica la construcción de modelos mentales”* (Greca, 1996, p.98). Estos modelos didácticos son diseñados con el fin de transformar el conocimiento científico, en conocimiento enseñable, posibilitando el aprendizaje al emplearse como instrumentos que potencian el conocimiento científico en el salón de clases, (Chamizo, 2010; Ramírez & López, 2010; Rocha, 2018).

Aduriz-Bravo plantea una serie de características que se deben tener en cuenta en el momento de construir modelos científicos con el objetivo de enseñar ciencias, evidenciándose por medio de las representaciones externas como medio de apoyo para manifestar las representaciones internas generadas por los estudiantes (2013) (Rocha, 2018):

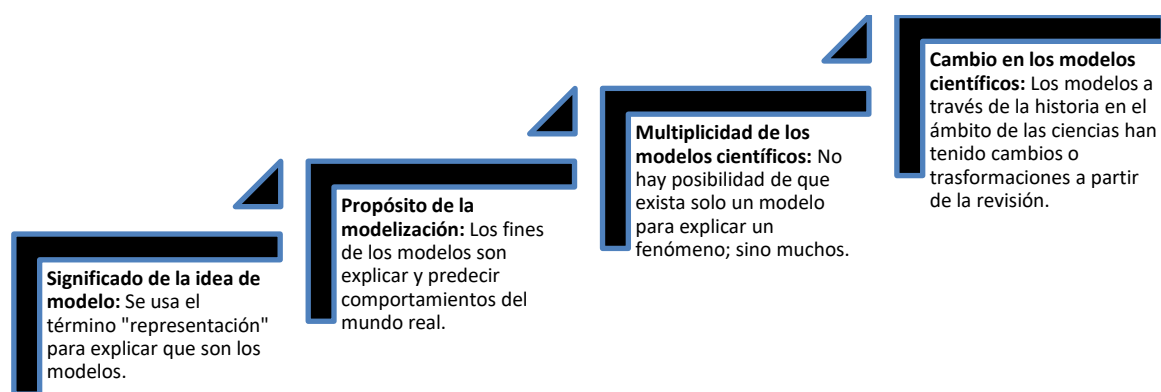


Figura 5: Características de la construcción de modelos científicos. (Aduriz-Bravo, 2013)

En el proceso de enseñanza, el profesor procura enseñar³⁰ modelos científicos escolares a través de diferentes instrumentos de enseñanza (modelos conceptuales), con la

³⁰ El verbo 'enseñar' no se usa en el sentido clásico, relacionado a la transmisión del contenido como un conocimiento acabado, vía el lenguaje, considerado portador de significados, sino en un sentido mucho más

finalidad de que el estudiante construya las herramientas de aprendizaje (modelos mentales) relacionados con estos modelos conceptuales que, a su vez, deben ser coherentes con los sistemas físicos modelizados (Greca, & Moreira, 1998; Zuluaga, 2017). Es por ello que la generación de condiciones se hace necesaria para que los estudiantes construyan representaciones mentales más profundas que permitan la elaboración de sus modelos mentales, con el fin de producir una mayor “consistencia” en relación con los modelos que han planteado los científicos a lo largo de la historia (Adúriz-Bravo, 2010).

Giere relaciona el concepto de modelo con dos elementos de forma individual: (1) el conjunto (amplio y heterogéneo) de recursos simbólicos (expresivos) que sirven para definirlo y (2) el mundo (sistema) el cual vienen a modelizar, con el cual mantiene una relación de “parecido a...” que técnicamente se llama similaridad (Giere, 1992; Adúriz-Bravo, 2010).

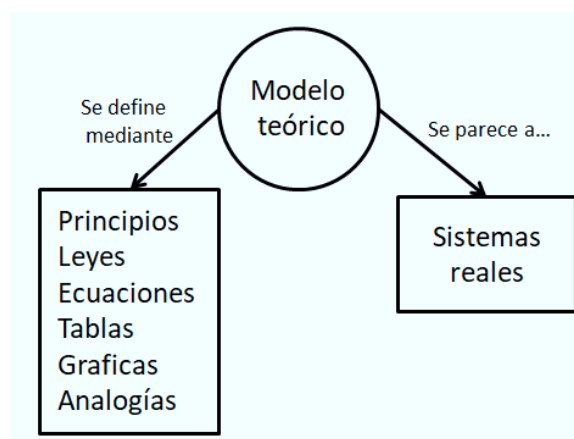


Figura 6: Concepción de modelo teórico según la visión basada en modelos, adaptada de la propuesta de Giere. (Aduriz-Bravo, 2010)

Tal y como lo menciona Adúriz-Bravo, “esta nueva definición de modelo abriría un extraordinario espacio de juego para el trabajo en el aula de ciencias naturales...puesto que quitaría la pesada carga impuesta por los “formalismos” que supuestamente se han de seguir a rajatabla cuando se hace ciencia escolar. Es decir, ahora no sería tan importante enseñar a repetir y a manipular enunciaciones proposicionales compactas (por ejemplo $F=m*a$), sino poder pensar sobre ciertos “hechos claves reconstruidos teóricamente”...para dar sentido a los fenómenos del mundo que nos rodea...” (2010).

complejo, enfocado en la creación de condiciones para que los estudiantes construyan sus representaciones mentales del fenómeno respectivo.

Sin embargo la integración de los aspectos pedagógicos para la enseñanza, en este caso de la física, no puede ser limitada a la interacción y conocimiento entre el modelo de un fenómeno natural y una lista de ideas espontáneas generadas en el salón de clases. De hecho, se debe utilizar esta relación de forma dinámica en la que el docente pueda desarrollar o ampliar su CTPC en relación al contexto particular en el que usará modelos de algún fenómeno físico, de allí nace la necesidad de repensar los conceptos y la estructura de las teorías físicas en una perspectiva didáctica, por lo que el uso de modelos para la enseñanza de las ciencias es el proceso educativo central. La investigación y la modelización de fenómenos físicos a través de relaciones continuas y bidireccionales entre evidencia, conjeturas, modelos y teorías es quizás la contribución más significativa que la enseñanza de la física puede ofrecer a la enseñanza de otras disciplinas científicas (Amabile, Annunziata, Artiano & Balzano, 2022; Balzano, 2022; Cuellar, 2022)

2.4.3 Modelización como estrategia didáctica

Dentro del campo de las ciencias, una de las principales actividades que desarrollan los científicos es el proceso de modelización, permitiendo mediar entre el constructo teórico de la ciencia y lo empírico (Bunge, 1974). Acher y otros autores afirman que la modelización es un proceso que permite el uso de experiencias y percepciones previas sobre el fenómeno natural que se pretende estudiar, dado que *“el establecimiento de comparaciones que proporcionan un esquema de generalización del contexto; el cual busca consolidar y contrastar un determinado modelo a través de la generación de preguntas consideradas como el eje central de la explicación de un fenómeno físico”* (Acher, et al., 2007, p. 399). Es por ello que se considera a la modelización como el eje central de los procesos del conocimiento de una disciplina científica, estableciendo las características de un fenómeno determinado permitiendo el análisis de los elementos esenciales para la interpretación de dicho fenómeno (Tuay & Céspedes, 2018).

Para Adúriz-Bravo e Izquierdo, la modelización es un proceso que requiere diferentes significados en las ciencias naturales (2009): (1). *“...es el proceso de creación de modelos científicos originales, novedosos respecto del cuerpo de conocimiento establecido en un determinado momento histórico”*; (2) *“... consiste en la construcción de argumentaciones en las que se subsumen los hechos científicos investigados bajo modelos*

disponibles que sean capaces de explicarlos o de dar cuenta de ellos”; (3) “... supone el ajuste de los modelos establecidos a causa de la aparición de nuevos datos “anómalos” durante la investigación, como resultado del contraste por medio de las hipótesis teóricas”; y (4) “... contiene también el ‘ejercicio’ intelectual de aplicar modelos ya existentes a explicar hechos ya estudiados en un entorno de enseñanza y formación” (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2009, p. 46). Por ende, hay modelización en todos los contextos de la actividad científica a través de la innovación, la aplicación, la evaluación y la educación (Adúriz-Bravo, 2010).

En todos los niveles de la educación en ciencias, el proceso de vincular modelos y fenómenos naturales, aparecen como una novedad para los estudiantes (aunque sea trivial para los científicos), ya sea que pongan en acción los modelos que han aprendido para explicarles a otros (o explicarse ellos mismos) ciertos fenómenos naturales, o que reconstruyan modelos científicos “robustos” ayudados por otros estudiantes, permitiendo explicar cuestiones que se les presentan como intrigantes (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2009; Adúriz-Bravo, 2010). Es decir que, el desarrollo de un buen proceso de modelización en el salón de clases permitiría generar la ruta clave de comprensión de cualquier fenómeno natural por parte de los estudiantes (Tuay & Céspedes, 2018). Es posible que estos procesos de modelización en el aula de ciencias naturales, se conviertan en una actividad eficaz “para enganchar a los alumnos en actividades encaminadas a ‘hacer ciencia’, ‘pensar sobre ciencias’ y desarrollar ‘pensamiento científico y crítico’ ” (Justi, 2006; Godoy, 2018).

Aunque dentro del análisis de la literatura, se conocen muy pocas investigaciones enfocadas en la formación de profesores para generar procesos de modelización en el salón de clases de ciencias naturales, el reconocimiento del valor de los modelos en la ciencia ha llevado a la reflexión sobre la importancia de la modelización en la enseñanza de las ciencias³¹, aproximando al estudiante al proceso de construcción, transformación y comunicación de la ciencia (Chamizo, & Franco, 2010; Zuluaga, 2017), lo que conlleva a la necesidad de generar procesos de capacitación de profesores de ciencias naturales (tanto en ejercicio, como en formación) frente al desarrollo de modelos científicos escolares, la

³¹ “La modelización es a su vez una propuesta didáctica para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y un objetivo de aprendizaje en sí mismo” (Godoy, 2018)

modelización en el salón de clases y su importancia en la enseñanza de las ciencias naturales (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2009; Chamizo, & Franco, 2010; Zuluaga, 2017; Tuay & Céspedes, 2018; Godoy, 2018).

De acuerdo con varios investigadores en la educación en ciencias, se esperaría alcanzar diversos objetivos en un proceso de formación de profesores de ciencias naturales en el que se considere la importancia de los modelos y la modelización como estrategia de enseñanza (Rawford & Cullin, 2004; Justi & Gilbert 2002, Van Driel & Verloop, 1999). Algunos de estos objetivos son: (1) *“Que los docentes tengan una comprensión de la naturaleza de un modelo en general, lo cual incluiría aspectos como ¿qué es un modelo?, ¿para qué puede usarse?, las entidades de las que consiste, su unicidad relativa, el tiempo histórico en el que fue válido, su capacidad para hacer predicciones y las bases para la acreditación de su existencia y su uso”*. (2) *“...tengan la habilidad para desarrollar buenas estrategias de enseñanza, es decir, aquellas que facilitan la comprensión de los estudiantes sobre los modelos”*. (3) *“...que los profesores tengan la habilidad para llevar a cabo actividades de modelización en el salón de clases”* (Rawford & Cullin, 2004; Justi & Gilbert 2002, Van Driel & Verloop, 1999; Justi, et al., 2011). Es así que *“el modelo constituye una guía extremadamente potente para la intervención sobre el mundo en el contexto de la actividad científica erudita y también en la enseñanza de las ciencias naturales”* (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2009, p. 46).

Para un proceso de formación de docentes usando la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias, se contemplan diferentes propósitos que se relacionan con la intencionalidad propia de la práctica educativa, lo que permitiría 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 & Izquierdo, 2009; Adúriz-Bravo, 2010; Tuay & Céspedes, 2018), a su vez, los profesores en formación deben desarrollar diversos tipos y niveles de desempeño que se generan en la actividad de modelizar, lo que diversos autores llaman “la competencia de modelización” (Lopes & Costa, 2007; Nicolaou & Constantinou, 2014; Papaevripidou, Nicolaou & Constantinou, 2014; Oliva, Aragón & Cuesta, 2015; Oliva, 2019). Esta competencia hace referencia al conjunto de

conocimientos, destrezas, valores y habilidades cognitivas necesarias con el fin de poder de modelizar; trabajar, elaborar y revisar los modelos elaborados y presentados en el salón de clases, se trata de entender su valor, las ventajas de su uso a nivel educativo, su carácter mediador y dinámico, así como sus limitaciones (Oliva, 2019). Esta competencia se debe integrar a las mencionadas por el Ministerio de Educación Nacional³² en pro de la construcción del pensamiento científico, permitiendo el razonamiento, la toma de decisiones, la resolución de problemas, el pensar con rigor de forma crítica valorando su conocimiento en la sociedad y el medio ambiente (MEN, 2004; 2016).

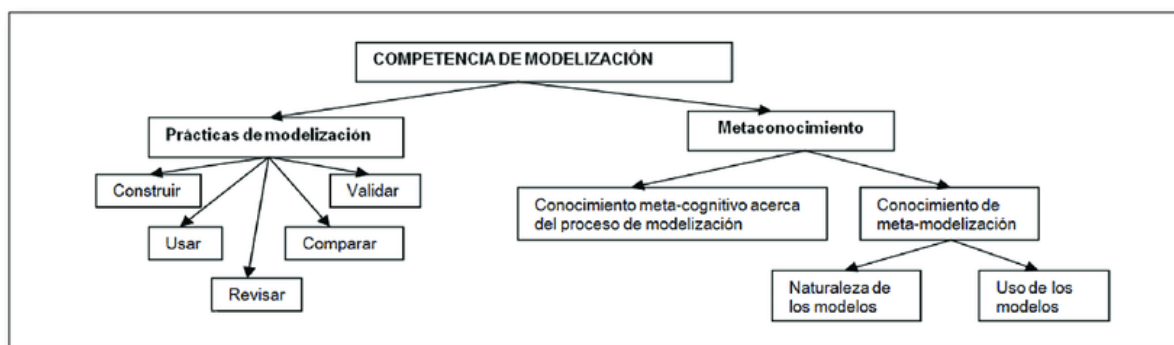


Figura 7: Componentes de la competencia de modelización. (Nicolaou & Constantinou, 2014)

Nicolaou & Constantinou (2014) caracterizan la competencia de modelización a través de una serie de componentes enfocados en el uso de destrezas las cuales “permiten a una persona usar reflexivamente y expresar una variedad de representaciones y modelos” (Oliva, 2019, p. 11), y como el conocimiento epistémico permite percibir adecuadamente los fenómenos naturales, así como el uso del modelo en situaciones educativas particulares (Kozma & Russell, 1997; Schwarz, 2002; Disessa, 2004; Nicolaou & Constantinou, 2014; Oliva, 2019). Estos autores analizan los componentes internos de esta competencia, proponiendo las siguientes capacidades necesarias (Nicolaou & Constantinou, 2014; Oliva, 2019):

Capacidad para construir modelos: El conjunto de destrezas necesarias para la construcción de modelos.

Capacidad para comparar modelos: Exige ser capaz de delimitar cuál es el modelo adecuado dependiendo sus posibles usos en el campo educativo.

³² Uso comprensivo del conocimiento científico, la explicación de fenómenos y la indagación (MEN., 2004;2016)

Capacidad para usar modelos: Es la posibilidad de usar un modelo para describir, explicar o predecir fenómenos naturales.

Capacidad para revisar modelos: Implica la capacidad de identificar limitaciones en los modelos y especificar procedimientos de revisión correspondientes.

El desarrollo de la competencia de modelización implica la comprensión acerca del rol de los modelos en las ciencias y del acto de modelizar, permitiendo que los docentes en formación comprendan la naturaleza de los modelos y de la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias naturales.

2.5 Algunos modelos de la naturaleza cuántica de la luz

Según el CTPC planteado en la presente investigación, el conocimiento del contenido (o disciplinar) se enfoca en los fenómenos relacionados con la naturaleza cuántica de la luz, puesto que su descubrimiento fue uno de los fenómenos naturales que permitieron los procesos iniciales de la formulación de la física cuántica (Marhuenda, 2018; Krijtenburg-Lewerissa, et al., 2018; Staderman et al., 2019; Méndez, 2020), representada a través de modelos científicos cuya descripción se diferencia de las leyes de la física a nivel macroscópico (física clásica), siendo poco intuitivos, complejos de representar y/o comprender, dado que tanto sus conceptos como los postulados en gran medida no se pueden captar por el llamado “sentido común”. Frente a ello, el nobel Richard Feynman manifestaba:

“(…) como el comportamiento atómico es tan diferente a la experiencia común, es muy difícil acostumbrarse, y a todos parece como algo muy peculiar y misterioso, tanto al novicio como al físico experimentado. Aún los expertos no lo entienden en la forma en que les gustaría hacerlo, y esto es perfectamente razonable, ya que toda la experiencia humana y la intuición humana se aplican a objetos grandes. Nosotros sabemos cómo actuarán estos objetos grandes: pero las cosas a escala pequeña no actúan precisamente en esa forma. De modo que tenemos que aprender respecto a ellas en una cierta forma abstracta o imaginativa y no en conexión con nuestra experiencia directa” (Feynman, 1963, p 37-2).

Por lo tanto, es importante mencionar algunos modelos de estos fenómenos naturales los cuales se tuvieron en cuenta en el proceso de formación planteado³³.

2.5.1 La catástrofe ultravioleta.

A finales del siglo XIX el universo parecía ser un lugar “simple y ordenado” considerándose las interpretaciones científicas de la naturaleza para ese momento (mecánica Newtoniana, termodinámica y el electromagnetismo de Maxwell); un claro ejemplo de ello está relacionado con la explicación de la medición de la temperatura a través de la Ley de Prévost³⁴, en el momento que se coloca un termómetro en un cuerpo considerado de baja temperatura, el cual radia más calor hacia la superficie “fría” que el que recibe de esta, por lo que su equilibrio térmico solo se alcanza a una temperatura más baja que la original (Alonso & Finn, 1995; Norma, 2006; Pérez, 2017).

Gracias a esta ley y a la Ley de Stefan- Boltzman³⁵, se pudo definir la radiación térmica como la radiación electromagnética que emiten los cuerpos como consecuencia de poseer cierta temperatura, por ende, un cuerpo que recibe una cierta radiación puede absorber dicha radiación, aumentando de esa forma su energía interna, reflejando la radiación exterior a través de la luz, formando diferentes colores (Alonso & Finn, 1995; Cuellar, 2020); a medida que un cuerpo se va calentando, se observa un cambio en su color, las zonas menos calientes no emiten luz visible aunque genere radiación, a medida del tiempo va adquiriendo un color rojizo, en el momento que la temperatura alcanza los 1400°C (hasta los 1600°C) va adquiriendo un color amarillo, y así sucesivamente hasta alcanzar el azul y violeta. Lo anterior ocurre porque la luz se considera un fenómeno

³³ Cabe anotar que los referentes que se tuvieron en cuenta en el desarrollo de estos modelos, estuvieron enfocados en textos académicos de física de la educación media vocacional, de divulgación científica y de usos básico en la educación superior, teniendo en cuenta el contexto del ciclo de educación en la cual se enfocó esta investigación (formación de profesores para la enseñanza de la física cuántica en la educación media).

³⁴ “*Todos los objetos están constantemente radiando y recibiendo energía calorífica del entorno, pero en el estado de equilibrio térmico, la cantidad que pierde un cuerpo por unidad de tiempo es igual a la absorbida durante el mismo intervalo en forma de radiaciones idénticas procedentes de los otros cuerpos que lo rodean*” (Alonso & Finn, 1995, p 812).

³⁵ La cual se desarrolló de forma empírica con el fin de explicar la emisión de los cuerpos cuando están sometidos a un proceso de agitación térmica (Norma, 2007): $R = \epsilon \sigma T^4$, donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann, equivalente a $5,6697 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$ y ϵ hacer referencia a la emisividad del cuerpo

ondulatorio, generando la variación del color o espectro de acuerdo a la longitud de la onda (Resnick, 1972; Pérez, 2017).

Como la calidad del espectro depende de la temperatura, se puede calcular la temperatura de un cuerpo caliente (como una estrella) analizando la radiación que emite.

Para estudiar los fenómenos naturales relacionados con la emisión de los cuerpos a profundidad, se idealizó un cuerpo que no reflejara la radiación en absoluto, es decir, un cuerpo que por sus diversas características, emitiera y absorbiera toda la energía disponible en forma rápida y eficiente, estando constantemente en equilibrio térmico, lo que haría que no refleje la luz. Por sus condiciones, a este cuerpo se le conoció como cuerpo negro (técnicamente se puede definir como aquel que se caracteriza por poseer un coeficiente de absorción igual a la unidad en todas sus frecuencias, formulado inicialmente por Gustav Kirchhoff) (Cuellar, 2016; 2020).

El cuerpo negro se puede representar como un agujero negro con un orificio muy pequeño, en la cual la radiación que entra tendría muy pocas probabilidades de salir, dado que este orificio está aislado del trabajo externo (Feynman, 1963). Según este modelo, si se tiene un objeto incandescente frente a un cuerpo negro (los cuales están aislados, eliminando la posibilidad de que haya un escape del calor), este ira absorbiendo todo el calor del otro cuerpo, por ende se ira calentando, llegando el momento en que la temperatura del cuerpo negro se equilibre con la del cuerpo incandescente, y por la segunda Ley de la Termodinámica, el cuerpo negro también debe radiar la energía.

Según ello la cantidad de radiación emitida por un cuerpo caliente debería aumentar indefinidamente con la frecuencia, lo cual no concordaba con los modelos experimentales que se generaban cuando se acercaban a frecuencias muy altas (ultravioletas), presentando un espectro de frecuencia finito, lo que contradecía los modelos planteados anteriormente basados en las teóricas cinéticas y electromagnéticas (Resnick, 1972; Alonso & Finn, 1995; Hewitt, 2007; Pérez, 2017). Esta contradicción de modelo teórico (presentado por Rayleigh- Jeans³⁶, la cual establece que $B_{\lambda}(T) = 2ckT/\lambda^4$ ³⁷) vs experimental, se conoció como “la catástrofe del ultravioleta”³⁸.

³⁶ Establece que la energía emitida por un cuerpo negro a una determinada frecuencia es proporcional al cuadrado de dicha frecuencia y a la temperatura del cuerpo. Esta ley parecía ser coherente con las

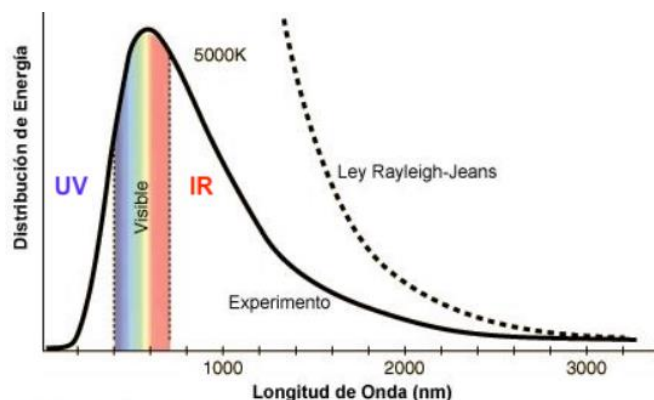


Figura 8: Comparación del modelo experimental de la radiación del cuerpo negro con el modelo teórico presentado por Rayleigh- Jeans, adaptado de Eisberg & Resnick (2000)

En el año 1900 un físico llamado Max Planck propuso un modelo empírico con la finalidad de describir el comportamiento del cuerpo negro, mencionando que la energía se debería representar a través de cantidades discretas³⁹ y no continuas como se planteaba anteriormente. El modelo propuesto se conoció como “cuantización de la energía”, en el que se mencionaba que los posibles estados energéticos estaban cuantizados por valores discretos (n), relacionando la energía E , con la frecuencia f , a través de una constante h (constante de Planck⁴⁰ equivalente a $6,626 \times 10^{-34}$ Js)

$$E_n = nhf$$

Así los osciladores solo tendrán permitido ciertos valores de energía, por ende, cuando pasan de un estado energético a otro, deben emitir o absorber energía en forma de paquetes o también llamados corpúsculos (Norma, 2006; Robitaille, 2007; Hewitt, 2007; Perez, 2017).

$$\Delta E = E_f - E_0 = hf$$

observaciones experimentales en el rango de longitudes de onda más largas (menor frecuencia), pero predecía un aumento de la energía radiada infinita a medida que la frecuencia se acercaba al ultravioleta.

³⁷ Donde c es la velocidad de la luz, k es la constante de Boltzmann, λ la longitud de onda y T la temperatura en Kelvin.

³⁸ La comprensión teórica de la radiación del cuerpo negro fue uno de los problemas más importantes para los físicos de finales del siglo XIX, lo que condujo a establecer las bases para construcción de la física cuántica (Alonso & Finn, 1995; Hewitt, 2007; Cuellar, 2016; 2020).

³⁹ Con el tiempo Planck describió esta representación como un “acto de desesperación” para dar solución a la llamada catástrofe del ultravioleta (Robitaille, 2007; Hewitt, 2007).

⁴⁰ Esta constante juega un papel fundamental en muchos modelos de la física cuántica, como en la mecánica cuántica y la teoría cuántica de campos. Por ejemplo, se utiliza para calcular la energía en las partículas de luz llamados más adelante “fotones”, la energía cinética de los electrones en un átomo y la frecuencia de las oscilaciones de un oscilador cuántico (Cuellar, 2016, 2020).

Este modelo permitió explicar la distribución espectral del cuerpo negro de forma teórica, solucionando la discrepancia entre modelos teóricos y experimentales lo cual llevo a la catástrofe ultravioleta⁴¹, pero no fue hasta que Albert Einstein resolvió el problema estructural de la física misma (Feynman, 1996), a través de su modelo propuesto conocido como el “efecto fotoeléctrico”; tal y como lo mencionan Cala & Eslava:

“estos problemas hicieron pensar a los científicos en la necesidad de un nuevo conjunto de principios que permitieran formalizar el comportamiento no clásico de un número creciente de procesos físicos que en general, desafiaban los modelos clásicos sobre la estructura de la naturaleza de la radiación” (2011, p. 11).

2.5.2 El efecto fotoeléctrico.

En 1905 Albert Einstein publicó un artículo (Einstein, 1905) que dio inicio a un cambio radical en la pensamiento existente sobre la naturaleza de la luz. Planteó a través del estudio de los fenómenos referentes a la fotoluminiscencia, el efecto fotoeléctrico y la ionización en gases por la luz ultravioleta⁴², un planteamiento que revolucionó la concepción de estos fenómenos naturales, realizado en años anteriores por el físico Max Planck (Planck, 1901), a través de un estudio alternativo (Gonzales, 2018) enfocado en la formulación de la hipótesis que la luz estaba formada por “cuantos” denominados posteriormente como “fotones”, cada uno de ellos con un valor de energía discreto a través de los paquetes de energía formulados por Planck (energía de la luz cuantificada) (Einstein, 1905; Roldan, Ben-Dov & Guerrero, 2004; Pérez, 2017; Gonzales, 2018). Por ende, la interacción de la luz con la materia era consecuencia de la interacción de estos “cuantos” con los átomos constituyentes de los diversos materiales (Einstein, 1905; Gonzales, 2018), es decir que la luz interactúa con la naturaleza como una corriente de fotones semejantes a las partículas (Norma, 2006; Santillana, 2014). Este fenómeno de la naturaleza se conoce como “el efecto fotoeléctrico”.

⁴¹ Las ideas de Planck estimularon nuevas líneas de pensamiento en muchos otros físicos que trabajan en la interpretación de otros fenómenos relacionados, lo que genero a un rápido desarrollo de la física cuántica (Alonso & Finn, 1995; Cuellar, 2016; 2020).

⁴² Estos carecían de una explicación satisfactoria usando los modelos de la electrodinámica de Maxwell.

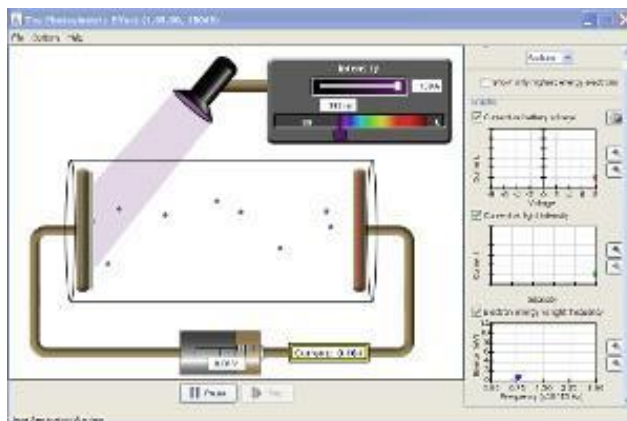


Figura 9: Simulación del “Efecto fotoeléctrico” en Phet Interactive Simulations

Al examinar este fenómeno, se llegaron a varias observaciones y que fueron contrarias a los modelos del comportamiento de la luz, desde un modelo ondulatorio clásico: (1) “*El retraso entre encender la luz y la expulsión de los primeros electrones no se afectaba por el brillo ni por la frecuencia de la luz*”; (2) “*Era fácil de observar el efecto con la luz violeta o ultravioleta, pero no con la luz roja*”; (3) “*En el caso de altas frecuencias, la rapidez a la cual los electrones son expulsados, (contrario al caso de bajas frecuencias en los cuales los electrones no pueden dar el “brinco” de expulsión) son proporcionales a la intensidad de la luz* (4) “*La energía máxima de los electrones expulsados no se afectaba por la intensidad de la luz, sin embargo, habían indicios de que la energía de los electrones si dependía de la frecuencia de la luz*” (Hewitt, 2007). El efecto fotoeléctrico es prueba concluyente de que la luz tiene propiedades de partículas (fotones), es decir, que a diferencia de las ondas electromagnéticas, los fotones tienen energía definida y pueden ser reflejados de acuerdo a los modelos representados en la óptica. Este modelo de interacción de la luz con la materia propuesto por Albert Einstein le permitió obtener el premio Nobel del año 1921, además de ser considerado uno de los científicos que descubrieron la física cuántica (Norma, 2007; Hewitt, 2007).

Otro experimento que confirmó el comportamiento corpuscular de la luz fue a través del “efecto Compton”, en honor a su descubridor, el físico Arthur Compton (1892-1962), quien interpretó sus resultados experimentalmente al postular que el haz incidente de rayos X, no era una onda de frecuencia f , sino un conjunto de fotones cada uno con energía E equivalente a $E=hf$. Los cuales chocaban con electrones libres en el bloque de dispersión,

como si se tratara de una colisión de bolas de billar o como un choque elástico⁴³ (Eisber & Resnick, 2000; Cuellar, 2016; 2020). El mismo Compton menciona:

“...los cuantos de radiación se reciben de direcciones definidas y se difunden en direcciones definidas. La confirmación experimental de la teoría, indica en forma muy convincente: que un cuanto de radiación lleva consigo cantidad de movimiento dirigida, así como energía” (1923).

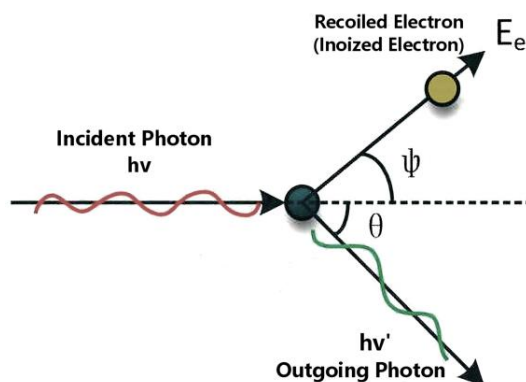


Figura 10: Dispersión de Compton, adaptado de Eisberg & Resnick. (2000).

Para Feynman, el efecto Compton se resume a través de las siguientes suposiciones: (1) La dispersión de la radiación electromagnética por un electrón libre se puede considerar como un choque entre el electrón y una partícula de masa en reposo nula; (2) la radiación electromagnética hace las veces de una partícula de masa en reposo nula, a la cual se le llama fotón; (3) La energía (E) y la cantidad de movimiento (ρ) de la partícula de masa en reposo nula (fotón) están relacionados con la frecuencia y la longitud de onda de la radiación electromagnética por: $E = hf$ y $\rho = h / \lambda$ (Feynman, 1966; Cuellar, 2016).

Es así que se representa la cantidad cuantificada de energía y el momentum electromagnético de una partícula cargada, a través del fotón, el cual está determinado por la frecuencia de la radiación (Alonso & Finn, 1995).

Años después, el físico – matemático Geoffrey Taylor descubrió que el comportamiento de la luz, también podría ser explicado a través de un comportamiento ondulatorio por medio del experimento de la difracción de la luz cuya energía es del orden

⁴³ En este experimento se consideraron los rayos X como fotones (confirmando la teoría de la cuantización de la energía propuesta por Max Planck), y a diferencia del modelo propuesto por Albert Einstein a través del efecto fotoeléctrico, los fotones de rayos X son dispersados en vez de absorbidos (Eisber & Resnick, 2000; Cuellar, 2020).

de la de un cuanto de luz⁴⁴ (Taylor, 1909; Alonso & Finn, 1995; Hewitt, 2007; Gonzales, 2018). Este comportamiento de los cuantos de luz era muy extraño desde la visión clásica de la física, por lo que la descripción de la luz en términos de partículas, era incompatible con la descripción en términos de ondas electromagnéticas, teniendo en cuenta que los conceptos de partícula y de onda eran mutuamente excluyentes (Roldan, Ben-Dov & Guerrero, 2004; Hewitt, 2007; Gonzales, 2018).

2.5.3 La dualidad onda – partícula de la luz.

La descripción de algunos fenómenos naturales a través del efecto fotoeléctrico y el efecto Compton, permitieron confirmar la “existencia” de los cuantos o fotones mostrando un comportamiento corpuscular de la luz en el momento que se necesitan modelos científicos con el objetivo de comprender las interacciones de la luz con los átomos, pero para comprender la propagación de la luz en el espacio, su comportamiento se representa de forma ondulatoria a través de ondas electromagnéticas. Este generó que durante varios años, los científicos procuraran generar representaciones tanto teóricas como experimentales que pudiesen explicar este extraño comportamiento de la luz. Entre ellos el físico y noble francés Louis De Broglie, quien propuso a través de su tesis Doctoral que el comportamiento de la luz se representaba de forma dual (en algunos casos la luz se comporta como ondas y en otros como partículas)⁴⁵, y que a su vez, cualquier tipo de partícula sub atómica (electrones, portones, neutrones, etc.) tendría este comportamiento⁴⁶ (Norma, 2007; Hewitt, 2007), planteando el comportamiento simétrico de la naturaleza, a través de la naturaleza dual de la luz (De-Broglie, 1926, 1928, 1939).

De Broglie postuló que una partícula libre con masa en reposo que se mueva a rapidez no relativista, debería tener una longitud de onda relacionada con su cantidad de movimiento exactamente en la misma forma que una partícula (fotón). La naturaleza dual de la luz, había conducido a la adopción del concepto del fotón como una idea radical en

⁴⁴ Este experimento arrojó una colección de puntos que formaban el patrón de difracción característico de la propagación ondulatoria de la luz (Alonso & Finn, 1995; Hewitt, 2007; Gonzales, 2018).

⁴⁵ Dependiendo de las condiciones de la interacción.

⁴⁶ Esta dualidad también debería ser válida para la materia por el comportamiento simétrico de la naturaleza); los electrones y los protones, que se representan como partículas, en algunos casos se pueden comportar como ondas. Si una partícula actúa como una onda, debería tener una longitud de onda y una frecuencia (De-Broglie, 1926, 1928, 1939; Hewitt, 2007; Freedman & Zemansky, 2009)

los modelos científicos de la época (De-Broglie, 1926, 1928, 1939; Freedman & Zemansky, 2009).

Para ello Broglie, construyó un modelo ondulatorio para las partículas, apoyándose en el modelo corpuscular propuesto por Einstein, determinando la longitud asociada a cada una de estos corpúsculos (Norma, 2007; Freedman & Zemansky, 2009), a través de las siguientes ecuaciones las cuales relacionan la longitud de onda λ , la frecuencia ν del campo monocromático asociado con una partícula de momentum p y energía E ⁴⁷ (Cuellar, 2016; 2020) $\lambda = \frac{h}{p}$ y $\nu = \frac{E}{h}$.

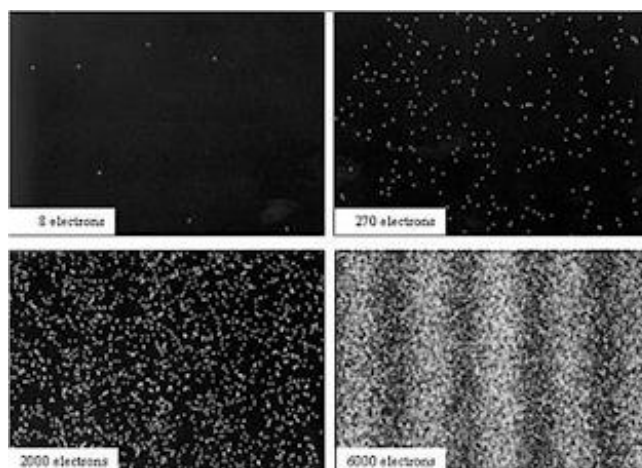


Figura 11: Patrones de interferencia de electrones mostrando la difracción de un haz de microscopio electrónico de muy baja intensidad atravesando un biprisma electrostático – Experimento de la doble rendija, adaptado Hewitt, (2007).

Este modelo fue confirmado de forma experimental en los laboratorios Bell Telephone (1925) incidiendo un haz de electrones sobre un cristal de níquel, obteniendo corpúsculos con comportamientos ondulatorios, es decir la difracción de electrones (Norma, 2007; Hewitt, 2007; Gonzales, 2018).

2.5.4 El principio de incertidumbre de Heisenberg.

La propuesta de Broglie generaba la necesidad de construir un modelo ondulatorio para los corpúsculos, presentándose como una superposición de ondas estacionarias en las cuales en su interior debe encontrarse la partícula (Norma, 2007), por lo cual es necesario

⁴⁷ Por eso muchas veces se define a λ , como la longitud de onda de Broglie de una partícula.

suponer diferentes campos de longitudes de onda λ , es decir, si el paquete de ondas ocupa una región Δx , los valores del número de onda de las ondas que “caen” dentro de un intervalo de acuerdo a la teoría del análisis de Fourier⁴⁸, se representa a través de la expresión $\Delta x \Delta k \sim 2\pi$, reemplazando esta expresión con los valores dados por el modelo de De Broglie, se tiene que (Alonso & Finn, 1995) $\Delta x \Delta p \sim h$.

Este modelo representado a través de esta inecuación implica que cuanto mayor es su posición menor es su momentum, es decir, cuanto más preciso sea conocer la posición de una partícula, más impreciso será conocer su ímpetu y viceversa (Cuellar, 2016; 2020). Esta indeterminación o incertidumbre en la medición a nivel de fenómenos subatómicos fue enunciada por primera vez por el físico Werner Heisenberg, llamándola el “principio de incertidumbre”⁴⁹, siendo un principio fundamental de la física cuántica, presentado de la siguiente forma $\Delta x \Delta p \geq \hbar$ ⁵⁰. Esto quiere decir que si se desea conocer el momentum de un fotón con la mayor exactitud posible, la incertidumbre de su posición será enorme y viceversa; cuanto más grande sea la magnitud de una de esas cantidades, la otra será más inexacta (Hewitt, 2007)⁵¹.

Werner Heisenberg manifestaba que “...cuando se admite que las discontinuidades son de alguna manera típicas de los procesos que ocurren en regiones pequeñas y en intervalos de tiempo pequeños, entonces es muy plausible una contradicción entre los conceptos de “posición” y “velocidad”. La imagen clásica de la trayectoria de una partícula como una curva continua debe reemplazarse por una serie discreta de puntos en el espacio y en el tiempo. Esto hace que las ideas clásicas fallen cuando se trata de medir simultáneamente su posición y su momento” (Heisenberg, 1932; Navarro, 2017). Por ende, tampoco se puede determinar de manera precisa el comportamiento futuro de un sistema, ya que el acto de observar un sistema lo perturba, es decir, la observación cambia el movimiento previo del sistema a un estado nuevo de movimiento que no se puede conocer

⁴⁸Según Ángel Franco, el análisis de Fourier demostró que se puede obtener una función discontinua a partir de la suma de funciones continuas. [En línea]

(<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/fourier/Fourier.html>). Consultado el 20 de Enero del 2023.

⁴⁹ Del alemán “Die Heisenbergsche Unschärferelation” o “Unbestimmtheitsrelation”, por la dificultad de una equivalencia en su traducción dado el concepto fenomenológico, se menciona como incertidumbre o indeterminación.

⁵⁰ Representa la constante de Planck dividida por 2π . $\hbar$ es equivalente a $h/2\pi$. (Hache barra)

⁵¹ Para el caso de la energía, se representa como $\Delta E \Delta t \geq \hbar$

completamente, es así que el concepto de probabilidad es básico y fundamental en la representación de la física cuántica (Cuellar, 2016; 2020).

Richard Feynman hacía referencia a este principio, mencionando que *“El principio de incertidumbre protege a la física cuántica...Heisenberg reconoció que si fuera posible medir la cantidad de movimiento y la posición simultáneamente con una precisión mayor, la física cuántica se vendría abajo, por ello propuso que debe ser imposible...se ha demostrado que la física cuántica mantiene su peligrosa pero precisa existencia”* (1995).

2.5.5 La función de onda de la luz.

Con el objetivo de presentar el modelo de onda y partícula de la luz y su incertidumbre, se debe hacer a través de una interpretación probabilística de la naturaleza, debido a que los fenómenos naturales interpretados por la física cuántica son de naturaleza probabilística (Cuellar, 2016); tal y como lo menciona Max Born: *“...de acuerdo con este concepto, la marcha total de los eventos está regida por las leyes de la probabilidad; a un estado en el espacio corresponde una probabilidad definida, la cual está dada por la onda de Broglie asociada con el estado”* (Born, 1962). De manera que no se podría hablar de un valor exacto de la posición un fotón en un instante dado, sino que ese valor se definirá a través de la probabilidad de encontrar un fotón en un cierto intervalo de espacio en un instante dado, es decir, a través de la amplitud de probabilidad de encontrar una partícula en una cierta posición del espacio, lo que se define como la función de onda de una partícula representada por ψ (psi), y cuyo modulo cuadrado de densidad de probabilidad es ψ^2 (psi al cuadrado, dada la función de unidad probabilística) (Cuellar, 2020).

En la década de 1920, varios científicos entre ellos Erwin Schrödinger desarrolló un modelo científico de la física cuántica basado en el comportamiento ondulatorio de las partículas subatómicas, presentando estas partículas con un comportamiento formado por ondas o nubes de probabilidad mediante la función de onda ψ (Norma, 2007; Hewitt, 2007). En este modelo, Schrödinger propone un procedimiento que al usarse se puede tratar el comportamiento de una partícula de cualquier sistema microscópico (Eisber & Resnick, 1985), considerándose como una continuidad del postulado de Broglie, siendo análogo a ley de la dinámica presentada por Isaac Newton como su segunda ley ($f = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$) en el caso de la física clásica. Las ondas de partículas son entidades matemáticas que no son

directamente observables, por lo que el modelo es netamente probabilístico, mas no visual (Hewitt, 2007). La función de onda expresada por la ecuación de Schrödinger representa las probabilidades de sucesos en un sistema cuántico, en la cual se genera una probabilidad finita de encontrar un electrón o cualquier partícula subatómica en determinada región en cualquier instante:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + E_p(x)\psi = E\psi \quad 52$$

Pero a medida del tiempo, al irse generando modelos de la física cuántica describiéndola como una teoría netamente probabilística, Schrödinger usó un experimento mental ficticio con el fin de realizar una crítica a esta visión estadística de la naturaleza conocida como la interpretación de Copenhague o la interpretación “Ortodoxa” de la física cuántica⁵³:

“Imagine que se encierra un gato dentro de una caja con una botella de gas venenoso. En esa misma caja, hay también un mecanismo que al emitir una partícula (radioactiva) hace que un martillo rompe la botella que contiene el gas venenoso. En un cierto periodo de tiempo, ese mecanismo tiene un 50% de posibilidad de emitir la partícula y matar al gato con el gas, y a su vez 50% de quedar inactivo permitiendo el gato siga con vida. Así, mientras no se abra la caja, es imposible saber si el gato está vivo o muerto, por lo que según las propiedades probabilísticas de la mecánica cuántica, se asume las dos posiciones al mismo tiempo o como se le conoce: una superposición de estados, es decir, el gato está vivo y muerto al mismo tiempo” (Toma, 2009; Cuellar, 2016, p. 46). Esta paradoja presenta el fenómeno cuántico conocido como “la decoherencia cuántica”; en el caso del gato descrito por Schrödinger, él no podrá tener ese estado de decoherencia, por lo que es un sistema macroscópico el cual se podría describir mediante las leyes de la mecánica

⁵² La parte anterior al signo igual, representan la suma de las energías cinética y potencial de la partícula cuántica, y la posterior, la energía total representada en una dimensión. (Eisber & Resnick, 1985).

⁵³ La interpretación de Copenhague fue el primer intento general de comprender el mundo de los átomos tal como lo representa la física cuántica, cuyo fundador fue principalmente el físico danés Niels Bohr, entre otros físicos. Se considera principalmente como sinónimo de indeterminismo, a través de modelos científicos como el principio de correspondencia de Bohr, la interpretación estadística de Born de la función de onda y la interpretación de complementariedad de Bohr de ciertos fenómenos atómicos. Esta interpretación de la física cuántica, postula la reducción espontánea de un solo observador final por lo que el experimento debe ser descrito desde la perspectiva de este observador, La reducción depende de la elección y de la interacción con el sistema de observación final. Enciclopedia filosófica de Stanford. [En línea] (<https://plato.stanford.edu/entries/qm-copenhagen/#Bac>). Consultado el 26 de Enero del 2023

clásica, no es un elemento del mundo microscópico, contrario a un fotón el cual se encuentra en una superposición de más de un estado a la “vez” (Aczel, 2002; Cuellar, 2020).

2.5.6 El entrelazamiento cuántico.

Al igual que Erwin Schrödinger existieron varios científicos que creyeron que los modelos referentes a la teoría de la física cuántica estaban incompletos, como era el caso de uno de los fundadores de este campo de la física, al manifestar que esta física no le permitía obtener predicciones certeras de los resultados de las mediciones a nivel de fenómenos cuánticos (Ortiz, 2007), pareciéndole errado tener que recurrir a probabilidades con el fin de describir el comportamiento de la naturaleza a esta escala, creía que había unas variables ocultas que describían el comportamiento de las partículas y a su vez, estas variables permitirían construir una teoría fundamental de la naturaleza. El problema hacía referencia principalmente al fenómeno natural conocido como “el entrelazamiento cuántico” (Gratton, 2004; Cuellar, 2016).

Este fenómeno ocurre en el momento que un par de fotones o partículas “al crearse juntas” o al haber interactuado en algún momento, mantienen una especie de “conexión” o correlación, de tal forma que al obtener información del estado de una partícula de forma inmediata se conoce el estado de la otra partícula (Ortiz, 2007; Cuellar, 2020), sin importar la distancia que las “separa”, interactúan de forma que contradice la teoría de la relatividad, transmitiéndose esta información instantáneamente, de forma “más” rápida que la velocidad límite del universo, (la no localidad del comportamiento cuántico). Por ende, Einstein junto con otros científicos no estaban de acuerdo con estos modelos a los que catalogaba como “incompletos”, y más aun con el entrelazamiento cuántico a lo que llamo “la acción fantasmal a distancia”, proponiendo en 1937 la famosa paradoja EPR (Einstein, Poldoski y Rosen), buscando presentar la física cuántica como una teoría de “variables ocultas”.

En el año 1964, un científico llamado John Bell logro demostrar que ninguna teoría “local” de variables ocultas podría reproducir todas las predicciones de la física cuántica; a través de la conocida Desigualdad de Bell (apoyando la no localidad en la física

cuántica⁵⁴). La desigualdad de Bell establece un límite en la cantidad de correspondencia esperada entre dos partículas que interactuaron tomando como punto de partida tres supuestos (Cuellar, 2016; 2020): (1) La lógica es válida, es decir con una sola partícula el entrelazamiento cuántico se auto protege; no se puede mirar a la vez en dos direcciones, por lo que solo se puede comprobar resultados clásicos (Cassinello & Sanchez, 2012), (2) existen las variables ocultas, es decir, en los experimentos hipotéticos no se pueden obtener resultados, (3) las variables ocultas son locales, es decir ningún modelo clásico conseguirá el grado de correlación que manifiestan las partículas cuánticas, por consiguiente es necesaria alguna forma de comunicación entre las partículas, por separas que estas estén, para así obtener los resultados previstos por la mecánica cuántica (Cassinello & Sanchez, 2012).

El modelo de entrelazamiento cuántico predice que las partículas sub atómicas pueden llegar a estar tan enlazadas, tan relacionadas entre sí, que un cambio en uno de ellas se reflejaría instantáneamente en la otra, incluso aunque ambos estuvieran en extremos opuestos del universo (Aczel, 2002). *“Entender el entrelazamiento es complejo, aun para los físicos más expertos en mecánica cuántica, debido a que este concepto se sale de la lógica y del sentido común, aunque experimentalmente se ha comprobado que si ocurre”* (Cuellar, 2016, p. 57). Por eso, estas representaciones de la física cuántica, la muestran como una teoría confusa, extraña, diferente a lo que captan los sentidos acerca del comportamiento de la naturaleza desde una visión clásica de la física.

El físico Niels Bohr formulo la “complementariedad” a la forma de unificar estos comportamientos complejos, duales, extraños de la naturaleza, expresando que los fenómenos cuánticos muestran propiedades complementarias (mutuamente excluyentes), dependiendo del experimento realizado; las propiedades ondulatorias y corpusculares de la luz se complementan entre sí, siendo ambas visiones necesarias para representarla y

⁵⁴ La no localidad en la física cuántica se refiere a un fenómeno en el cual las propiedades de partículas o sistemas cuánticos no pueden describirse completamente en términos de propiedades locales definidas en un punto específico del espacio y el tiempo. En otras palabras, la no localidad implica que las partículas cuánticas pueden estar correlacionadas de una manera que no se puede explicar mediante interacciones locales o influencias que se propagan a una velocidad finita. Este fenómeno natural contradice la noción clásica de causalidad y separación espaciotemporal (Gratton, 2004).

comprenderla, dependiendo de la interacción con la naturaleza microscópica⁵⁵ (Hewitt, 2007).

Otro científico que realizó grandes aportes a la comprensión de la física cuántica fue Paul Dirac, quien creía que las leyes fundamentales de la física debían expresarse en términos de entes matemáticos “simples y elegantes”. Esta idea lo llevó a desarrollar la ecuación de Dirac, siendo esta, una ecuación que tenía en cuenta las leyes relativistas en el comportamiento del electrón, describiendo como interactuaban con la luz, propiamente con el campo electromagnético. Él creía que la teoría cuántica debía ser capaz de explicar la naturaleza fundamental de la radiación y de la materia, así como tener la capacidad de predecir los resultados de experimentos a escalas subatómicas (Eisber & Resnick, 1985; Alonso & Finn, 1995). Esta idea lo llevó a desarrollar la teoría de la antimateria, que postulaba la existencia de partículas con cargas opuestas a las partículas ordinarias. A su vez desarrolló la teoría cuántica de la radiación electromagnética, la cual explicaba cómo los fotones interactúan con la materia, cómo se pueden producir y detectar. Esta teoría fue importante para la comprensión de fenómenos como la emisión y absorción de fotones por átomos y moléculas, la producción de luz por fuentes artificiales, y la detección de luz por instrumentos como cámaras y ojos (Aczel, 2002).

Dirac también desarrolló una teoría más general de las partículas cuánticas llamada la teoría cuántica de campos, que describe cómo las partículas interactúan y se propagan en el espacio-tiempo, en esta teoría se incluye la descripción de los fotones como partículas cuánticas que se propagan a través del espacio como ondas electromagnéticas. También propuso el concepto de spin como una propiedad intrínseca de las partículas cuánticas, independiente de su carga eléctrica o masa, a su vez propuso a través de su ecuación la descripción del comportamiento relativista de los electrones prediciendo el espín del electrón, mediante las “matrices de Dirac” siendo un desarrollo matemático que permitió la formulación exitosa de la su respectiva ecuación incorporando la relatividad y el espín en la física cuántica. Este logro fue fundamental para la comprensión actual del comportamiento de partículas subatómicas y desempeñó un papel esencial en el desarrollo de la física cuántica relativista. Además predijo la existencia de partículas de antimateria, como el

⁵⁵ “Los experimentos diseñados para examinar intercambios individuales de energía y de momentum resultan en propiedades de partículas, mientras que los experimentos diseñados para examinar la distribución espacial de la energía resultan en propiedades ondulatorias” (Hewitt, 2007, p. 613)

positrón, una partícula con la misma masa que el electrón pero con carga positiva. Esta predicción teórica se confirmó experimentalmente poco después y contribuyó al desarrollo de la teoría cuántica de campos y a la comprensión de la simetría de las partículas elementales. Dirac realizó importantes avances en la formulación de la teoría cuántica de campos, ayudando a sentar las bases para la descripción cuántica de partículas cargadas y su interacción electromagnética (Dirac, 1928; Mott, 1929). La introducción del spin fue un hito importante en la física cuántica, ya que permitió explicar muchas propiedades observadas de las partículas subatómicas, como la estructura fina del espectro del hidrógeno y la polarización de la luz emitida por ciertos átomos y moléculas, así como el aporte de forma significativa (junto con los modelos cuánticos planteados anteriormente) a las bases de las actuales tecnologías cuánticas, lo que muchos científicos se refieren como la “segunda revolución cuántica” (De la Torre, 2000; Ching Ray, 2020).

2.5.7 La segunda revolución cuántica.

En las últimas décadas se han ido descubriendo potencialidades prácticas de los modelos planteados en la física cuántica, modelos tales como el colapso de la función de onda, el spin de una partícula, el entrelazamiento cuántico, entre otros. Esto permitió combinar una serie de factores, entre los avances teóricos como experimentales en física cuántica, así como el desarrollo de tecnologías que permitieron la manipulación y control de sistemas cuánticos a nivel experimental. Un claro ejemplo de ello fue la comprensión del fenómeno del entrelazamiento cuántico y su potencial para el desarrollo de la informática y la criptografía, así como la computación cuántica (Dowling, J. & Milburn, 2022).

En la década de 1980, Richard Feynman propuso que dado el nivel de complejidad de algunos cálculos, éstos no se podrían realizar con los métodos de la computación basada en el modelo de Turing, si no que se deberían realizar aplicando las leyes de la física cuántica, es decir que una computadora basada en las leyes de la física cuántica, podría resolver ciertos problemas matemáticos mucho más rápido que una computadora clásica, a lo que científicos como David Deutsch y Peter Shor respondieron de manera afirmativa desarrollando teorías y algoritmos respaldando esta idea (Cuellar, 2016; 2020; 2021B). Al pasar el tiempo, los avances tecnológicos permitieron a los científicos e ingenieros controlar y manipular sistemas cuánticos, incluyendo el enfriamiento de átomos a

temperaturas cercanas al cero absoluto, la creación de nuevos materiales con propiedades cuánticas, así como nuevas técnicas de medición y observación permitiendo estudiar sistemas cuánticos con mayor precisión (Nielsen & Chuang, 2010). A este desarrollo se le conoce como la “segunda revolución cuántica”, cuyas investigaciones actualmente están enfocadas en campos de la física, la ingeniería, la inteligencia artificial, la medicina, la meteorología, etc, sobre todo enfocada en cuatro áreas de desarrollo⁵⁶:

a) La información y comunicación cuántica, en la que se utilizan fotones individuales o entrelazados para transmitir datos de una manera segura (criptografía cuántica) permitiendo el procesamiento y almacenamiento de información utilizando sistemas cuánticos como son los átomos y electrones, posibilitando el intercambio de información mediante estos sistemas. Ambas áreas de investigación buscan aprovechar las propiedades cuánticas como son, el entrelazamiento y la superposición, con el fin de desarrollar tecnologías más avanzadas en áreas como la criptografía, la computación y la comunicación.

b) La simulación cuántica, al utilizar sistemas cuánticos controlados para reproducir el comportamiento de otros sistemas cuánticos menos accesibles, mediante el proceso de modelar y reproducir el comportamiento de sistemas cuánticos utilizando computadoras clásicas, a través del uso de algoritmos y programas especializados que pueden simular las propiedades cuánticas de los sistemas.

c) La computación cuántica, en la que se emplea efectos cuánticos para acelerar drásticamente ciertos cálculos, como la factorización numérica, utilizando principios cuánticos para procesar y almacenar información. En lugar de los bits utilizados en la computación clásica, los sistemas cuánticos utilizan qubits los cuales pueden estar en una superposición de estados simultáneamente. Esto permitirá a las computadoras cuánticas, realizar cálculos más veloces que las computadoras clásicas para ciertas tareas específicas (como por ejemplo la

⁵⁶ Mencionado anteriormente.

búsqueda en bases de datos), o resolver problemas que son actualmente imposibles con las computadoras clásicas.

d) La detección cuántica y metrología, aprovechando la alta sensibilidad de los sistemas cuánticos coherentes a perturbaciones externas para mejorar el rendimiento de las mediciones de cantidades físicas. Estos sistemas son utilizados para mejorar la precisión de estas mediciones, superando la precisión de los métodos actuales clásicos. (Cuellar, 2016; Acín et al, 2018, Cuellar, 2020, 2021B)

Estas tecnologías tienen el potencial de transformar la sociedad y la economía en las próximas décadas (De la Torre, 2000; Ching Ray, 2020; Cuellar, 2021B; Dowling, J. & Milburn, 2022).



Figura 12: Tecnologías cuánticas emergentes. (Allende, 2019)

Es así como el descubrimiento de la física cuántica, ha creado una gran cantidad de representaciones de fenómenos de la naturaleza a través de modelos científicos que, en muchas ocasiones, no son intuitivos con la visión que se tiene comúnmente del comportamiento de la naturaleza; pero que han permitido grandes avances a nivel del

campo científico como también al campo tecnológico⁵⁷, y a su vez, han generado cambios en la cosmovisión de la sociedad actual (Fernández, 2014; Staderman, Van den Berg & Goedhart, 2019; De la Torre, 2000; Ching Ray, 2020).

Es por ello que surge la necesidad de desarrollar procesos de modelización en el salón de clases de ciencias, en los que se aborde la elaboración de modelos científicos enfocados en la naturaleza cuántica de la luz, teniendo en cuenta diversos instrumentos tecnológicos y digitales como herramientas cognitivas.

2.6 La unidad didáctica como estrategia metodológica para la enseñanza

Dentro de los procesos de formación docente se usan diferentes herramientas para el diseño de procesos formativos, tales como: los proyectos, las sesiones y los módulos de aprendizaje, el planteamiento de un plan de clase, la elaboración de un programa de curso, la secuencia didáctica y la unidad didáctica⁵⁸, siendo esta última definida como un conjunto de elementos pedagógicos dispuestos organizadamente para desarrollar una clase en un tiempo, espacio y contexto determinados, teniendo presente una serie de elementos para lograr la organización de los contenidos escolares siendo un instrumento útil el cual permite la coherencia entre la conceptualización el diseño y la implementación ayudando al profesor en su quehacer pedagógico (Gómez & Puentes, 2017). Tal y como lo menciona Hernández, “las unidades didácticas son las unidades de trabajo que secuencian un proceso de enseñanza-aprendizaje articulado y completo” (2002, p. 59).

En la unidad didáctica se deben tener en cuenta a parte de los contenidos o ejes temáticos a trabajar, los objetivos necesarios para el desarrollo de la clase, el contexto del

⁵⁷ Incluso hoy en día esta teoría es tan relevante que muchos descubrimientos e invenciones modernas se basan en su conocimiento subyacente: La óptica de ondas es una rama de la ciencia resultante de la teoría cuántica de la luz que se ocupa de la difracción, la interferencia y la polarización de la luz, muchos descubrimientos importantes (relacionados con microorganismos, células corporales, estructura de proteínas) no hubieran sido posibles sin las teorías de la óptica de ondas, a su vez las pantallas de cristal líquido, combinan el campo eléctrico con la energía de la luz para producir imágenes, mientras que los discos ópticos, como los CD y DVD, utilizan tecnología de rayo láser para almacenar datos de forma digital (Brahmbhatt, 2021). Investigaciones recientes muestran que una mejor comprensión de las propiedades cuánticas de la luz podrán conducir a nuevos desarrollos en campos como recolección de energía, información cuántica y criptografía cuántica entre otros. (Acín et al, 2018; Jaeger, 2018, Cuellar, 2020, 2021B)

⁵⁸ Cabe recalcar que aunque normalmente se define la didáctica como a como aquel saber preocupado por el qué, el cómo y el para qué de la enseñanza, en esta investigación se entiende la didáctica propiamente de las ciencias, como una disciplina científica autónoma, centrada en los contenidos mismos de las ciencias y nutrida por los hallazgos de otras disciplinas ocupadas de la cognición y del aprendizaje (Adúriz-Bravo, 1999)

grupo a quien se le implementará entre otros, buscando abarcar todo el proceso de aprendizaje desde el establecimiento del objetivo principal, hasta la verificación de los logros relacionados con dicho aprendizaje, para ello se componen de un listado de objetivos que abordan desde el enfoque educativo hasta su desarrollo y culminación. Ellas considerablemente están relacionadas con las teorías constructivistas del aprendizaje, procurando el desarrollo de habilidades que permitan a los estudiantes construir sus propios procedimientos en una situación problemática (Morrison, 2023).

En la elaboración de unidades didácticas se tienen en cuenta una serie de componentes relacionados con la teoría educativa desde la cual se desea plantearla, por ende no hay una única configuración para su respectiva construcción, pero existen algunos elementos a tener en cuenta (Gómez & Puentes, 2017):

El título: Da cuenta del tema, eje temático o problemática que se busca abordar, se recomienda que claro y conciso.

La presentación: Es importante dejar explícito inicialmente la organización de sus componentes en torno a centro de interés, los conocimientos previos que se requieren, su duración, los recursos didácticos que se van a utilizar en su desarrollo, explorando cuáles son las características del contexto en el cual va a ser desarrollada, identificando los intereses, motivaciones de los estudiantes (NTI, 2003).

Los objetivos: Son las finalidades o metas que buscan materializar la intención educativa de la unidad a desarrollar, los objetivos permiten tener un horizonte que orienta su elaboración y desarrollo.

La pregunta orientadora: Es un interrogante en el que se orienta el nivel de complejidad de la propuesta educativa, está orientado a resolver un problema con los aportes del desarrollo de la propuesta permitiendo la reflexión acerca de su diseño, gestión y evaluación (Llinares, 2008).

Contenidos, ejes temáticos o problemáticas: La selección de contenidos, ejes temáticos o problemáticas a través de los cuales se busca que los estudiantes logren alcanzar los objetivos propuestos inicialmente, su planteamiento y desarrollo depende de la teoría educativa en la que se basa para dicha construcción. Su secuencia debe ser acorde al contexto educativo, social y cultural en la que se implementará (al relacionar los conceptos

con ejemplos prácticos y situaciones reales, facilitando la comprensión y la aplicación del conocimiento.).

El desarrollo de la Unidad didáctica: “Materializa los objetivos, los procedimientos y los contenidos de la misma, respondiendo a la pregunta del cómo, cuándo y dónde, con indicaciones claras y precisas de lo que se debe hacer, cómo se debe hacer, qué se espera obtener, junto a los tiempos indicados para ello” (Gómez & Puentes, 2017, p 45). En esta sección se estipula la organización del tiempo y del espacio que requiere su desarrollo, teniendo en cuenta aspectos tanto específicos como generales (Morrison, 2023).

Los instrumentos de evaluación: En ellos se deben establecer los indicadores, los criterios de valoración y evaluación, cuyo objetivo es conocer y registrar el nivel de aprendizaje de los estudiantes. El docente tiene la libertad de elegir cualquier tipo de actividad evaluativa, sin olvidar que la evaluación se genera desde el primer momento en que se tiene contacto con los estudiantes desarrollando la unidad didáctica. Esto ayuda a los profesores a evaluar de forma secuencial el nivel de comprensión y logro de los objetivos por parte de los estudiantes.

Una unidad didáctica bien diseñada puede despertar el interés y la motivación de los estudiantes al presentar el contenido de manera atractiva y relevante, haciendo que el proceso de aprendizaje sea estimulante y efectivo. Paralelamente las unidades didácticas se integran en un plan de estudios más amplio, permitiendo garantizar la coherencia en la enseñanza de un concepto a lo largo de un período de tiempo, siendo esencial para que los estudiantes desarrollen una comprensión sólida y completa de un tema, sin olvidar que pueden diseñarse de manera flexible buscando la adaptabilidad a las necesidades y niveles de los estudiantes, facilitando la planificación de manera más efectiva, asignando tiempo y recursos adecuados para cada unidad.

La unidad didáctica es una herramienta esencial en la enseñanza, ya que contribuye a una presentación más efectiva y organizada del contenido, fomenta la comprensión y retención de conceptos, y facilita la evaluación del aprendizaje de los estudiantes. Además, permite a los docentes adaptarse a las necesidades individuales de sus estudiantes y garantizar una enseñanza coherente y significativa lo cual se tiene presente en este proceso de formación de docentes.

CAPÍTULO 3. OBJETIVOS

Los objetivos que orientan este proceso investigativo, relacionados con el problema de investigación y las generalizaciones teóricas presentadas anteriormente en el marco teórico, son:

3.1 Objetivo general

Diseñar, desarrollar y evaluar 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 tecnologías de la información como herramientas cognitivas desde la perspectiva del CTPC.

3.2 Objetivos específicos

- I. Analizar el CTPC de los profesores de ciencias en formación inicial acerca de la naturaleza cuántica de la luz y sus modelos de representación.
- II. Diseñar un proceso de formación de profesores de ciencias en formación inicial que contribuya al desarrollo del CTPC, a partir de la reflexión sobre los modelos de la naturaleza cuántica de la luz y su modelización en el salón de clases de la educación media.
- III. Desarrollar una unidad didáctica con los profesores de ciencias en formación inicial, 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.
- IV. Implementar la unidad didáctica relacionada con la naturaleza cuántica de la luz desde la perspectiva de la modelización como estrategia didáctica de enseñanza, a través de los profesores de ciencias en formación inicial en el salón de clases de la educación media.
- V. Evaluar el desarrollo del CTPC presentado en los profesores de Ciencias en formación inicial en relación a los modelos de la naturaleza cuántica de la luz y su modelización en el salón de clases de la educación media.

CAPITULO 4. METODOLOGÍA

En la presente investigación Doctoral, se implementó el enfoque de investigación cualitativa⁵⁹, 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, posibilitando nuevas interpretaciones, entendimientos y aspectos más “holísticos”, propios del contexto educativo (Gutiérrez, 2000; Zuluaga, 2017). Por ello es importante definir el tipo de investigación cualitativa, el contexto de los participantes de estudio, la descripción de las etapas de investigación, los métodos que se usaron para la recolección de datos y análisis, y las fases del proceso de formación para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz en la educación media.

4.1 El estudio de caso

Como se mencionó anteriormente, esta investigación se sitúa dentro del marco metodológico de la investigación cualitativa propiamente en un estudio de caso, que se caracteriza por ser un tipo de investigación cuyo objeto de estudio⁶⁰ es analizado en contextos reales a profundidad, debido a que el contexto juega un papel decisivo en las situaciones estudiadas, destacando las diversas relaciones que se presentan en la comprensión del objeto de estudio (Zuluaga, 2017). En el contexto educativo podría ser un grupo de maestros, un grupo de estudiantes quienes comparten características en común, un maestro ejemplar⁶¹, un currículo o un grupo de profesores en formación como se presenta en esta pesquisa.

El estudio de caso como método investigativo se justifica en la comprensión de las interrelaciones entre el todo y sus partes. En este sentido, Moreira afirma que: *“Es una visión sistémica que asume que los elementos de un evento educativo, por ejemplo, son*

⁵⁹ Hace referencia a la investigación en la que se generan datos descriptivos como por ejemplo las palabras de las personas que participan en la investigación, ya sea de forma hablada o escrita, y la conducta observable. Esta metodología consiste en más que un conjunto de técnicas para recoger datos, es un modo de encarar el mundo empírico (Rist, 1977; Taylor & Bogdan, 1996).

⁶⁰ 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.

⁶¹ Se define como aquel profesor que posee un apropiado CTPC en la enseñanza de las ciencias naturales, fundamento sus razonamientos pedagógicos, sus acciones pedagógicas durante el diseño, implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje potenciados por las TIC, las cuales permiten asistir a los estudiantes en la comprensión de fenómenos, en este caso, físicos (Candela, 2020)

interdependientes e inseparables y un cambio en un elemento implica un cambio en el resto” (Moreira, 2002, p. 9). Por ende, en el estudio de caso se realiza un análisis a profundidad de las interrelaciones entre las partes y los patrones que emergen del razonamiento de forma inductiva, por lo que las hipótesis, los conceptos, las teorías surgen de un análisis detallado de los datos basados en el contexto de la investigación (Starman, 2013; Zuluaga, 2017), mediante técnicas de investigación cualitativa incorporando múltiples fuentes de datos, haciendo que el producto final tenga una descripción densa, bien fundamentada, orientando la comprensión del objeto de estudio (Serrano, 1998).

Según Stenhouse y Moreira, el estudio de caso se clasifica en cuatro tipos según su intervención y análisis: (1) el estudio de caso etnográfico, el cual implica el estudio en profundidad de una comunidad o de una entidad la cual posee unas ciertas características particulares, y su intervención se hace generalmente a través de la observación participante mediante entrevistas; (2) el estudio de caso como una investigación-acción, en el que el foco está en generar un cambio en el caso en estudio, ya sea por medio de una intervención formativa o de reflexión entre pares; (3) el estudio de caso evaluativo, comúnmente aplicado en la evaluación de currículos, cursos o programas; y (4) el estudio de caso educativo, diseñado con el objetivo de mejorar la comprensión de la acción educativa en un contexto en particular. (Stenhouse, 1985; Moreira, 2002).

El estudio de caso ha cobrado especial importancia en la investigación que se enfoca en el desarrollo y apropiación del conocimiento de los futuros profesores de ciencias, ya que profundiza en el pensamiento y en la acción que se genera en un proceso de formación, por lo tanto requiere de diseños metodológicos y de “captura” del objeto de estudio, en los que se deben considerar múltiples fuentes de datos y de análisis, debido a la complejidad de la caracterización de una fase de desarrollo del conocimiento (Porlán & Rivero, 1998; Polanco, 2018).

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, permitiendo en muchos casos la comprensión del ¿cómo? y del ¿por qué? 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 a enseñar (Maeng et al., 2013; Urban, 2012; Niess, 2005, Mishra & Koehler, 2006; Polanco, 2018). Teniendo en cuenta este tipo de caracterizaciones, y a su vez, siendo una forma de investigación autorreflexiva por parte de los participantes en situaciones de formación educativa, se puede realizar un estudio de caso a través de un proceso de investigación – acción (Moreira, 2002; Zuluaga, 2017).

La investigación - acción se define como una forma de investigación en la que los participantes a través del trabajo en equipo y de la autorreflexión, procuran mejorar sus propias prácticas educativas, sus actividades sociales, así como su comprensión de dichas prácticas, al tener en cuenta las situaciones en las que se generan; se anima a los participantes de la investigación a que cuestionen sus propias teorías e ideas educativas, sus propias prácticas y sus propios contextos como objetos de análisis y de autocrítica (kemmis & McTaggart, 1988)

Por consiguiente, en la presente pesquisa se realiza 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.

4.2 Contexto de los participantes de estudio

En este proceso de formación se contó con dos participantes quienes pertenecieron al programa de Licenciatura en ciencias naturales de la Universidad ICESI, Universidad privada con acreditación de alta calidad, ubicada en la ciudad de Santiago de Cali (Colombia), la cual según el “Times Higher Education (THE)” publicó los resultados de “THE World University Rankings 2023”⁶² ubicándola como la mejor Universidad del País y la novena de Latinoamérica⁶³.

⁶² En línea: https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/2023/world-ranking#!/page/0/length/25/locations/COL/sort_by/rank/sort_order/asc/cols/stats. (Consultado el 03 de febrero del 2023)

⁶³ Basado en cuatro áreas: enseñanza, investigación, transferencia de conocimiento y perspectiva internacional.

Las estudiantes (Identificadas con los pseudónimos de Annekae y Jazmín⁶⁴) en el momento de la investigación, estaban matriculadas en el curso de PDG II⁶⁵, perteneciente al último semestre de su formación (X semestre), enfocado en la elaboración y ejecución del trabajo de grado del programa en mención. Por ende, los espacios en los cuales se realizó la intervención de la formación, se generó a través de la dirección de tesis del pregrado, desarrollándose presencialmente en el espacio del “Laboratorio de experimentación pedagógica”⁶⁶ de la Universidad, como también algunos encuentros virtuales.



Figura 13: Laboratorio de experimentación pedagógica. Universidad ICESI.

Las estudiantes dentro de su programa, abordaron diferentes cursos con enfoque tanto educativo (diseño curricular, diseño de ambientes de aprendizaje I, II y III, interacción

⁶⁴ Quienes han firmado el consentimiento informado con el fin de participar en la actual investigación. Ver anexo 2.

⁶⁵ Proyecto de grado II: “El proyecto de grado II tiene como objetivo propiciar en el estudiante una experiencia investigativa fundamentada en los conocimientos y habilidades adquiridas durante el proceso de formación profesional que ha tenido a lo largo de los semestres. La investigación, en la cual participa el estudiante, está orientada a la construcción de nuevo conocimiento o al tratamiento y solución de un determinado problema, mediante el empleo de alguna metodología de reconocido valor científico” (ICESI, 2022)

⁶⁶ “Constituye un espacio para estimular la imaginación de los y las docentes en todos los niveles de formación...favoreciendo la puesta en juego de experimentos pedagógicos y la valoración de innovaciones educativas...siendo un lugar que permite el acercamiento y la transformación del legado de la disciplina pedagógica”. Espacio físico de la Escuela de ciencias de la educación: [<https://www.icesi.edu.co/es/211-laboratorio-de-experimentacion-pedagogica>]. Consultado el 05 de Febrero del 2023.

en el aula I y II, practicas pedagógicas y educativas, estrategias de evaluación, entornos educativos, entornos políticos, entre otros), como disciplinar (cálculo para ciencias naturales, química general, física mecánica, electromagnetismo, física térmica y ondulatoria, física moderna y contemporánea⁶⁷, entre otros...con sus respectivos espacios de experimentación)⁶⁸. Estos cursos forman la base en la que se desarrolla el CTPC, teniendo en consideración que los futuros licenciados, tienen una serie de conocimientos que constituyen la base para el desarrollo y caracterización de la unidad de análisis que comprende la presente investigación (Polanco, 2018).

En el momento que las participantes estaban iniciando el curso de PDG II se les realizó una entrevista y relevamiento de documentos “fuente” con el fin de identificar el CTPC inicial del maestro. Cabe destacar que al ser el investigador el director de la tesis, permitió adecuar el proceso de pesquisa a las condiciones y el tiempo disponible para la formación de las estudiantes participantes, a través del desarrollo de una serie de encuentros pedagógicos -reflexivos en torno a la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de la naturaleza cantica de la luz usando las TIC como herramientas cognitivas.

La tesis que desarrollaron las participantes del estudio, estuvo enfocada en “la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz a través de la modelización como estrategia didáctica y el uso de las TIC en el Aula” (Muñoz & Obando, 2022), la cual se implementó con un grupo de dieciséis estudiantes de grado once (por tiempo y disponibilidad, dado el interés y el permiso de los acudientes con el objetivo de su participación) pertenecientes a la Institución Educativa Técnico de Comercio Santa Cecilia (IETC)⁶⁹, de forma presencial a

⁶⁷ Curso en el cual se desarrollan elementos que permiten Introducir al estudiante en el modo de pensar que caracterizan la teoría de la relatividad especial y la física cuántica tanto de forma disciplinar como educativa (metodología mixta), posibilitando la reflexión acerca de la pedagogía y la didáctica de la física moderna y contemporánea: “Objeto de la Física Cuántica, La radiación del cuerpo negro y los límites de aplicabilidad de la teoría clásica: La catástrofe ultravioleta, El descubrimiento de Max Planck, El efecto fotoeléctrico, Espectros atómicos de líneas y niveles de energía, El átomo nuclear, La luz como partícula, Efecto Compton, Ondas de De Broglie, La dualidad onda- partícula, ¿Pueden dividirse los fotones? - Creación y aniquilación de pares, Spin de un electrón, Relaciones de indeterminación de Heisenberg, Funciones de onda y la ecuación de Schrödinger, Mecánica cuántica, Partícula en una caja , Entrelazamiento cuántico, El láser, Producción y dispersión de rayos X, Semiconductores, El transistor, La información cuántica, etc.”. Plan de estudios del curso – perteneciente al departamento de ciencias físicas de la Universidad. (ICESI, 2022).

⁶⁸ Ver malla curricular del programa en anexo 3 (plan curricular hasta el 2022).

⁶⁹ Institución educativa oficial perteneciente a la Secretaria de Educación Distrital de Santiago de Cali, con énfasis en estudios comerciales. La institución se encuentra ubicada al norte de la ciudad, perteneciente al calendario A en sus siete sedes. Nivel “alto” en cuanto a resultados de pruebas saber grado Once.

través de cinco sesiones en un tiempo aproximado de hora y media en cada encuentro, en el espacio de la clase de “física II” de grado once.

Se usaron recursos educativos propios del contexto de una institución educativa oficial de estrato dos⁷⁰, como lo son: tablero, videobeam y computador portátil (suministrados por el docente- investigador), cuadernos y uso de celulares de parte de las estudiantes y profesoras en formación, enrutador suministrado por una de las estudiantes con el fin de acceder al internet.

4.3 Descripción del proceso de investigación

Esta investigación se desarrolló a través de ocho etapas descritas de la siguiente forma:

4.3.1 Etapa 1: Fundamentación teórica

La fundamentación teórica es un ejercicio permanente de análisis y discusión que se nutre a partir de las lecturas realizadas por el investigador. Lo anterior permite elaborar diversas conceptualizaciones, estados del arte y reflexiones a partir de la producción académica existente en grupos de investigación, artículos, ponencias, libros y capítulos en el campo de la didáctica de las ciencias. En esta etapa se implica la búsqueda, revisión y selección de textos científicos, educativos y de literatura publicada acerca de los diferentes conocimientos mencionados anteriormente (educativo, disciplinar y tecnológico) (Leal, 2021).

4.3.2 Etapa 2: Presentación y sustentación del proyecto Doctoral

Como condición fundamental para la obtención del título Doctoral, está la presentación y defensa del proyecto de tesis, que debe ser sustentado públicamente ante un jurado compuesto por tres personas. Por esta razón, para dicha presentación y sustentación se tienen en cuenta, los siguientes aspectos: (1) La escritura del planteamiento del problema, en el que se desarrolla la justificación que es la que permite identificar los principales aportes y problemas enfocadas en el objeto de estudio, la pregunta de investigación, también los antecedentes, que se han desarrollado alrededor de los ejes

Las estudiantes para ese momento en las clases de física habían trabajado el concepto de luz desde una visión clásica (Onda electromagnética - óptica) con el docente del curso, quien a su vez, es el investigador de la presente pesquisa. Se contó con la firma de consentimiento informado. Ver anexo 2.

⁷⁰ Recursos tecnológicos limitados. No se cuenta ni con sala de sistemas, ni con acceso al internet a través de wi-fi.

centrales del trabajo; (2) la elaboración del marco teórico que conceptualice los fundamentos propios de la investigación; (3) los objetivos generales y específicos; (4) la realización de una proyección de la metodología y el enfoque de investigación, la descripción del proceso de investigación, y los instrumentos de recolección de la información (Leal, 2021).

4.3.3 Etapa 3: Análisis del CTPC de los participantes del estudio

A través de diversos métodos de recolección de datos (CoRe, cuestionario diagnóstico y pláticas de los conocimientos adquiridos durante sus estudios de pregrado que aportaron a las habilidades necesarias para diseñar e implementar unidades didácticas usando las TIC), se analizó el CTPC de los profesores de ciencias en formación inicial acerca de la naturaleza cuántica de la luz y sus modelos de representación como fase inicial del proceso de formación. Este análisis es la base para la elaboración del proceso de formación, y permitirá que en posteriores etapas se pueda comparar la información obtenida en de dicho proceso en posteriores etapas, por lo que es la etapa previa al diseño y desarrollo del proceso de formación.

4.3.4 Etapa 4: Diseño del proceso de formación

Teniendo en cuenta el análisis mencionado en la etapa anterior, se diseñó un proceso de formación de profesores de ciencias en formación inicial, que contribuya al desarrollo del CTPC a partir de la reflexión acerca de los modelos de la naturaleza cuántica de la luz y su modelización en el salón de clases de la educación media, dentro de los espacios de dirección de tesis, tanto en el laboratorio pedagógico de la Universidad, como en encuentros virtuales en los espacios correspondientes al PDG II.

El enfoque de este proceso formativo está relacionado con la discusión de los elementos pertinentes en la elaboración de modelos científicos escolares, las características de una modelización basada en los fenómenos de la naturaleza cuántica de la luz y las diversas actividades educativas científicas a través de las estrategias que hacen uso de las TIC como herramientas cognitivas. A su vez, está encaminado en propender el desarrollo del CTPC presentado en los profesores de Ciencias en formación inicial en relación a los modelos de la naturaleza cuántica de la luz y su modelización en el salón de clases de la educación media, Por ello las categorías de análisis están enfocadas en el desarrollo y apropiación del: conocimiento de contenido (CC), conocimiento pedagógico (CP),

conocimiento tecnológico (CT), conocimiento pedagógico del contenido (CPC), el conocimiento tecnológico pedagógico (CTP), el conocimiento tecnológico del contenido (CTC) (Mishra & Koehler, 2006), al igual que otras categorías relacionadas con el contexto educativo, emocional y discursivo por parte de los profesores en formación (Galiazzi, 2006, 2011; Zuluaga, 2017).

4.3.5 Etapa 5: Desarrollo de la unidad didáctica con los participantes del estudio

A partir del proceso de formación mencionado, se desarrolló una unidad didáctica con los profesores de ciencias en formación inicial, a partir de la reflexión⁷¹ de los modelos de la naturaleza cuántica de la luz desde la perspectiva de la modelización como estrategia didáctica de enseñanza de las ciencias naturales, con el propósito de implementarla en un salón de clases teniendo en cuenta el contexto propio de desarrollo (grupo de estudiantes, recursos educativos, tiempo para ello, etc).

En cuanto los instrumentos que se propusieron en el desarrollo de la unidad didáctica con el fin de poder evaluar los aprendizajes de los estudiantes de colegio, se dieron través de rubricas de evaluación, las cuales permiten establecer criterios por niveles de desempeño mediante la disposición de escalas que posibilitan determinar la calidad de la ejecución de los estudiantes en unos aprendizajes específicos y de una prueba de selección múltiple enfocada en los fenómenos de la naturaleza cuántica de la luz, realizada antes y después de la implementación de la unidad didáctica con el fin de hacer seguimiento a los aprendizajes (ver anexo 6), permitiendo a las docentes en formación especificar las habilidades alcanzadas, el desarrollo de actividades en grupos de trabajo (cuatro grupos de cuatro integrantes), participaciones constantes favoreciendo al estudiante para que pueda regular su propio aprendizaje y participar en su propia evaluación de forma continua (Dodge 1997; Vera, 2008; Villalustre & Del Moral, 2010; García, et al., 2011; Rodríguez-Gallego, 2018).

4.3.6 Etapa 6: Implementación de la unidad didáctica en el salón de clases

Los profesores en formación, implementaron la unidad didáctica relacionada con la naturaleza cuántica de la luz desde la perspectiva de la modelización como estrategia didáctica de enseñanza, a través de cinco sesiones en un salón de clases de grado once (perteneciente a la educación media) de la Institución educativa oficial mencionada

⁷¹ Espacios reflexivos propios de una investigación – acción.

anteriormente. Esta implementación se documentó a través del Repertorio de experiencias Profesionales y Pedagógicas (PaP-eRs), al igual que a través de videos de caso documentados por el investigador principal, quien no participó de forma directa en la implementación respectiva dentro del salón de clases, aunque acompañó los espacios de retroalimentación y reflexión posterior a cada sesión implementada. A su vez, el desarrollo de la implementación se registró en la tesis de pregrado, desarrollada por las profesoras en formación y orientada por el investigador.

4.3.7 Etapa 7: Evaluación del desarrollo del CTPC de los participantes del estudio

Se evaluó el desarrollo del CTPC presentado en los profesores de Ciencias en formación inicial a través de la ReCo, de forma comparativa durante diferentes momentos (fase inicial, fase de formación y fase final del proceso) en relación a los modelos de la naturaleza cuántica de la luz y su modelización en el salón de clases de la educación media, con el propósito de valorar el desarrollo logrado con dichos participantes, y la eficacia (o no) de implementar la enseñanza de la física cuántica en la secundaria.

4.3.8 Etapa 8: Conclusiones

Esta sección tiene como finalidad la elaboración de las conclusiones más importantes derivadas del presente trabajo Doctoral. Igualmente, se desarrollaron algunas implicaciones para el desarrollo de futuras propuestas investigativas.

4.4 Instrumentos de recolección de datos

Con el ánimo de poder recolectar la información en las etapas de formación, desarrollo e implementación y su respectiva evaluación, se utilizaron una serie de instrumentos, que permiten “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.

4.4.1 Repertorio de experiencias Profesionales y Pedagógicas PaP-eRs y videos de caso

Este instrumento conocido como el repertorio de experiencias profesionales y pedagógicas “PaP-eRs”, permite identificar el conocimiento y la práctica del docente en un proceso formativo y/o de implementación mientras se enseña un eje temático, concepto o problemática en específico (Loughran et al., 2000; Candela, 2020).

Los PaP-eRs son relatos narrativos que permiten analizar 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). Estos relatos narrativos se puedan “capturar” a través de entrevistas, de documentación y de la grabación de videos que registran las diferentes sesiones en las que se lleva a cabo el estudio de caso, llamados videos de caso.

Los PaP-eRs son elaborados por el investigador, a partir de diferentes datos, entre los que se pueden encontrar los registros de clases, las ideas expresadas por el docente en discusiones e interacciones durante la práctica docente, las reflexiones del docente, entrevistas, entre otros (Fernández, 2015; Loughran et al., 2004). Por ende, tanto los PaP – eRs como los videos de caso, son considerados escenarios apropiados que le brindan al lector la posibilidad de evidenciar la interacción de los elementos del CTPC de un profesor de ciencias naturales en ejercicio o en formación, al facilitar la identificación y el desarrollo de su CTPC (Candela, 2018, 2020).

Tal y como lo menciona Candela, *“esta heurística de formación mediada por la reflexión sobre el contenido de los PaP-eRs y videos de caso, ha comenzado a jugar un papel crítico dentro de los programas de educación en el contexto nacional, dado que, le permite al profesor evidenciar de manera explícita los diferentes elementos que configuran el CTPC de la ciencia”* (2018, 2020) (Cennamo et al., 1996; Abell & Cennamo, 2003)

Para elaborar cada PaP-eRs se documentó las sesiones de clases en las que se implementó la unidad didáctica desarrollada, construyendo un registro de las acciones e interacciones desarrolladas por las profesoras en formación y las estudiantes en el aula, registrándose en videos de caso, en entrevistas y correlatos y en la investigación final de pregrado.

4.4.2 Instrumento metodológico de la representación del contenido (ReCo o CoRe)

El instrumento metodológico para recopilación de datos denominada ReCo (Instrumento metodológico de la representación del contenido, o CoRe por sus siglas en inglés) 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 Conocimiento Pedagógico del Contenido CTC referente a una serie de conocimientos específicos, proporcionando información pertinente para la toma de decisiones de un proceso de formación y desarrollo (Loughran, Mulhall & Berry, 2004). La cual, dada la transformación del constructo del conocimiento pedagógico del contenido al conocimiento tecnológico y pedagógico del contenido generada por la necesidad de incorporar las TIC en el salón de clases y en los procesos de formación; se ha adaptado *“la estructura epistemológica de la ReCo al marco teórico del emergente constructo del CTPC, con el fin de que este instrumento continúe siendo utilizado como una heurística clave en los programas de educación donde la práctica del diseño de ambientes de aprendizaje resulta importante para el desarrollo profesional de los profesores”* (Candela, 2017). Por ende se han desarrollado cuatro preguntas más anexadas a las ocho anteriores⁷², enfocadas en el diseño educativo orientado al uso de las TIC en el desarrollo de un proceso de formación educativo (Candela, 2016, 2017, 2018, 2020).

PREGUNTAS PEDAGÓGICAS	Ideas/ conceptos importantes en ciencias para un tema específico		
	Idea 1	Idea 2	Idea 3
1- ¿Cuál es el propósito de aprendizaje de esta idea?			
2- ¿Por qué es importante que los alumnos conozcan esta idea?			
3- ¿Qué más sabe respecto a esta idea (que no tiene la intención de que sus estudiantes conozcan)?			
4- ¿Cuáles son las dificultades/limitaciones relacionadas con la enseñanza de esta idea?			
5- ¿Cuál es su conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes que influye en la enseñanza de esta idea?			
6- ¿Qué otros factores influyen en su enseñanza de esta idea?			

⁷² Representadas en negrita en la tabla No 1.

7- ¿Qué tecnologías digitales estándar emplea para planear y gestionar el aprendizaje de la idea?			
8- ¿Cuáles son las formas digitales y no digitales que utiliza con el fin de representar y formular la idea?			
9- ¿Cuáles son las herramientas digitales (ej., animaciones, simuladores, laboratorios virtuales, entre otros) más convenientes que utiliza para representar la idea en consideración, y en qué criterios se apoya esta intención de diseño?			
10- ¿Cuáles procedimientos de enseñanza emplea y las razones particulares de su uso para enseñar esta idea?			
11- ¿Cuáles actividades de aprendizaje mediadas o no por las tecnologías digitales, usa con el fin de ayudar a los estudiantes a superar sus dificultades y concepciones alternativas?			
12- ¿Qué formas específicas de evaluación del entendimiento o de la confusión de los alumnos emplea alrededor de esta idea?			

Tabla No1: Estructura lógica del Instrumento de la ReCo adaptada al constructo del CTPC (Candela, 2017; 2020)

La estructura lógica de la ReCo se encuentra configurada por una tabla tipo matriz, en la que en cada fila se ubican las doce preguntas o ítems,⁷³ estos buscan representar y justificar los elementos del CTPC, y en sus columnas aparecen las ideas y/o conceptos importantes que el participante de la formación, considera central de su respectiva selección y secuenciación del contenido en cuestión (Candela, 2020). Cada uno de los ítems se debe desarrollar con el objetivo de brindar una representación clara de la identificación y desarrollo del CTPC relacionado con un concepto en específico. En consecuencia se detalla

⁷³ Permiten documentar las ideas centrales del contenido, los objetivos de enseñanza, el conocimiento de las concepciones alternativas de los estudiantes, las dificultades de aprendizaje de parte de los estudiantes, la secuenciación apropiada de los ejes temáticos, la utilización de los recursos digitales con el fin de representar y formular las grandes ideas, la utilización correcta de ejemplos y analogías, las diferentes formas de abordar la complejidad de las ideas centrales, la adecuada implementación de la tecnología en pro de la gestión y administración de la clase, las formas ingeniosas de evaluar la comprensión y las estrategias que el profesor emplea en las clases (Candela, 2016; 2020).

el objetivo de cada ítem propuesto en esta estructura lógica de la siguiente forma según lo planteado por Candela (2016; 2020):

Ideas/ conceptos importantes en ciencias para un tema específico: Este ítem tiene como objetivo principal que el profesor en formación o en ejercicio identifique, detalle las diferentes ideas que configuran de forma coherente el contenido a ser enseñado.

1- ¿Cuál es el propósito de aprendizaje de esta idea?: A través de esta pregunta o ítem se hace referencia al aspecto del CTPC que le permite al profesor en formación o en ejercicio, establecer lo que los estudiantes podrían ser capaces de aprender acerca de un contenido o concepto en específico. Este ítem permite representar las diferentes relaciones establecidas entre la idea en consideración y los otros contenidos curriculares de forma transversal, así como la identificación de las diferentes ideas que configuran el contenido específico a ser enseñado alienándolas a las metas u objetivos de aprendizaje.

2- ¿Por qué es importante que los alumnos conozcan esta idea?: Busca brindar que el docente en ejercicio o formación piense de manera deliberada la importancia de que los estudiantes construyan un contenido o concepto en concreto. Este conocimiento está influenciado tanto por el contexto, como por los valores y creencias que posee el profesor a lo largo de su formación, es decir, en este ítem se vinculan el conocimiento y las creencias que un profesor posee en relación con los propósitos y metas que tiene la enseñanza de un contenido o eje temático en particular.

3- ¿Qué más sabe respecto a esta idea (que no tiene la intención de que sus estudiantes conozcan)?: El objetivo de esta pregunta es presentar la estrecha relación entre el CTPC y el currículo de las ciencias. Se pretende que el profesor en formación relacione el contenido a enseñar con otros conceptos que podrían ser significativos para su aprendizaje, reforzando el pensamiento conceptual con el contenido de un área, en lugar de la acumulación de temas sin relación aparente, buscando la selección del contenido pertinente para que sus estudiantes lo aprendan de forma comprensiva y significativa.

4- ¿Cuáles son las dificultades/limitaciones relacionadas con la enseñanza de esta idea?: El objetivo de este ítem es tener un papel fundamental en el diseño de la secuencia de enseñanza propuesta, ya que orienta la construcción de las actividades de aprendizaje brindando a los estudiantes la oportunidad de superar las limitaciones y

dificultades que tienen en el aprendizaje de un concepto o contenido en particular. Este ítem está alineado con las características del elemento del CTPC de la comprensión de los estudiantes de un concepto de las ciencias, a través de la necesidad que tiene el profesor en formación o ejercicio de identificar las posibles dificultades con que los estudiantes se enfrentan a un concepto, buscando poder apoyarlos durante la comprensión conceptual.

5- ¿Cuál es su conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes que influye en la enseñanza de esta idea?: Aquí se busca hacer explícito las diferentes concepciones alternativas con las que llegan los estudiantes al salón de clases, debido a que estas concepciones facilitan al profesor conocer de forma previa las posibles intuiciones que tienen los estudiantes en el momento de enfrentarse a una problemática relacionada con el contenido a enseñar, posibilitando el diseño de actividades de aprendizaje que miden el desarrollo progresivo de dichas concepciones alternativas. Este ítem también está alineado con las características del elemento del CTPC de la comprensión de los estudiantes de un concepto de las ciencias, en relación con las dificultades que configuran el conocimiento de los estudiantes cuando llegan al aula.

6- ¿Qué otros factores influyen en su enseñanza de esta idea?: En este ítem se representa el conocimiento contextual acerca del estudiante y los principales elementos del conocimiento pedagógico que influyen el método de enseñanza a nivel general. Busca que el profesor pueda conocer de forma previa los antecedentes académicos y culturales con los que llegan posiblemente los estudiantes en el aprendizaje de un contenido en particular. Este ítem también está alineado con las características del elemento del CTPC de la comprensión de los estudiantes de un concepto de las ciencias, permitiendo implementar alguna técnica, estrategia o modelo de enseñanza con el objetivo de apoyar al estudiante en la comprensión de un concepto.

7- ¿Qué tecnologías digitales estándar emplea para planear y gestionar el aprendizaje de la idea?: Esta pregunta se enfoca en reconocer el conocimiento que posee el profesor en formación o en ejercicio frente a las diferentes tecnologías digitales que apoyan la enseñanza de un contenido en específico como su forma de representarlo. Estos conocimientos apoyan la forma en que se diseña y se enseña en pro de la comprensión de forma integrada y conceptual. En este ítem se relaciona el CTPC con el conocimiento de las

TIC para gestionar el aula, lo que podría permitir que el profesor integre al salón de clases diferentes programas y aplicaciones buscando un aprendizaje significativo.

8- ¿Cuáles son las formas digitales y no digitales que utiliza con el fin de representar y formular la idea?: Con esta pregunta se pretende que el profesor en ejercicio o en formación identifique y detalle las posibles formas de representar y formular un concepto en particular, ya sea con el uso de recursos físicos como digitales. Aquí se relaciona el CTPC con el conocimiento de los recursos digitales y físicos con el fin de representar o plantear una idea, permitiendo que el profesor pueda tomar conciencia de la diversidad de recursos con los que podría contar para enseñar un contenido.

9- ¿Cuáles son las herramientas digitales (ej., animaciones, simuladores, laboratorios virtuales, entre otros) más convenientes que utiliza para representar la idea en consideración, y en qué criterios se apoya esta intención de diseño?: Este ítem explora sobre la posible toma de conciencia del profesor sobre las fortalezas y debilidades que posee un recurso digital con la intención de generar nuevo conocimiento o un aprendizaje significativo relacionado con un concepto o un contenido en particular. Igual que el anterior, este ítem relaciona el CTPC con el conocimiento de los recursos digitales y físicos con el fin de representar o plantear una idea. La intención del diseño depende de las potencialidades y restricciones que posee el recurso digital en cuestión.

10- ¿Cuáles procedimientos de enseñanza emplea y las razones particulares de su uso para enseñar esta idea?: Esta pregunta se relaciona a la serie de técnicas, modelos y estrategias de enseñanza utilizados con el fin de generar un nuevo aprendizaje. Para diseñar e implementar la enseñanza de un contenido, el profesor en ejercicio o en formación se puede apoyar en diferentes teorías de aprendizaje, alienadas con algunas de las estrategias y modelos de enseñanza. Esta pregunta relaciona el CTPC con las estrategias de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, posibilitando que el profesor pueda tomar decisiones en cuanto a la forma en que se podría estructurar las clases, así como el modelo de enseñanza a utilizar.

11- ¿Cuáles actividades de aprendizaje mediadas o no por las tecnologías digitales, usa con el fin de ayudar a los estudiantes a superar sus dificultades y concepciones alternativas?: Se pide al profesor seleccionar los elementos pertinentes desde las bases del conocimiento apoyadas o no por las TIC, con el objetivo de construir

una serie de conocimientos o de teorías que permitan orientar la construcción de un material o instrumento de enseñanza. Igualmente esta se relaciona el CTPC con las estrategias de enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

12- ¿Qué formas específicas de evaluación del entendimiento o de la confusión de los alumnos emplea alrededor de esta idea?: Este ítem presenta uno de los factores clave en el proceso de enseñanza y aprendizaje, posibilitando que el profesor pueda monitorear el nivel de comprensión, compromiso y dificultad que podrían tener los estudiantes en el aprendizaje de un contenido particular. Por lo tanto se espera que el docente proponga o tenga en cuenta un tipo de evaluación formativa cuyo interés sea el de orientar al estudiante con el fin de alcanzar de forma progresiva una comprensión de mayor nivel. Relaciona el CTPC con el conocimiento de la evaluación del aprendizaje de las ciencias a través de las dimensiones a evaluar relacionadas con los procedimientos, conceptos y actitudes de enseñanza, permitiendo construir un cuerpo básico de conocimientos del currículo de las ciencias, refiriéndose a los procesos de alfabetización científica, en donde la naturaleza de la ciencia, la investigación y el razonamiento crítico juegan un papel fundamental (Candela, 2020).

Es por ello que el ReCo se constituye en un instrumento importante para identificar el CTPC del profesor de ciencias naturales – física en formación, en las diferentes etapas de la formación, el cual ha sido validado por diferentes investigadores y pedagogos (Candela, 2016, 2017, 2018, 2020; Viafara, 2015; Fernández, 2015, Garritz, et al., 2006; Loughran, et al., 2000, 2004; Zuluaga, 2017). En esta investigación, el ReCo se utilizó en diferentes momentos: (1) antes del proceso formativo, con la intención de identificar el CTPC inicial del docente de ciencias naturales en formación inicial; (2) durante el proceso formativo y (3) luego del proceso formativo (después de la elaboración y aplicación de la unidad didáctica), con la intención de reconocer el desarrollo del CTPC del docente a través de la interacción desarrollada a lo largo del proceso (Zuluaga, 2017; Candela, 2020).

4.4.3 El análisis textual discursivo

Con el propósito de reconocer el desarrollo del CTPC de los profesores en formación referente a la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz mediante la modelización como estrategia didáctica, es importante identificar que las fuentes principales con las cuales se hizo la recopilación y el análisis de los respectivos datos,

proviene de: (1) el desarrollo del ReCo al inicio, durante y al final del proceso de formación; (2) los PaP-eRs y los videos de caso registrados durante la formación, elaboración e implementación de la unidad didáctica; y (3) la producción tanto oral como escrita de los profesores en formación, propiamente los cuestionarios, entrevistas y la unidad didáctica propuesta (ver anexos 5, 6 y 7), siendo documentos constituidos por textos narrativos discursivos.

Es así que el análisis de los datos se enfoca en las narrativas construidas en el proceso de formación, por lo que el método de análisis más adecuado para toda la información que se genera en las diferentes etapas investigativas propuestas, es el *análisis textual discursivo*, estrategia metodológica adoptada para el análisis de diferentes datos en un proceso investigativo cualitativo (Galiazzi, 2006, 2011; Zuluaga, 2017). Esta técnica ideada por Moraes y Galiazzi (2006) analiza datos cualitativos entre dos formas de análisis en la investigación cualitativa, las cuales son el análisis del contenido y análisis del discurso. En este tipo de análisis, el describir e interpretar posee una visión hermenéutica de reconstrucción de significados enfatizándose en la perspectiva de los sujetos involucrados pertenecientes a la investigación respectiva, es decir que no adopta una teoría específica de principio a fin, por ello son elementos concebidos en conjunto y forman parte del esfuerzo por explicar la comprensión del fenómeno investigado (Moraes, 2003; De Medeiros & Cardoso, 2017), es decir que una misma implementación de un procesos de formación se puede interpretar desde diferentes perspectivas, resultando múltiples significados, dependiendo del enfoque en que se encuentre (Zuluaga, 2017).

Para Moraes el análisis textual discursivo puede entenderse como un proceso de construcción autoorganizado de comprensión, en el que nuevos entendimientos emergen de una secuencia enfocada en tres etapas (Moraes, 2003, p. 192; Zuluaga, 2017; Moreno-Rodríguez, Brandão & Galiazzi, 2021):

1- Unitarización: consiste en dismantelar el texto a analizar con el fin de seleccionar los elementos o fragmentos más relevantes (unidades de significado) para la investigación y para el investigador.

2- Categorización: se constituyen a partir de categorías a priori o emergentes, como un proceso de agrupación de elementos (unidades de significado) con significados cercanos, desarrollándose en tres momentos: categorización inicial, categorización

intermedia y categorización final. En el análisis textual discursivo se pueden utilizar diferentes metodologías para la construcción de las nuevas comprensiones, como lo es el análisis de las categorías emergentes⁷⁴ a priori y a posteriori, o también, el investigador parte de un conjunto de categorías o subcategorías definidas a priori (Magnusson et al., 1999), complementándolas o reorganizándolas a partir del análisis del respetivo texto.

3- Comunicación: equivale a la construcción de un metatexto⁷⁵ en el que se establecen puentes o relaciones entre las categorías construidas y los diferentes elementos textuales para expresar con mayor claridad las nuevas comprensiones sobre el fenómeno estudiado.

Cabe anotar que en el desarrollo de estas etapas, se realiza constantemente un análisis de la descripción, la interpretación y la argumentación de los textos, buscando generar una mediación en la producción de significados, permitiendo reescribir cada elemento para que adquiera el mayor significado posible, así como la asignación de un nombre o título a cada unidad de significado desarrollada.

4.5 Diseño y desarrollo del proceso de formación

Tal y como se menciona en la sección 4.3 “Descripción del proceso de investigación”, el trabajo de campo referente al diseño y al desarrollo del proceso de formación se realizó en tres momentos⁷⁶. Al comienzo del proceso se buscó identificar el CTPC inicial de las profesoras en formación relacionado con la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz en la educación media, apoyándose en la CoRe como instrumento principal de recolección de datos, complementando con el cuestionario diagnóstico y la identificación de los cursos vistos previamente durante la Licenciatura⁷⁷ con el fin de poder tener un contexto más amplio de las posibles habilidades adquiridas por parte de las

⁷⁴ Las categorías emergentes son construcciones teóricas que el investigador elabora, a partir de la información del conjunto de textos de análisis, asociadas a métodos inductivos e intuitivos (Zuluaga, 2017).

⁷⁵ Los metatextos se componen de la descripción e interpretación del texto, siendo una forma de entender y teorizar los fenómenos investigados, por ende, la calidad del análisis de los textos resultantes no depende sólo de su fiabilidad y validez, sino que también depende de los argumentos que generó el investigador asumiéndose como autor principal de su propia investigación, es decir que el investigador elabora un ejercicio de descripción, interpretación, inferencia y teorización de la investigación (Moraes, 2003, p.202).

⁷⁶ Etapa 4 - Diseño del proceso de formación; Etapa 5 - Desarrollo de la unidad didáctica con los participantes del estudio y Etapa 6 - Implementación de la unidad didáctica en el salón de clases.

⁷⁷ Ver anexo 3.

estudiantes durante su formación en el pregrado a través de pláticas de contexto. Por ende, con el fin de poder ejecutar la elaboración del proceso de formación se realiza como etapa previa, la presentación de la investigación y la identificación de CTPC de las docentes en formación.

4.5.1 Presentación de la investigación e identificación del CTPC inicial de las profesoras en formación - Etapa previa.

En esta etapa previa⁷⁸, se buscó generar algunos encuentros con el objetivo de presentar la propuesta de investigación⁷⁹, y la aplicación de los instrumentos con el fin de poder analizar el CTPC de los participantes del estudio, realizando el primer encuentro al finalizar el curso de “física moderna y contemporánea”⁸⁰ (el cual está muy relacionado con el conocimiento del contenido o disciplinar de la presente pesquisa), continuando en el curso de Proyecto de grado II (PDG II) a través de la dirección de tesis.

Primer encuentro:

Propósito

Presentar la investigación a un grupo de profesores en formación, invitándolos a participar en el proceso de formación con el fin de desarrollar su tesis de pregrado bajo la aplicación del objeto de la pesquisa.

Descripción del encuentro

En una de las últimas sesiones del curso de “física moderna y contemporánea”, el profesor encargado del mismo permitió la socialización referente al interés de la implementación de la investigación, los objetivos y la metodología, así como la necesidad de aplicar un cuestionario inicial, con el objetivo de identificar sus conocimientos de temáticas relacionados con el proceso de formación. Para ello se utilizaron algunas diapositivas usadas en diferentes eventos académicos (Ponencias) explicando el interés analizar el desarrollo del CTPC de los estudiantes de la Licenciatura en Ciencias Naturales

⁷⁸ Etapa 3: Análisis del CTPC de los participantes del estudio.

⁷⁹ Se buscó generar el interés en su participación dadas las necesidades mostradas en la sección de justificación de la investigación, así como los espacios de acompañamiento desde la dirección de tesis (diseño y ejecución de la tesis de pregrado).

⁸⁰ Visto por las participantes en el IX semestre de la Licenciatura, dada la flexibilidad curricular de la misma.

en relación con la naturaleza cuántica de la luz mediante la modelización como estrategia didáctica de la enseñanza de las ciencias.

Inicialmente la mayoría de los presentes⁸¹ estaban interesados en participar de la propuesta, aunque dos de ellos ya tenían un avance significativo con la tesis del programa dificultándose el cumplimiento de las condiciones de la misma. Las otras dos estudiantes se motivaron a participar mencionando que este tipo de investigación era de su interés, dado lo innovador y a su vez, lo poco que se ha investigado en el campo de la enseñanza de la física dentro de la Licenciatura, siendo su ciencia “favorita” entre las demás⁸². Cabe anotar que desde la dirección del programa se contaba con el interés, el apoyo y la aprobación del acompañamiento de la dirección de tesis del investigador principal⁸³, por ende estas dos estudiantes fueron contactadas con el objetivo de firmar el documento de consentimiento informado.

Segundo encuentro:

Propósito

Presentar y aplicar el instrumento de análisis de la etapa previa, con el objetivo de determinar el CTPC inicial de las profesoras en formación relacionado con la naturaleza cuántica de la luz.

Descripción del encuentro

Este encuentro se desarrolló al iniciar el curso de PDG II (proyecto de grado II) oficializando el inicio de la dirección de tesis, recapitulando las orientaciones que fueron dadas a las estudiantes en el curso anterior de PDG I (proyecto de grado I) referente a la metodología de la investigación, el proceso de diseño, construcción y aplicación de una investigación cualitativa tipo estudio de caso, las características de este tipo de

⁸¹ En la Licenciatura de Ciencias Naturales de la Universidad ICESI, los cursos son dirigidos, es decir, en promedio se cuenta con tres a cinco estudiantes por semestre, considerando que la mayoría de ellos cuentan con beca total o parcial. En el caso del curso mencionado, estaban matriculados cuatro estudiantes (tres mujeres y un hombre).

⁸² Las estudiantes habían participado como asistentes en dos eventos académicos, los cuales se presentó esta propuesta de investigación. Ver anexo 8.

Campos de investigación del programa: Enseñanza y aprendizaje del cuidado del medio ambiente, de la relación ciencia - tecnología y sociedad, de la química, de la biología y de la física, en los diferentes ciclos de la educación (básica y media).

⁸³ Docente perteneciente al Departamento de Ciencias Físicas y a la Escuela de Ciencias de la Educación de la Universidad ICESI.

investigación y los elementos a tener en cuenta⁸⁴, así como el desarrollo de un conversatorio relacionado con los cursos pedagógicos vistos en su programa enfocados en la construcción y posible aplicación de unidades didácticas usando medios tecnológicos y recursos TIC⁸⁵, mencionando de parte de las estudiantes la capacidad para ello ya que era un ejercicio constante en los últimos semestres. Posteriormente se explicó en términos generales en qué consistía el CTPC como marco teórico de la investigación enfocado en el conocimiento de los maestros y su desarrollo.

Más adelante, se explicó el propósito de la CoRe, sus características, intención y demás, utilizando un ejemplo de una CoRe desarrollada por un docente en formación⁸⁶, detallando cada una de las preguntas, respondiendo inquietudes enfocadas a su construcción. Se procedió a compartir la CoRe con cada una de las estudiantes buscando que las respuestas estuvieran enfocadas en una propuesta para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz (problemática trabajada en el curso de “física moderna y contemporánea”) en la educación media. Se aclara que el cuestionario fue realizado en el formulario de Google, por lo que el enlace fue compartido a las participantes con el objetivo que lo pudieran desarrollar en un tiempo acordado de una semana⁸⁷. El material de investigación recopilado en esta reunión se generó a través del desarrollo de la CoRe y la recopilación del conversatorio de contexto de formación previa.

4.5.2 Realización de la propuesta de formación - Etapa 4.

Basado en el análisis del CTPC inicial de las dos participantes, se planteó una propuesta de formación con el objetivo de promover la reflexión pedagógica⁸⁸ relacionada con la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz a través de la modelización como estrategia didáctica y el uso de las TIC en el salón de clases de física en la educación media. Para ello se tuvieron en cuenta los dos primeros niveles de los tres propuestos por

⁸⁴ Objetivo principal del curso PDG I, visto con un docente quien tuvo a cargo estudiantes de todas las Licenciaturas de la Universidad.

⁸⁵ Según el enfoque de “Cartografía de la tecnología”, es importante tener en cuenta el contexto previo de los estudiantes con los cuales se va a desarrollar el CTPC, en este caso, tener en cuenta los cursos previos que permitieron aprender a diseñar e implementar unidades didácticas usando las TIC entre otros.

⁸⁶ Ejemplo extraído del libro “Integrando las TIC a la escuela de la sociedad del conocimiento”, del profesor Boris Candela (2020).

⁸⁷ La CoRe se realizó de forma individual.

⁸⁸ Sumando la reflexión al proceso formativo – investigativo. Segundo objetivo específico.

Valcárcel & Sánchez referente a los programas de educación continua y formación de docentes: Primer nivel - iniciación para el cambio⁸⁹, segundo nivel - fase de desarrollo del cambio⁹⁰ y tercer nivel⁹¹ - desarrollo del cambio (2000), es así que se busca que exista un nivel de reflexión en la formación tanto práctica como crítica, procurando la visualización constante de los objetivos que llevarían a mejores resultados, reconociendo los significados que se ponen en juego en el proceso de formación, implicando a su vez los criterios éticos y morales relacionados con la perspectiva histórica, social y política de los fenómenos naturales trabajados dentro de cada conocimiento (Lamas, & Vargas, 2016; Jarpa, Haas, & Collao, 2017).

Por lo tanto, se pretendió como primer nivel desarrollar un proceso de formación enfocado en la reflexión de (1) la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias, (2) el uso de las TIC como herramientas cognitivas y (3) la naturaleza cuántica de la luz, siendo los tres conocimientos mencionados en la presente pesquisa.

Referente al segundo nivel, el grupo de profesoras en formación se constituyó como un par colaborativo con el objetivo de diseñar, implementar y reflexionar acerca de una propuesta de enseñanza y aprendizaje (propiamente una unidad didáctica), utilizando la modelización y las TIC para ilustrar algunos fenómenos naturales relacionados con la naturaleza cuántica de la luz.

⁸⁹ El objetivo principal es movilizar al docente en formación para el cambio mediante el acto de cuestionar su pensamiento y sus futuras prácticas en el aula.

⁹⁰ Pretende involucrar al docente en el desarrollo del currículo e incorporarlo a los procesos de investigación con el fin de cambiar sus concepciones y futuras prácticas, para ello se requiere la formación de grupos de trabajo con compañeros de la misma disciplina para su colaboración, reflexión y debate, buscando la elaboración de nuevas propuestas curriculares (Valcárcel & Sánchez, 2000).

⁹¹ El objetivo es avanzar en el desarrollo individual y social del maestro basado en la capacidad que tienen los docentes de elaborar conocimiento a partir del contraste, la experimentación y la reflexión sobre su práctica, este nivel se enfoca principalmente en profesores en ejercicio (Valcárcel & Sánchez, 2000).

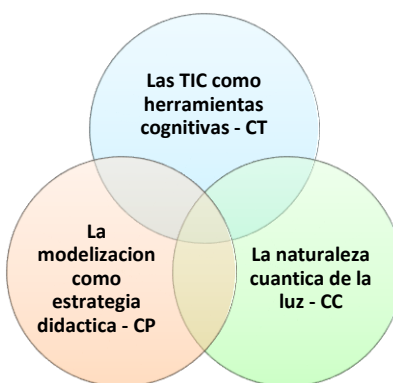


Figura 14: Los conocimientos bases de la propuesta de formación.

Para el planteamiento y desarrollo de los encuentros reflexivos, se tuvieron en cuenta el conocimiento previo de las participantes referente a su formación universitaria. Los ejes temáticos propuestos para la reflexión del par colaborativo, se presentan en la siguiente tabla:

La modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias (CP)	Las visiones deformadas de la Ciencia y la actividad científica.
	La modelización como propuesta didáctica en el aula.
	El valor de los modelos y la modelización en las Ciencias y la Enseñanza de las Ciencias.
Las TIC como herramientas cognitivas (CT, CTP)	La relación de las TIC, los medios didácticos tecnológicos y la enseñanza de las ciencias naturales
	El impacto de las TIC en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias
	Algunos estudios empíricos acerca de la integración de las TIC como herramientas cognitivas en el salón de clases de ciencias
La naturaleza cuántica de la luz (CC, CPC, CTC)	Historia de la naturaleza cuántica de la luz y su importancia en la enseñanza.
	La enseñanza de la física cuántica en la educación media usando las TIC como herramientas cognitivas.
	La enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz a través de los modelos.

Tabla No2: Temáticas propuestas para la reflexión del par colaborativo. (Fuente: Autor) ⁹²

Las reuniones se desarrollaron en los espacios designados para el acompañamiento de la dirección de tesis del curso de PDG II perteneciente al último semestre de la

⁹² CC: conocimiento del contenido; CP: conocimiento pedagógico; CT: conocimiento tecnológico; CPC: Conocimiento Pedagógico del Contenido; CTP: Conocimiento Tecnológico Pedagógico y CTC: conocimiento tecnológico del contenido.

Licenciatura (X semestre), desarrollándose cada semana (durante diecisiete semanas) en un tiempo aproximado de dos horas para la participación de los encuentros reflexivos – formativos. La metodología desarrollada para la mayoría de los encuentros fue la siguiente:

1. Propósitos de la sesión reflexiva – formativa.
2. Presentación de las preguntas orientadoras y lectura previa del material bibliográfico⁹³.
3. Discusión de preguntas orientadoras relacionadas con la temática tratada.

Las preguntas orientadoras estuvieron relacionadas con la temática de discusión, procurando contextualizar y analizar el conocimiento inicial de las profesoras en formación. Algunas interacciones entre el par colaborativo y el investigador fueron grabados en audio, en otras se realizaron transcripciones escritas, permitiendo reconocer diversas narrativas que dan cuenta del CTPC de las participantes a medida que se iban desarrollando los encuentros.

Para esta etapa de realización de la propuesta de formación, se efectuaron nueve encuentros con el objetivo de trabajar cada temática presentada en la tabla No 2.



Figura 15: Encuentro de formación con las participantes.

4.5.2.1 La modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias

⁹³ Una semana antes de cada encuentro se les compartía las preguntas orientadoras, las lecturas y videos que debían revisar previo a la respectiva sesión.

Para que las participantes reflexionaran acerca de la modelización como estrategia de enseñanza de las ciencias, buscando generar el desarrollo del conocimiento pedagógico, la comprensión de los modelos mentales, los modelos científicos y su movilización en el salón de clases, se desarrollaron tres encuentros de la siguiente forma:

Tercer encuentro - Las visiones deformadas de la Ciencia y la actividad científica:

Propósito

Reflexionar acerca de los propósitos de la enseñanza de la física y las diferentes visiones deformadas que tienen los profesores de ciencias y que son transmitidas en el salón de clases.

Material de referencia

Fernández, I., Gil, D., Valdés, P. & Vilches, A. (2005). ¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos? La superación de las visiones deformadas de la ciencia y la tecnología: un requisito esencial para la renovación de la educación científica. En ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años. Santiago: OREALC/UNESCO. Cap. 2. PP 29-62.

Preguntas orientadoras

¿Cuál es mi visión de la física? ¿Por qué es importante enseñarla en la educación media?

¿En cuáles de estas visiones deformadas incurren mayormente los docentes de física en la práctica educativa y cómo poder superarlas?

Descripción del encuentro

La sesión comenzó con la presentación del propósito del encuentro enfocado en el conocimiento y la reflexión sobre aquellas visiones de la ciencia (particularmente en la física) que los docentes poseen y transmiten a través de sus prácticas en el aula. Como el documento fue revisado previamente por las participantes (igual que en las demás sesiones) se presentaron las preguntas orientadoras buscando que pudieran cuestionar y reflexionar sobre cuál es el propósito principal de la enseñanza de la física, generando una plática entre el par colaborativo -reflexivo y el investigador permitiendo la interacción discursiva de

dichos asistentes enfocada en las diferentes visiones deformadas de las ciencias, caso enseñanza de la física:

- Una visión descontextualizada
- Una concepción individualista y elitista
- Una concepción empiro-inductivista y atórica
- Una visión matematizada (siendo la de mayor énfasis en el grupo de discusión)
- Una visión aproblemática y ahistórica
- Visión exclusivamente analítica
- Visión acumulativa, de crecimiento lineal
- Visión de realismo ingenuo

Al final de la sesión, se solicitó a las profesoras en formación que escribieran sus reflexiones sobre el tema, a partir de las preguntas orientadoras.

El material de investigación recopilado en esta reunión comprende grabaciones de las interacciones discursivas de las asistentes, las reflexiones solicitadas y la construcción inicial tanto de la justificación, como el marco teórico de la tesis de pregrado.

Cuarto encuentro - La modelización como propuesta didáctica en el aula:

Propósito

Reflexionar acerca del papel de los modelos y la modelización en la ciencia y la enseñanza de las ciencias para a partir de la exposición de unos referentes conceptuales.

Material de referencia

- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. Enseñanza de las Ciencias, v. 2, n. 24, p. 173-184.

- Adúriz-Bravo, A. & Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. Revista electrónica de investigación en educación en ciencias. REIEC Año 4 Nro. Especial 1. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires Argentina.

Preguntas orientadoras

¿A qué se hace referencia cuando se mencionan los siguientes conceptos: modelos mentales, científicos y de enseñanza en las ciencias?

¿Cómo la modelización permite la movilización del pensamiento científico en el salón de clases y aporta a la superación de las visiones deformadas de ciencia?

Descripción del encuentro

En este encuentro se procuró transmitir y reflexionar algunos fundamentos teóricos relacionados el concepto de modelo mental⁹⁴, la visión de ciencias como modelos científicos, la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias y sus aportes a la superación de las visiones deformadas de la enseñanza de la ciencia. Mostrando la modelización como un proceso que ocurre cuando los estudiantes aprenden a dar sentido a los hechos y fenómenos naturales que observan, procurando construir explicaciones y relaciones cada vez más complejas, desarrollando de forma progresiva los modelos mentales relacionados con los modelos científicos.

El par colaborativo contrastaba estos conceptos con algunas estrategias didácticas de enseñanza de las ciencias trabajadas en semestres anteriores, encontrándole significado y uso, lo que podría haber facilitado, según ellas, la realización de las mismas, mencionando algunos ejemplos de uso de modelos en el salón de clases de física, propiamente del curso de “física moderna y contemporánea”, debatiendo sobre las características de los modelos presentados en la explicación de diferentes fenómenos naturales.

El material de investigación recogido se generó igual que en la sesión anterior.

Quinto encuentro - El valor de los modelos y la modelización en las ciencias y la enseñanza de las ciencias:

Propósito

Identificar el conocimiento de los profesores relacionado con los modelos y la modelización.

Presentar algunos ejemplos de la aplicación de modelos en el salón de clases de ciencias.

Material de referencia

- Justi, R., et al. (2011). Experiencias de formación de profesores de ciencias latinoamericanos sobre modelos y modelaje. Revista enseñanza de las ciencias, 2011, 29(3), 413–426. Investigación didáctica.

⁹⁴ como un tipo de representación mental o análogo estructural, que se construye en la interacción con el universo, permitiendo diversas interpretaciones de la “realidad” interactuando con ella.

- 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. Programa de pós-graduação em educação para a ciência. Faculdade de ciencias. Universidade Estadual Paulista “júlio de mesquita filho”. Brazil.

Preguntas orientadoras

- ¿Que conocimientos tienen los profesores de ciencia referente a los modelos y a la modelización?
- ¿Qué características debe tener una clase de ciencias en la cual se aplica la modelización como estrategia didáctica?
- ¿Qué modelo se podría implementar en una clase de física cuántica en la educación media?

Descripción del encuentro

Al igual que en los anteriores encuentros, la sesión partió a través de la reflexión y discusión generadas por las preguntas orientadoras basadas en los textos planteados con anterioridad.

Las participantes presentaron una serie de ideas relacionadas con el texto de Justi, R., et al. en cuanto a cómo llevar un caso de modelización al salón de clases de física, propiamente al de física cuántica. Para ello usaron algunos ejemplos de clases del curso de “física moderna y contemporánea”, aterrizándolos al caso de una clase de colegio, particularmente de grado once en donde se trabajaría el fenómeno natural referente a la radiación del cuerpo negro, usando unas tapas de botella plástica a las cuales se aplicó radiación (una totalmente negra y la otra de un color diferente), tomando el valor de la temperatura antes y después⁹⁵.

Posteriormente se presentó una experiencia relacionada con la enseñanza de un concepto de ciencias a través de la modelización como estrategia didáctica, para visualizar las características que debe tener una propuesta de aplicación de modelos en el aula de ciencias – física y qué dificultades se podrían encontrar en la elaboración de este proceso.

⁹⁵ Cabe resaltar que las estudiantes posteriormente organizaron esta idea llevándola a la unidad didáctica propuesta.

Las profesoras en formación interactuaron exponiendo algunos ejemplos de cursos vistos anteriormente en los que se aplicaban modelos en su respectivo desarrollo, sin embargo conocían la teoría pedagógica que había detrás de ello, se reflexiona sobre las ventajas generadas por esta estrategia didáctica y los aportes que hubieran significado en su propio aprendizaje en una disciplina científica como es la física.

El material de investigación recogido en este encuentro correspondió a la grabación de la sesión, algunos registros escritos y la continuación del marco teórico de la tesis de las estudiantes.

4.5.2.2 Las TIC como herramientas cognitivas

Buscando que las profesoras en formación analizaran y reflexionaran acerca de las TIC como herramientas cognitivas, se realizaron tres encuentros enfocados en el desarrollo del conocimiento tecnológico y el conocimiento tecnológico pedagógico relacionando su uso con los modelos científicos y en general, con la modelización en el salón de clases de física, a través de diferentes propuestas:

Sexto encuentro - La relación de las TIC, los medios didácticos tecnológicos y la enseñanza de las ciencias naturales (CTP):

Propósito

Analizar y reflexionar acerca del papel de los medios didácticos tecnológicos, sus aportes y relación con la enseñanza de las ciencias.

Material de referencia

Viafara, R. (2015). La relación de las tecnologías de la información y la comunicación, los medios didácticos tecnológicos y la enseñanza de las ciencias naturales. Estatuto epistemológico de la investigación en educación en ciencias periodo 2000-2011. Programa Editorial Universidad del Valle. P. 307-329.

Video: “HOY SÍ que vas a entender la mecánica cuántica”. de “Date un Vlog”, canal de YouTube. Javier Santaolalla: [Link: <https://www.youtube.com/watch?v=7-TuaLHCZfM&t=31s>]

Preguntas orientadoras

¿Qué se entiende por medios didácticos tecnológicos en la enseñanza de las ciencias?

¿Qué aportes brinda las TIC a la enseñanza de las ciencias, propiamente a la enseñanza de la física?

¿Cómo mejorar el estado de la enseñanza de la física a través de los medios didácticos tecnológicos?

Descripción del encuentro

Las participantes inicialmente compartieron sus experiencias, aprendizajes y usos de las TIC en los cursos enfocados en el diseño de ambientes de aprendizaje utilizando estos medios (diseño de ambientes de aprendizaje I, II y III), para contextualizar sus saberes previos, las visiones que tenían para ese momento del uso de las herramientas tecnológicas en la clase de ciencias – física, mencionando ejemplos de algunos cursos de su programa en lo que se apoyaban en estos elementos, algunos de forma positiva, otros no tanto. Se lograba evidenciar la visión que tenían de las TIC como herramientas “mediadoras” del conocimiento (visión tradicional).

Se discutió acerca de las diferentes visiones que se tienen del uso de las TIC en el salón de clases, por un lado considerándolas como herramientas o instrumentos y por otro como formas de representación del pensamiento, más cercanas al lenguaje y por lo tanto ligada a la forma del pensamiento, lo que permite potenciar el desarrollo de un pensamiento científico. Luego se reflexionó acerca de los usos que se podrían dar a los diversos videos y simuladores de física que se encuentra en la internet, enfocados en la física cuántica, caso ejemplo del video “HOY SÍ que vas a entender la mecánica cuántica”, realizando algunas propuestas de su posible uso en una clase de física de grado once de la educación media.

Mencionaban los diversos recursos TIC que se presentaron en el curso de “física moderna y contemporánea”, entre ellos: videos enfocados en este campo de la física, algún simulador relacionado con los modelos atómicos, y aplicaciones de Android para la consulta de conceptos de física cuántica y simulaciones de las diversas constelaciones. Finalmente, recalcaban que el uso de los medios didácticos tecnológicos en la clase de física era exitoso en la medida que el docente conociera la problemática a trabajar en el salón de clases, pero también era necesario tener un buen manejo de los recursos TIC con el objetivo de poder facilitar el aprendizaje del estudiante en problemáticas tan complejas como es la física cuántica.

Séptimo encuentro - El impacto de las TIC en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias:

Propósito

Comprender las características y condiciones que permiten a las TIC ser herramientas cognitivas, movilizadoras del aprendizaje.

Material de referencia

Jonassen, D., Carr, C. & Yueh, H. (1998). Computers as Mindtools for engaging learners in critical thinking. TechTrends, 43(2), 24-32.

Candela, B. (2020). Las herramientas cognitivas: elemento fundamental para la escuela de la sociedad del conocimiento. En: Integrando las TIC a la escuela de la sociedad del conocimiento. Formación y desarrollo profesional docente. P. 27 – 49. Colección Educación y Pedagogía. Programa editorial Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia.

Candela, B. (2020). Desarrollo profesional y el uso pedagógico de las TIC. En: Integrando las TIC a la escuela de la sociedad del conocimiento. Formación y desarrollo profesional docente. P. 59 – 66. Colección Educación y Pedagogía. Programa editorial Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia.

Simuladores: PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. Quantum Phenomena

Preguntas orientadoras

¿Qué características y condiciones permiten que los medios didácticos tecnológicos se conviertan en herramientas cognitivas?

¿Qué tipologías de las TIC existen como herramientas cognitivas, y como se podrían usar en una clase de física?

Descripción del encuentro

El objetivo del encuentro fue analizar y reflexionar acerca de los elementos que permiten que las TIC sean herramientas que logren trascender las limitaciones cognitivas del procesamiento humano siempre y cuando, el docente permita las condiciones para ello. Para ello se usaron los simuladores “PHET” referente a los fenómenos cuánticos, buscando que las participantes realizaran propuestas de enseñanza en el salón de clases de física mediante estos simuladores generando las respectivas condiciones para que se usara como una herramienta cognitiva, lo cual más adelante materializaron en diferentes sesiones de la

unidad didáctica propuesta, al hacer uso de diferentes modelos propios de la modelización como estrategia didáctica, desplegando el conocimiento pedagógico tecnológico (CPT).

Se discutió el uso de las diferentes tipologías de las TIC como herramientas tecnológicas: herramientas de organización semántica, herramientas de comunicación y colaboración, herramientas de construcción de conocimiento, herramientas de modelado dinámico y enfocándose en diferentes ejemplos de las herramientas de interpretación de la información, sobre todo en los beneficios que traen consigo el uso de los simuladores en la clase de física, como por ejemplo en instituciones que no cuentan con espacio de prácticas experimentales, el control que se le puede hacer a una práctica simulada, la retroalimentación en tiempo real, el aporte al trabajo autónomo de parte del estudiante y el acercamiento y “manipulación” de fenómenos naturales que no se podrían hacer de forma física, como son los fenómenos de la física cuántica, entre otros. Se pudo evidenciar una apropiación positiva de parte de las profesoras en formación referente los diversos medios TIC que podrían potenciar el aprendizaje de la física cuántica y su uso permitiendo la movilización del conocimiento generado por el contrato pedagógico entre el docente, el saber y los estudiantes (enfoque constructivista).

Octavo encuentro- Algunos estudios empíricos acerca de la integración de las TIC como herramientas cognitivas en el salón de clases de ciencias:

Propósito

Presentar algunos ejemplos relacionados con la integración de las TIC como herramientas cognitivas en clases de ciencias.

Material de referencia

Candela, B. (2020). Capítulo V: Documentación del CTPC de un profesor de ciencias durante la implementación de un objeto de aprendizaje. En: Integrando las TIC a la escuela de la sociedad del conocimiento. Formación y desarrollo profesional docente. P. 182 – 202. Colección Educación y Pedagogía. Programa editorial Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia.

Negret, J. (2020). Curso virtual: Física cuántica y sus derivados tecnológicos.

Video: “Imaginemos la Mecánica Cuántica - Gotas Caminantes”. de “Veritasium en español”, canal de YouTube: [Link: <https://www.youtube.com/watch?v=OD1bjqghnZk>]

Simuladores: physicsanimations de vascak – Tubos de rayos X.

Preguntas orientadoras

¿Qué ejemplos se pueden tomar como referentes de la integración de las tecnologías como medios didácticos permitiendo la movilización del conocimiento en una clase de ciencias?

¿Cómo se podría usar las TIC como herramientas cognitivas para enseñar un fenómeno cuántico a través de modelos científicos?

Descripción del encuentro

A las estudiantes se les había solicitado que de forma previa analizaran algunos ejemplos en los cuales se usaron recursos tecnológicos con el fin de enseñar algunos fenómenos naturales relacionados con la física clásica y la física cuántica. Es el caso de una investigación realizada por el profesor Boris Candela relacionada con la enseñanza del proceso físico de la disolución a nivel macroscópico y submicroscópico haciendo uso de algunos recursos TIC para generar la movilización del conocimiento de forma que se convierta en una herramienta cognitiva. Se les indicó a las estudiantes mencionar las características y condiciones que permiten que estos medios didácticos tecnológicos potencien el aprendizaje.

De la misma forma se les solicitó analizar algunas sesiones desarrolladas por el profesor Juan Pablo Negret en el curso de “Física cuántica y sus derivados tecnológicos” de forma virtual, quien usaba varios recursos tecnológicos con el fin de poder facilitar la comprensión de varios fenómenos cuánticos a un público no especializado (con pocos conocimientos previos de la física cuántica). Para ello se indagaba sobre los aportes de cada recurso tecnológico, mediados por el discurso y la retórica del profesor, las interfaces usadas, buscando que se convirtiera en una herramienta cognitiva dada la movilización del conocimiento de los participantes del respectivo curso, generando motivación por su aprendizaje.

A partir de estos ejemplos, se les pidió a las estudiantes que diseñaran una clase relacionada con la enseñanza de un fenómeno cuántico usando recursos tecnológicos, haciendo énfasis en el modelo científico, volviéndolo “enseñable” a un público de estudiantes de la educación media, quienes tuvieran conocimientos previos de física clásica. Ellas realizaron una propuesta usando un simulador y un video con el objetivo de que los

estudiantes conocieran “el experimento de Millikan”, organizando previamente las ideas para que su discurso pudiera movilizar ese aprendizaje, a través del modelo científico que presenta dicho experimento.

Posteriormente se trabajó el video de “Imaginemos la Mecánica Cuántica - Gotas Caminantes” y el simulador de “tubos de rayos X” procurando que se realizaran propuestas de parte de las profesoras en formación, para que se usaran como recursos en pro de la generación de conocimiento en el salón de clases de física en el ciclo previo a la educación superior.

Es importante anotar que los recursos tecnológicos y didácticos pertenecientes al laboratorio pedagógico de la Universidad ICESI, facilitaron que en las sesiones se pudieran cumplir con los objetivos propuestos, al contar con simulaciones de clases entre otros.

Al igual que en las últimas dos sesiones, el material de investigación recogido en este encuentro correspondió a algunos registros escritos, grabaciones y la continuación del marco teórico de la tesis de las estudiantes enfocada en las TIC como herramientas cognitivas (marco conceptual de referencia).

En este encuentro se efectuó la segunda aplicación de la CoRe con las participantes de la misma forma que se realizó al inicio del proceso de formación, teniendo presente que ya se habían generado varios encuentros formativos aportando a los conocimientos que se estaban desarrollando con el par reflexivo.

4.5.2.3 La naturaleza cuántica de la luz

Noveno encuentro - Historia de la naturaleza cuántica de la luz y su importancia en la enseñanza:

Propósito

Reconocer la importancia del estudio de la luz aportando al descubrimiento de la física cuántica desde un contexto histórico y fenomenológico.

Material de referencia

Hewitt, P. (2007). Física conceptual. Capítulo: cuantos de luz. P. 600- 613. Décima edición. Pearson. Addison Wesley.

Ball, P. (2018). Beyond weird. Why everything you thought you knew about quantum physics different, The Bodley head. Turner Publicaciones S.L.

Gonzales, E., Muñoz, Z. & Solbes, J. (2020). La enseñanza de la física cuántica: Una comparativa de tres países. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 15(2), 239-250.

Preguntas orientadoras

¿Cómo el estudio de la luz permitió el descubrimiento de la física cuántica?

¿Porque es importante el aprendizaje de la física cuántica en la educación media?

Descripción del encuentro

Basado en el material de referencia, en esta sesión se pretendió generar espacios de discusión, retroalimentación y reflexión de algunos de los fenómenos naturales de la física cuántica vistos por las estudiantes en el curso de “física moderna y contemporánea”, problematizándolos en un posible salón de clases de grado once, reforzando los conocimientos disciplinares y educativos.

Inicialmente se enfocó en un análisis histórico del descubrimiento de la física cuántica a partir de las dificultades generadas por el planeamiento de modelos científicos que describieran la radiación del cuerpo negro teniendo en cuenta el contexto de la época, llevando a la conocida “catástrofe ultravioleta”, procurando que se dieran discusiones y reflexiones enfocadas en los descubrimientos de Max Planck y Albert Eistein a inicios del siglo XX. Luego se analizaron las ideas y concepciones que tenían las participantes relacionadas con las características de los fenómenos cuánticos entre ellos: la descripción dual de la luz, la complementariedad de la física cuántica, la indeterminación, la no localidad entre otros.

Dadas estas preconcepciones, se enfocó la discusión en un análisis fenomenológico de la naturaleza cuántica de la luz tomando como referente los capítulos del libro de “física conceptual” y del libro “Beyond weird. Why everything you thought you knew about quantum physics different”, con el objetivo de generar propuestas de enseñanza de estos fenómenos naturales en la educación media, reconociendo el contexto actual de la región relacionado con la enseñanza de la física cuántica en nuestro país, comparándola con otros países entre ellos: España, Argentina y México.

Finalmente se analizó la importancia de llevar al aula la enseñanza de la física cuántica buscando disminuir la “brecha” que hay entre los ejes temáticos escolares y el descubrimiento de fenómenos físicos del siglo XX y XXI relacionados con este campo de

la física, así como las posibles dificultades que se podrían presentar en el salón de clases, procurando desarrollar un pensamiento crítico y científico en una sociedad más conocedora de su entorno.

Decimo encuentro - La enseñanza de la física cuántica en la educación media usando las TIC como herramientas cognitivas:

Propósito

Presentar algunos fenómenos de la naturaleza cuántica de la luz a través de las tecnologías como medios didácticos y reflexionar su uso en el salón de clases de física de la educación media.

Material de referencia

Negret, J. (2020). Curso virtual: Física cuántica y sus derivados tecnológicos.

Cuellar, A. (2021B). Informática Cuántica: Un acercamiento a sus métodos, desarrollos y aplicaciones. Revista Caja de Herramientas 2 (2), 46 – 59. Universidad del Valle.

Simulador: PHET – fenómenos cuánticos.
[Link:<https://phet.colorado.edu/es/simulations/filter?subjects=quantumphenomena&type=html,prototype>]

Simulador: physicsanimations de vascak – El efecto Compton
[Link:https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom_compton&l=e]

Video: “Hoy sí que vas a entender el principio de incertidumbre”. de “Date un Vlog”, canal de YouTube: [<https://www.youtube.com/watch?v=JnEAMYltzi0>]

Preguntas orientadoras

¿Qué dificultades se podrían presentar en la enseñanza de la física cuántica en el colegio?

¿Cómo podría aportar el uso de las TIC al acercamiento de la naturaleza cuántica de la luz en estudiantes de la educación media?

¿Qué actividades se podrían plantear usando las tecnologías como medios didácticos para enseñar algunos fenómenos de la naturaleza cuántica de la luz?

Descripción del encuentro

A partir de algunas actividades del curso “física cuántica y sus derivados tecnológicos” del profesor Juan Pablo Negret, se analizó el uso que se daba de las herramientas tecnológicas con el fin de potenciar la enseñanza de los fenómenos cuánticos a un público no especializado pero interesado en su aprendizaje. Se reflexionaba acerca del papel de los simuladores, videos y el discurso del profesor abordando algunos fenómenos cuánticos, buscando que las estudiantes a partir de los simuladores y videos del material de referencia de la sesión, plantearan actividades enfocadas en la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz relacionada con el Efecto Compton y el Principio de Incertidumbre del Heisenberg.

Se analizó las dificultades que se podrían presentar en la aplicación de las actividades planteadas por las docentes en formación en el salón de clases, buscando que se presentaran algunos ajustes o complementos de la propuesta realizada teniendo en cuenta las características que hacen de las TIC unas herramientas cognitivas.



Figura 16: Curso de física cuántica y sus derivados tecnológicos. (Negret, 2020)

Posteriormente se presentó la “segunda revolución cuántica”, enfatizando en la computación e información cuántica, a través de sus descubrimientos, aportes, y cambios de paradigma a nivel tecnológico, presentando los interrogantes sobre cómo llevar estas problemáticas al salón de clases a través de la unidad didáctica a desarrollarse por parte de las participantes.

Varias de las actividades planteadas por las estudiantes en este encuentro, sirvieron de base en las sesiones que se desarrollaron en la unidad didáctica como producto final de

la investigación de pregrado. Los conocimientos previos adquiridos por parte de ellas tanto en el curso de física moderna como en los cursos de diseño de ambientes de aprendizaje, permitieron que el avance en el proceso de formación se lograra de acuerdo a lo planteado inicialmente, aportando a la generación de espacios de reflexión entre el investigador y las estudiantes participantes.

Decimoprimer encuentro - La enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz a través de los modelos:

Propósito

Introducir los diferentes modelos de la naturaleza cuántica de la luz desde un contexto histórico, reflexionando sobre su importancia en la enseñanza de la física.

Material de referencia

Fernández, P. (2014). Teorías y modelos en la enseñanza -aprendizaje de la Física Moderna. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Argentina.

Tuay, R. & Céspedes, N. (2017). Modelos y modelización como estrategia didáctica para abordar la dualidad-onda partícula. X congreso internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias. ISSN (DIGITAL): 2174-6486. Sevilla. España.

Tuay, R. & Céspedes, N. (2018). Modelización en mecánica cuántica desde la contextualización. Revista Tecné, Episteme y Didaxis. Número Extraordinario. ISSN impreso: 0121-3814, ISSN web: 2323-0126 Memorias, Octavo Congreso Internacional de formación de Profesores de Ciencias para la Construcción de Sociedades Sustentables. Octubre 10, 11 Y 12 de 2018, Bogotá. Colombia.

Preguntas orientadoras

¿Qué conocimientos, habilidades y actitudes son necesarios para el aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz?

¿Qué actividades enfocadas en la modelización de la naturaleza cuántica de la luz, se podrían plantear para una unidad didáctica?

Descripción del encuentro

En este encuentro previo a la elaboración de la unidad didáctica de parte de las estudiantes, se procuró analizar algunas investigaciones enfocadas en la enseñanza de la

física cuántica mediante la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias, enfatizando en la elaboración, planteamiento, desarrollo y aplicación de dichas pesquisas. Así como los resultados y recomendaciones para futuras implementaciones en el salón de clases de física.

A partir de una serie de discusiones y reflexiones, se les informó a las participantes que debían plantear una actividad enfocada en la modelización del fenómeno de la radiación del cuerpo negro, usando algunos elementos de fácil adquisición para llevar al salón de clases, siendo organizada e implementada más adelante en la unidad didáctica.

Igualmente se realizó un recorrido histórico por los diferentes modelos científicos relacionados con la naturaleza cuántica de la luz, entre ellos: la radiación del cuerpo negro, la catástrofe ultravioleta, la cuantización de la energía, el efecto fotoeléctrico, la representación corpuscular de la luz, la dualidad onda partícula de la luz, la función de onda, el principio de indeterminación, el entrelazamiento cuántico y las aplicaciones de la naturaleza cuántica de la luz en la segunda revolución cuántica, siendo una base para la construcción y desarrollo de la unidad didáctica propuesta por las profesoras en formación. El planteamiento de las actividades mencionadas anteriormente, aportó a la visualización de parte de las estudiantes sobre cómo elaborar e implementar una unidad didáctica enfocada en la enseñanza de la naturaleza cuántica de luz, así como los conocimientos previos desarrollados a lo largo de su formación como licenciadas en ciencias naturales.

Estas últimas tres sesiones fueron consignadas en algunos registros escritos, grabaciones, la continuación del marco teórico y la elaboración de la unidad didáctica evidenciada en la tesis de las estudiantes.

4.5.3. Elaboración de la unidad didáctica propuesta por las profesoras en formación - Etapa 5.

Durante el proceso de formación, las profesoras en formación tuvieron la oportunidad de dialogar y reflexionar acerca de las problemáticas relacionadas con la modelización como estrategia didáctica, las TIC como herramientas cognitivas y la naturaleza cuántica de la luz buscando proponer y desarrollar una unidad didáctica enfocada en la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz a través de la modelización como estrategia didáctica y el uso de las TIC en el salón de clases de física. Para ello, dado los conocimientos adquiridos en diferentes cursos en su proceso de formación como

licenciadas en ciencias naturales⁹⁶, las estudiantes propusieron un esquema teniendo en cuenta los siguientes componentes: Guía para el estudiante (implementada en el salón de clases) y para el docente (orientaciones para el docente interesado en implementarlo), objetivo general de aprendizaje, título y objetivo de aprendizaje de cada sesión, desarrollo, actividades, cuestionario tipo selección múltiple⁹⁷ y su respectiva rubrica de evaluación, basados en el diseño de unidades didácticas mediante el aprendizaje basado en problemas para la enseñanza de las ciencias (Flórez & Gonzales, 2021; entre otros).

Para el posterior análisis de la implementación de la unidad didáctica (tesis de pregrado), entre el investigador y las profesoras en formación se propusieron los siguientes criterios de análisis para cada encuentro (Muñoz & Obando, 2022):

- **Estrategia de los estudiantes:** Se refiere a la manera en particular en la que el estudiante lleva a cabo el aprendizaje durante la implementación de la unidad didáctica. Se analiza cómo el estudiante aborda las actividades y da respuesta desde su conocimiento mediante diversas herramientas.

- **Aportes de las TIC como herramientas cognitivas:** Se refiere al análisis de los diferentes tipos de interacciones que los estudiantes y el docente tienen con los diferentes dispositivos electrónicos disponibles tales como: computador y celular. En este caso, se hizo uso de simuladores y videos en donde se les pedía a las estudiantes ingresar y explorarlos de manera dirigida o libre.

- **Gestión didáctica del profesor-investigador:** Se refiere a la intervención que hace el docente en el desarrollo de las sesiones. En este trabajo, las investigadoras utilizan la socialización y creación de hipótesis como ejes centrales, ya que esto permite que indaguen más acerca de los temas y/o puedan generar debate acerca de los mismos.

⁹⁶ Entre ellos: Proyecto integrador, Diseño curricular, Práctica profesional I y Diseño de ambientes de aprendizaje III.

⁹⁷ Realizado antes y después de la implementación de la unidad didáctica con los estudiantes de grado once de la Institución Educativa.

Tanto el proceso de construcción de la unidad didáctica, como la reflexión relacionada con su desarrollo e implementación, se logran registrar a través de la CoRe aplicada al final del proceso, así como el producto final (ver anexos 5 y 6), constituyéndose en elementos que integran la fase final del proceso de investigación, permitiendo elaborar, describir, inferir y teorizar sobre el CTPC de las participantes de la investigación y su desarrollo a través de la presente propuesta formativa.

Las profesoras en formación tuvieron varios encuentros reflexivos enfocados en el desarrollo de la unidad didáctica, a su vez, se realizaron tres encuentros de retroalimentación con el investigador presentando los avances y propuesta final, registrándose a través de grabaciones, escritos, y los capítulos de la tesis final de las mismas (Análisis de los resultados, conclusiones y anexos).

Propósito de los encuentros:

Orientar y acompañar la construcción y desarrollo de la unidad didáctica.

Decimosegundo encuentro:

En esta sesión, se les contextualizó a las profesoras en formación⁹⁸ acerca de la Institución Educativa (IE) en la que se iba a aplicar la unidad didáctica (UD), así como el número de estudiantes y los ejes temáticos trabajados previamente en física. Para ello se realizó el encuentro en la IE buscando que las profesoras investigadoras conocieran el espacio en el cual se desarrollarían las sesiones de implementación, los recursos tecnológicos, los limitantes físicos, el currículo del curso de física de grado once, entre otros elementos a tener en cuenta para el desarrollo de la UD. Se generaron algunas recomendaciones, inquietudes y aportes siendo una base para la construcción de dicha UD.

En esta sesión se aplicó un cuestionario previo al desarrollo de la Unidad Didáctica por parte de las profesoras en formación con el fin de orientar algunos elementos necesarios para dicho planteamiento y posterior aplicación con las estudiantes del colegio⁹⁹.



⁹⁸ Par

a par

⁹⁹ Co

y la r

física

abier

estos

didáctica,

modelos

za de la

cuestionario

atienden

Figura 17: IE Técnico de Comercio Santa Cecilia – Participantes Investigación.

Decimotercer encuentro:

En este encuentro, las profesoras investigadoras presentaron una síntesis de la propuesta de UD relacionándola con las sesiones previas de formación, así como diferentes experiencias que tuvieron en propuestas y desarrollos de UD realizadas en cursos de su licenciatura. Se les realizó algunas recomendaciones a tener en cuenta, posteriormente las docentes investigadoras realizaron un análisis de las posibles concepciones que tendrían los estudiantes acerca de la naturaleza cuántica de la luz, buscando la identificación de las dificultades que podrían existir.

Decimocuarto encuentro:

Finalmente las profesoras investigadoras presentaron los objetivos, las actividades y demás elementos ajustados teniendo en cuenta las recomendaciones dadas en los anteriores encuentros, así como los recursos tecnológicos y físicos que se usarían para ello, pactando el número de sesiones y el tiempo para la implementación de la UD, con el fin de garantizar con la IE estos espacios de desarrollo (tiempo disponible, herramientas tecnológicas, estudiantes y salón de clases).

4.5.4. Aplicación de la unidad didáctica en la institución educativa – Etapa 6.

La UD realizada por las profesoras investigadoras fue implementada en cinco sesiones con una duración aproximada de dos horas cada una, en el espacio de la clase de física de grado once en un tiempo de dos semanas, teniendo en cuenta por un lado el espacio dado por la IE y por otro lado que los estudiantes estaban en la etapa final de su año lectivo.

Para describir las sesiones de la implementación de la UD, las docentes investigadoras mencionaban las estrategias usadas por los estudiantes, el aporte de las TIC como herramientas cognitivas y la gestión didáctica del profesor-investigador¹⁰⁰, así como la descripción del nombre de cada sesión, el objetivo de aprendizaje, y los materiales usados, detallado en la siguiente tabla:

No de sesión	Nombre	Propósito	Materiales usados
1	Conocimientos de la luz desde lo clásico vs lo cuántico ¿Me estoy volviendo loco?	Interpretar el concepto de luz como onda electromagnética a través de diferentes modelos científicos usando herramientas tecnológicas, entre otros, con el fin de introducir la naturaleza cuántica de la luz en el salón de clases de grado once.	1 Video Beam 1 Trípode 1 Cámara de vídeo Celulares
2	¿Cómo surgió la física cuántica?	Analizar los diferentes fenómenos de la física cuántica teniendo en cuenta el impacto de los mismos en el desarrollo de la tecnología actual Asociar los principales avances tecnológicos con sus respectivos fenómenos cuánticos.	1 Video Beam 1 Trípode 1 Cámara de vídeo Celulares 4 Tapas negras 4 Tapas de colores 4 Termómetros 4 Linternas
3	Luz ¿Onda o Partícula?	Comprender el fenómeno de la luz como onda y partícula. Explicar por qué se la ha llamado a lo anterior, la naturaleza cuántica de la luz.	1 Video Beam 1 Trípode 1 Cámara de vídeo Celulares 4 Monedas 4 Vasos 4 Cdtas de leche
4	¿Cuáles son los fenómenos cuánticos? ¿Cómo los asocio con mi vida?	Explicar los fenómenos cuánticos ya antes señalados mediante modelo científicos que permitan una mejor comprensión de los mismos.	1 Video Beam 1 Trípode 1 Cámara de vídeo Celulares
5	¿Qué ventajas trae el aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz?	Proponer y exponer diferentes ventajas del conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz con el fin de mostrar la relación que existe entre los fenómenos de la física cuántica y los avances tecnológicos.	1 Video Beam 1 Trípode 1 Cámara de vídeo Celulares 1 LASER

Tabla No 3. Sesiones de la UD. (Muñoz & Obando, 2022)

Al iniciar la implementación de la UD, las profesoras investigadoras presentaron el objetivo de principal de aprendizaje, examinaban algunas ideas previas que tenían los estudiantes referente a la física ondulatoria, propiamente a las concepciones que se tenían de la luz como onda electromagnética (física clásica) lo cual fue visto en el curso de física

¹⁰⁰ Detallado anteriormente – ver anexo 7.

de grado once, así como el porqué del interés de participar en la investigación y sus interés en la ciencia relacionados con lo que deseaban estudiar posteriormente en la Universidad. Luego se aplicó el cuestionario relacionado con la naturaleza cuántica de la luz¹⁰¹ en cuatro grupos de cuatro estudiantes cada uno, manteniéndose esta distribución a lo largo de la implementación de la UD, procurando la secuencialidad del trabajo cooperativo y colaborativo potenciando en todo momento el trabajo en equipo.

En cada sesión las dos profesoras investigadoras tomaban los roles de docentes orientadoras docentes, apoyando los grupos mientras una de ellas realizaba la exposición general (intercambiándose constantemente). A su vez en las actividades de trabajo por equipos, las profesoras se distribuían en cada uno de ellos realizando un acompañamiento continuo.

Al finalizar cada sesión se realizaban exposiciones de parte de los participantes procurando generar reflexiones, aclaramiento de dudas, discusiones y orientaciones frente a las actividades realizadas acercando a los fenómenos cuánticos trabajados en dichas sesiones.

Para registrar estos encuentros se entregaban a los estudiantes el material tanto en físico, como digital (cada uno en su celular, accediendo a los diferentes recursos tecnológicos, como son los videos, simuladores, hipertexto, y formularios en línea de los cuestionarios realizados) con el fin que pudieran consignar directamente la información generada, siendo una base para el análisis de la tesis de pregrado; asimismo usaron el celular para grabar cada encuentro sosteniéndolo con trípode, así como el registro del audio a través de esta herramienta. Para el acceso del internet se realizaba a través de Router suministrado por uno de las participantes, el videobeam, parlantes y portátil fue suministrado por el investigador principal. Es importante mencionar que el investigador aunque estaba presente en cada encuentro, no interactuaba en el desarrollo del mismo, aunque registraba cada sesión de forma escrita, apoyándose en el material mencionado de las profesoras investigadoras.

¹⁰¹ Ver anexo 4.



Figura 18: Herramientas usadas en la implementación de la UD.

Al finalizar la quinta sesión de la UD, se implementó nuevamente el cuestionario relacionado con la naturaleza cuántica de la luz (de la misma forma que al inicio), procurando tener un instrumento comparativo del antes y después de los posibles aprendizajes de parte de los estudiantes (usando la rúbrica propuesta), así como las apreciaciones y reflexiones finales relacionados con los encuentros dirigidos por las profesoras investigadoras¹⁰².

Posteriormente se efectuaron dos encuentros con el investigador principal (director de tesis) con el objetivo de orientar la organización y el análisis de la implementación, finalizando la tesis de pregrado.

Propósito de los encuentros:

Orientar la organización y el análisis de los resultados posterior a la implementación de la UD, y aplicar los instrumentos de análisis final del CTPC de las profesoras en formación.

Decimoquinto encuentro:

En este encuentro se realizaron las respectivas orientaciones, reflexiones y percepciones luego del desarrollo de la implementación de la UD en pro de la construcción

¹⁰² En anexo 7, se presenta los criterios y hallazgos en detalle de cada sesión registrados por las profesoras investigadoras consignados en su tesis final.

de los capítulos finales de la investigación realizada por las profesoras en formación. De igual forma se indago acerca de su sentir mientras desarrollaban dichos encuentros.

Decimosexto encuentro:

Se realizaron las orientaciones finales de acompañamiento de dirección de tesis, con el objetivo de poder enviarla a los respectivos evaluadores en el cronograma establecido por la Universidad previamente. A su vez, se aplicó nuevamente el cuestionario abierto (anexo 4) y la CoRe final, indagando acerca del desarrollo de los conocimientos generados en el proceso de enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz a través de la UD propuesta por parte de las profesoras en formación, propiamente en el desarrollo del CTPC de cada una de ellas.

4.6 Análisis y ordenamiento conceptual de los datos

Como se mencionó anteriormente, la mayoría de los datos capturados en esta pesquisa correspondieron a elementos, fragmentos y narrativas procedentes de la interacción de forma reflexiva y colaborativa entre el investigador, las docentes en formación y los estudiantes participantes de la pesquisa. Estos datos fueron obtenidos a través de la realización de la CoRe antes de realizar el proceso de formación y al finalizar el mismo, así como una serie de entrevistas, cuestionarios, reflexiones y Pap-eR presentados en los encuentros de formación, desarrollo e implementación de la unidad didáctica final construida por las futuras licenciadas en ciencias naturales.

Con el fin de organizar estos datos, se compiló todo el material escrito y/o grabado (videos de caso) en tres carpetas relacionadas con los tres momentos de la investigación:

CTPC Inicial: Bajo esta etiqueta se organizaron los datos correspondientes a la CoRe inicial y los relatos generados en estas sesiones iniciales.

CTPC en desarrollo: Se organizaron los datos correspondientes a la CoRe aplicada durante el proceso formativo y a los PaP-eRs contruidos a partir de las narrativas de las licenciadas en formación acerca de las propuestas e ideas de cada uno de los conocimientos

desarrollados a través del CTPC, así como los relatos presentados en los encuentros derivados de las reflexiones propuestas por el investigador¹⁰³.

CTPC al final del proceso: bajo esta etiqueta se organizaron los datos correspondiente a la CoRe final, a las narrativas que surgieron luego de la implementación de la unidad didáctica construida por el grupo de docentes en formación a través del cuestionario final y la tesis de pregrado.

Con el fin de poder identificar aquellos relatos que pudieran convertirse en unidad de análisis, se tuvo la necesidad de realizar varias lecturas de cada material escrito y grabado, es así como las narrativas usadas como dicha unidad de análisis y significado, fueron compiladas usando el procesador de texto a través del siguiente sistema de códigos:

Fuente	Código
Profesora en formación Annekae	PFa
Profesora en formación Jazmín	PFj
CoRe Inicial	CRi
CoRe Intermedia	CRint
CoRe final	CRf
PaP-eRs : Relatos narrativos	PPe
Cuestionario Diagnostico	CD
Cuestionario final	CF
Unidad didáctica - Tesis final	UD
Numero de unidad de análisis	1, 2, 3...

Tabla No4: Codificación de las unidades de análisis de acuerdo a las fuentes. (Fuente: Autor)¹⁰⁴.

Teniendo en cuenta que al separar la unidad de análisis del texto original en el que fue producido, se podría generar perdida de significado o de contexto del escrito en sí, se hizo necesario que algunas unidades de análisis fueron reescritas con el objetivo de poder expresar con claridad los significados construidos dado el contexto de su producción (Moraes, 2003; Zuluaga, 2017).

¹⁰³ En las narrativas plasmadas mediante los PaP-eR planteados en esta fase, se lograron evidenciar elementos reflexivos relacionados con la propuesta de formación, considerando que esta fuente reconocía elementos del desarrollo del CTPC de las profesoras en formación.

¹⁰⁴ Por ejemplo, al usarse una unidad de análisis relacionada con la profesora en formación Jazmín dentro del “CTPC al final del proceso”, propiamente en el cuestionario final, en una unidad de análisis No 11, quedaría codificada de la siguiente forma: **PFj-CF-11**.

4.6.1 Categorías y subcategorías de análisis

En la presente investigación doctoral se tuvo en cuenta la metodología de clasificación a priori¹⁰⁵ planteada por Magnusson et al. (1999), Moraes (2003) y Moreno-Rodríguez et al. (2021); por ende se considera el desarrollo del CTPC de las profesoras en formación como categoría principal; y como subcategorías, las derivadas del análisis de los componentes del CTPC adaptado por Candela (2016, 2020)¹⁰⁶. Es así que en la tabla No 2 se relacionan las unidades de análisis con las categorías y subcategorías (establecidas a priori) de la siguiente forma:

Categoría principal de análisis – CTPC	Conocimiento Tecnológico y Pedagógico del contenido de las profesoras en formación
Subcategorías del CTPC	Conocimiento de las orientaciones hacia los diferentes métodos para la enseñanza de la ciencia
	Conocimiento y creencias acerca del currículo de la ciencia
	Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes de un tópico específico de la ciencia
	Conocimiento tecnológico y pedagógico para gestionar el aula*
	Conocimiento Tecnológico del Contenido o de la disciplina*
	Conocimiento de las estrategias para la enseñanza de la ciencia
	Conocimiento sobre la evaluación en la enseñanza de las ciencias

Tabla No 5: Categorías y subcategorías de análisis. Adaptado de (Candela, 2016; 2020)

¹⁰⁵ de las categorías y subcategorías relacionadas con las unidades de análisis.

¹⁰⁶ Componentes basados en las subcategorías de Magnusson (1999) relacionadas con el Conocimiento Pedagógico del Contenido propuesto por Shulman (CPC o PCK), ampliadas al conocimiento tecnológico propio del CTPC (mencionadas con * en la tabla No 3)

Para ello, cada subcategoría se relaciona con las preguntas planteadas en la “Estructura lógica del Instrumento de la ReCo adaptada al constructo del CTPC” (Tabla No 2), de acuerdo al instrumento que permite relacionar de forma selectiva las categorías del CTPC con la CoRe (Candela, 2016; 2020). Esta relación se presenta en la Tabla No 4 adaptada de la propuesta de Candela (2016; 2020), siendo la base para categorizar las unidades de análisis obtenidas por los diversos instrumentos aplicados al inicio, en el desarrollo y al finalizar el proceso de formación planteado en esta investigación (CoRe, PaP-eRs, etc):

Relación selectiva entre las categorías del CTPC y la CoRe		
Categoría principal CTPC - Conocimiento Tecnológico y Pedagógico del contenido de las profesoras en formación	Conocimiento de las orientaciones hacia los diferentes métodos para la enseñanza de la ciencia	2. ¿Por qué es importante que los alumnos conozcan esta idea? 11. ¿Cuáles actividades de aprendizaje mediadas o no por las tecnologías digitales, usa con el fin de ayudar a los estudiantes a superar sus dificultades y concepciones alternativas?
	Conocimiento y creencias acerca del currículo de la ciencia	1. ¿Cuál es el propósito de aprendizaje de esta idea? 3. ¿Qué más sabe respecto a esta idea (que no tiene la intención de que sus estudiantes conozcan)?
	Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes de un tópico específico de la ciencia	4. ¿Cuáles son las dificultades/limitaciones relacionadas con la enseñanza de esta idea? 5. ¿Cuál es su conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes que influye en la enseñanza de esta idea? 6. ¿Qué otros factores influyen en su enseñanza de esta idea?
	Conocimiento tecnológico y pedagógico para gestionar el aula	7. ¿Qué tecnologías digitales estándar emplea para planear y gestionar el aprendizaje de la idea?
	Conocimiento tecnológico del Contenido o de la disciplina	8. ¿Cuáles son las formas digitales y no digitales que utiliza con el fin de representar y formular la idea? 9. ¿Cuáles son las herramientas digitales (ej., animaciones, simuladores, laboratorios virtuales, entre otros) más convenientes que utiliza para representar la idea en consideración?, y ¿en qué criterios se apoya esta intención de diseño?
	Conocimiento de las estrategias para la enseñanza de la ciencia	10. ¿Cuáles procedimientos de enseñanza emplea y las razones particulares de su uso para enseñar esta idea? 11. ¿Cuáles actividades de aprendizaje mediadas o no por las tecnologías digitales, usa con el fin de ayudar a los

		estudiantes a superar sus dificultades y concepciones alternativas?
	Conocimiento sobre la evaluación en la enseñanza de las ciencias	12. ¿Qué formas específicas de evaluación del entendimiento o de la confusión de los alumnos emplea alrededor de esta idea?

Tabla No 6: Relación selectiva entre las categorías del CTPC y la CoRe. Adaptado de (Candela, 2017; 2020)

Cabe señalar que algunas unidades de análisis se clasificaron en más de una subcategoría, (característica propia del análisis textual discursivo), entendiéndose que la misma unidad se puede leer o interpretar desde diferentes perspectivas, resultando en múltiples significados según el enfoque en que se examine (Moraes, 2003; Zuluaga, 2017), por lo cual es importante reconocer el contexto de las profesoras en formación referente a los cursos y seminarios vistos durante y previo al desarrollo de la pesquisa (Plan de estudios en anexo 3), los cuales aportaron a las habilidades necesarias contribuyendo al cumplimiento del objetivo principal de esta investigación.

4.6.2 Construcción del metatexto

Dado que al tener las unidades de análisis definidas y agrupadas en la categoría y subcategorías mostradas anteriormente según sus similitudes y relaciones, esto permitió dar sentido e interpretación de forma global a la agrupación de unidades de análisis dentro de cada subcategoría planteada, permitiendo a su vez, el establecimiento de relaciones de las narrativas presentadas por las profesoras en formación durante las etapas de la investigación, logrando evidenciar el desarrollo del CTPC de cada una de ellas. En este sentido, se construyó un texto estructurado, organizado y secuencial describiendo el CTPC de cada estudiante¹⁰⁷ al inicio del proceso de formación, su desarrollo y al final del respectivo proceso, a partir de las siete subcategorías de análisis relacionadas con los seis componentes del CTPC¹⁰⁸ (según la perspectiva de Mishra y Koehler) estructurándose bajo tres interrogantes: (1) **¿Qué elementos se evidenciaron acerca de este componente al inicio del proceso formativo?;** (2) **¿Qué elementos nuevos relacionados con este**

¹⁰⁷ Profesoras en formación.

¹⁰⁸ Conocimiento del contenido, conocimiento pedagógico, conocimiento tecnológico, conocimiento pedagógico del contenido, conocimiento tecnológico pedagógico y el conocimiento tecnológico del contenido.

componente se reconocieron en el CTPC de las estudiantes durante el desarrollo del proceso formativo? y (3) ¿Qué elementos se evidenciaron acerca de este componente al final del proceso de formación, justificando la existencia de un desarrollo o no del CTPC en las estudiantes?

Según Moraes, existen dos etapas en la organización de las categorías o subcategorías de un metatexto las cuales pueden ser procesadas de forma integrada, por un lado *la descripción* siendo más cercana a una producción textual de forma empírica, convirtiéndose en un gran esfuerzo por exponer los sentidos y significados directamente con los textos analizados, y por otro lado, *la interpretación* que permite darle sentido al texto global o general considerando el contexto y la secuencia de la intervención, o en este caso, del proceso formativo (Moraes, 2003; Zuluaga, 2017).

De esta forma, inicialmente se procuró dar un sentido descriptivo de las subcategorías de análisis, relacionándolas con las diferentes unidades de análisis, seguidamente se buscó dar un significado global interpretando la información a través de las articulaciones y relaciones entre los datos empíricos de la investigación, sus referentes teóricos y el contexto, lo que permitió deducir nuevos elementos, construyendo nuevas interpretaciones e inferencias en relación al CTPC de cada profesora en formación, posibilitando así teorizar el desarrollo del CTPC en este proceso formativo.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 El CTPC de la profesora en formación Annekae y su desarrollo

5.1.1 Conocimiento de las orientaciones hacia los diferentes métodos para la enseñanza de la ciencia

Esta subcategoría del CTPC está relacionada con los fines que concibe la profesora Annekae acerca de la importancia de que los estudiantes comprendan un concepto en concreto así como la selección de elementos pertinentes vinculados con las estrategias de enseñanza y aprendizaje, lo cual se logra evidenciar en las respuestas de las preguntas No 2 y No 11 a través de la CoRe implementada antes, durante y después del proceso de formación:

PREGUNTAS CoRe	ANTES	DURANTE	DESPUÉS
2-¿Por qué es importante que los alumnos conozcan esta idea?	PFa-CRi-02 Considero que es importante enseñar las bases de la física cuántica como es la catástrofe ultravioleta con el fin de entender el fracaso que había en la física en esa época, ya que las soluciones frente a la catástrofe ultravioleta demostraron que las predicciones de la física clásica eran incorrectas y dieron inicio a una nueva rama de la física. Al igual que enseñar la dualidad-onda partícula nos permite entender un poco más sobre la naturaleza cuántica de la luz y el gran impacto que este fenómeno tiene en las nuevas tecnologías.	PFa-CRint-14 La física cuántica es muy relevante al momento de explicar muchas cosas sobre la materia, lo cual hace que esté relacionada con la química, la biología o la medicina actual, también nos brinda la posibilidades que cuestionar las diferentes visiones que tenemos en ciencias, permitiendo así que se dé una apertura en el conocimiento. En la sociedad actual se habla mucho sobre las CTS en la cual se tienen en cuenta las diferentes aplicaciones que nos ha permitido la física cuántica, tales como la tecnología actual de comunicación, los celulares o computadores, el desarrollo de nuevos materiales y como la teoría cuántica se	PFa-CRf-26 La enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz en la educación media debe tener algunas consideraciones referente a varios fenómenos naturales, con el fin de poder abordarlos a través de modelos científicos, teniendo en cuenta los modelos mentales generados por los estudiantes entre ellos: Enseñar acerca del espectro electromagnético antes de ingresar a la problemáticas que generaron la física cuántica: Considero que es necesario que los estudiantes comprendan las aplicaciones del espectro electromagnético en nuestra vida. Conocer el espectro electromagnético es una

		relaciona con cada uno de estos avances tecnológicos que a su vez producen avances sociales, en general la física cuántica es muy interesante desde muchos aspectos de vista del estudiante, debido a que no solamente le podrían interesar los beneficios que trae, como las diferentes aplicaciones, también los diferentes conceptos, explicaciones y modelos científicos que se crean. Este interés puede generar un buen aprendizaje de la física cuántica porque genera una motivación por aprender más, por ende es importante abordar diferentes fenómenos cuánticos.	forma de entender la naturaleza de la luz desde la perspectiva clásica (ondulatoria). Enseñar sobre la catástrofe ultravioleta: En este caso, considero que la catástrofe ultravioleta es uno de los mejores ejes temáticos para comenzar a abordar la física cuántica en la educación media porque el contexto histórico nos permite conocer con más detalle las razones por las cuales la ciencia ha cambiado y cómo pueden surgir nuevas problemáticas de acuerdo con nuevas necesidades para posteriormente trabajar en la búsqueda de soluciones. Además, porque las soluciones frente a la catástrofe ultravioleta demostraron que las predicciones de la física clásica eran incorrectas y dieron inicio a una nueva rama de la física. Enseñar sobre la dualidad onda-partícula: Es importante porque la dualidad-onda partícula nos permite entender un poco más sobre la naturaleza cuántica de la luz, esta nos dice que la luz está compuesta de partículas diminutas también conocidas como fotones que también exhiben propiedades de onda. También es importante recordar que como onda, la luz muestra algunas propiedades como la interferencia y la difracción. Además, se puede abordar el efecto

			fotoeléctrico de Einstein, que confirma la propiedad de la luz como partícula. Por último, conocer el gran impacto que este fenómeno tiene en las nuevas tecnologías., así como los demás fenómenos cuánticos que fueron abordados en la unidad didáctica. Para ello es importante tener en cuenta los elementos relacionados con los modelos científicos, los modelos mentales generados en el proceso de enseñanza y aprendizaje, así como los usos de herramientas tecnológicas que puedan potenciar el aprendizaje de los fenómenos naturales relacionados con la naturaleza cuántica de la luz, dada su complejidad en cuanto a su representación. Esto se logra evidenciar en la unidad didáctica que implementamos en el salón de clases de grado once.
11-¿Cuáles actividades de aprendizaje mediadas o no por las tecnologías digitales, usa con el fin de ayudar a los estudiantes a superar sus dificultades y concepciones alternativas?	<i>PFa-CRi-11</i> Realizar preguntas orientadoras, participación en foros, demostración de experimentos, creación de contenido educativo a través de diapositivas o texto relacionados con los temas de la física cuántica.	<i>PFa-CRint-23</i> Realización preguntas orientadoras con el objetivo que los estudiantes puedan motivarse en la consulta, análisis y apropiación de algunos fenómenos cuánticos, la demostración de algunos fenómenos cuánticos a través de simuladores permitiendo observar a través de estas representaciones diferentes ilustración de modelos científicos, socialización de	<i>PFa-CRf-35</i> Las exposiciones en grupos son una actividad bastante valiosa, debido a que en una exposición se tiene que indagar sobre el tema de elección, de tal manera que para poder hacer una exposición bien se tiene que estudiar bien el tema para poder explicarlo, al estudiar para poder explicar surgen más dudas sobre el tema haciendo que tenga que investigar más, creando

		respuestas elaboradas por equipos cooperativos, usos y creación de contenido educativo como guías o videos que puedan potenciar el aprendizaje.	así una especie de círculo vicioso de la búsqueda para el aprendizaje, la utilización de hipertextos con el fin de que puedan tener la información a la mano pudiendo acceder de forma inmediata, apoyando la retroalimentación de los ejes temáticos vistos, también el uso de simuladores, de encuestas en línea son actividades didácticas para los estudiantes, aparte de estimular el interés, también crea un espacio en el cual el estudiante se apoye en diferentes medios todo lo que tiene para poder comprender de una manera más dinámica y explicativa.

Tabla No 7: Repuestas de las preguntas No 2 y No 11 de la CoRe, antes, durante y después del proceso de formación: Annekae. Fuente: autor

5.1.1.1 Inicio del proceso formativo

Al observar las finalidades mostradas en las ideas con códigos ***PFa-CRi-02*** y ***PFa-CRi-11***, se reconoce que se encuentran ubicadas principalmente en aspectos exclusivamente disciplinares, buscando a través de temáticas el acercamiento del conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz, muy relacionado con el enfoque educativo trabajado en el curso de “física moderna y contemporánea”, por ende se puede afirmar que en los propósitos de la enseñanza prevalece una orientación disciplinar, así como estrategia de acercamiento a los fenómenos cuánticos por parte de los estudiantes, con temas que podrían considerar “fáciles”, lo cual se puede reconocer por la siguiente narrativa de la profesora en formación realizada en el segundo encuentro:

Para mí es muy importante enseñar la física cuántica inicialmente con la catástrofe ultravioleta, para luego abordar los temas relacionados con el comportamiento corpuscular y ondulatorio de la materia procurando usar algunas ecuaciones sencillas

buscando que los estudiantes puedan entender los temas más fáciles de la cuántica.
PFa-PPe-40

Al igual, en la idea **PFa-CRi-11** se logra observar que el objetivo que menciona la profesora en formación al inicio de la pesquisa en relación con las actividades de aprendizaje mediadas o no por las tecnologías digitales, usadas con el fin de ayudar a los estudiantes a superar sus dificultades y concepciones alternativas, es transmitir los “Hechos de la ciencia” (Magnusson et al., 1999) caracterizado en el aula por la presentación tipo conferencia y la discusión con los estudiantes, siendo utilizados como investigación dirigida, enfocada en las clases tradicionales de estímulo respuesta, rescatando la importancia del trabajo en equipo. Es así que el énfasis de las actividades las enfoca en la realización de preguntas orientadoras, participación en foros, demostración de experimentos, creación de contenido educativo a través de diapositivas o texto, buscando generar un aprendizaje a través de los medios tecnológicos como mediador del conocimiento:

Los recursos tecnológicos permiten generar actividades en los cuales los estudiantes puedan responder a los interrogantes realizados, así como potenciar la enseñanza por lo que es dinámico, de respuesta inmediata, es así que se puede demostrar a través de las TIC varios fenómenos cuánticos. **PFa-PPe-41**

Uno de los elementos más importantes para la profesora Annekae según su visión inicial de las orientaciones hacia los diferentes métodos para la enseñanza de la ciencia, es el justificar la posibilidad de la enseñanza de la física cuántica en la secundaria a través de temáticas que puedan “facilitar” el aprendizaje por parte de los estudiantes usando las TIC como herramientas mediadoras de este conocimiento, a través de diferentes hechos de la ciencia un poco aislados, sin tener en cuenta la importancia del contexto histórico, fenomenológico entre otros.

5.1.1.2 Desarrollo del proceso formativo

En el análisis realizado durante el proceso formativo a través de los diferentes instrumentos de indagación e investigación, revelan nuevos elementos del CTPC de la profesora Annekae, en relación con el fin de la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz, identificando una visión de ciencia más centrada en la comprensión del mundo a través de la física cuántica, su relación con otras ciencias, y su importancia en el desarrollo de los diferentes medios tecnológicos usados en la actualidad, siendo más coherente con los

posibles conocimientos construidos en el aula. Igualmente reconoce la importancia del uso de modelos científicos en el salón de clases como generación de motivación para el aprendizaje de la física cuántica en el salón de clases:

...en general la física cuántica es muy interesante desde muchos aspectos de vista del estudiante, debido a que no solamente le podrían interesar los beneficios que trae, como las diferentes aplicaciones, también los diferentes conceptos, explicaciones y modelos científicos que se crean. Este interés puede generar un buen aprendizaje de la física cuántica porque genera una motivación por aprender más, por ende es importante abordar diferentes fenómenos cuánticos. **PFa-CRint-14**

Esto permite inferir que Annekae cree que el desarrollo de procedimientos propios de la actividad científica en el aula permite el aprendizaje y la apropiación del conocimiento y su aplicación en interpretación de los fenómenos a través de la motivación por el aprendizaje de la física cuántica dado las aplicaciones tecnológicas que existen actualmente basadas en los fenómenos cuánticos:

Creo que es importante enseñar física cuántica desde la educación media, ya que estudiar física no es solo una forma de entender cómo se comporta el universo que nos rodea, sino que puede tener un impacto muy profundo en el desarrollo de una mentalidad lógica y mejorar las habilidades para resolver problemas de manera crítica. En ese sentido, la enseñanza de la física cuántica ayuda a los estudiantes a desarrollar tales habilidades a través de experimentos y observaciones. También es importante que los estudiantes conozcan la importancia de la física cuántica en los actuales avances de la tecnología y por ende, en nuestra vida cotidiana. **PFa-CD-43**

A partir de diferentes reflexiones plasmadas en las ideas de la CoRe realizada durante el proceso formativo y las diferentes narrativas, Annekae confirma la importancia de las actividades de experimentación usando medios tecnológicos que puedan potenciar al aprendizaje y el uso de modelos científicos en el salón de clases, ya que permite apoyar y mejorar la comprensión de los conceptos relacionados con la física cuántica. Se observa que durante el desarrollo del proceso formativo, la profesora en formación considera la importancia del aspecto experimental y práctico con el fin de potenciar el aprendizaje de los fenómenos cuánticos. Las actividades de modelización son reconocidas en la estrategia de enseñanza para afianzar los conocimientos teóricos que se desea enseñar, así como las TIC como herramientas que permiten fomentar la enseñanza y el aprendizaje, mostrado en la idea referente a la pregunta No 11 de la CoRe:

Realización preguntas orientadoras con el objetivo que los estudiantes puedan motivarse en la consulta, análisis y apropiación de algunos fenómenos cuánticos, la demostración de algunos fenómenos cuánticos a través de simuladores permitiendo observar a través de estas representaciones diferentes ilustración de modelos científicos, socialización de respuestas elaboradas por equipos cooperativos, usos y creación de contenido educativo como guías o videos que puedan potenciar el aprendizaje. **PFa-CRint-23**

Estos elementos revelan un desarrollo en relación con la propuesta didáctica identificada en el CTPC al inicio del proceso formativo, en el que las actividades de modelización y el uso de las TIC como herramientas cognitivas se presentan sin conexión con las actividades prácticas enfocadas en la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz.

5.1.1.3 Final del proceso formativo

En los elementos analizados luego del proceso de formación relacionado con los fines de la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz en la educación media, se logra evidenciar en los diferentes instrumentos de análisis (tales como la CoRe, los relatos, el cuestionario diagnostico luego de la implementación de la implementación de la Unidad didáctica) el desarrollo de los diferentes conocimientos enfocados en la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz a través de la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias usando las TIC como herramientas cognitivas, dada la relación de estos conocimientos que logra manifestar Annekae en la implementación y análisis de la unidad didáctica propuesta:

La enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz en la educación media debe tener algunas consideraciones referentes a varios fenómenos naturales, con el fin de poder abordarlos a través de modelos científicos, teniendo en cuenta los modelos mentales generados por los estudiantes entre ellos: enseñar acerca del espectro electromagnético antes de ingresar a la problemáticas que generaron la física cuántica... así como los usos de herramientas tecnológicas que puedan potenciar el aprendizaje de los fenómenos naturales relacionados con la naturaleza cuántica de la luz, dada su complejidad en cuanto a su representación. Esto se logra evidenciar en la unidad didáctica que implementamos en el salón de clases de grado once. **PFa-CRf-26**

Es importante enseñar física cuántica desde la educación media, ya que estudiar física no es solo una forma de entender cómo se comporta el universo que nos rodea, sino que puede tener un impacto muy profundo en el desarrollo de una mentalidad lógica y mejorar las habilidades, generando una nueva perspectiva del mundo a través de modelos científicos, abandonado la visión del mundo en el cual ya todo está dado, a través de verdades absolutas, por una visión en la cual describimos la naturaleza a través de modelos que permiten representar la naturaleza, lo cual generar una visión más crítica de la ciencia. En ese sentido, la enseñanza de la naturaleza

cuántica de la luz ayuda a los estudiantes a desarrollar tales habilidades a través de experimentos, discusiones, reflexiones, modelos y observaciones. También es importante que los estudiantes conozcan la importancia de la física cuántica en la tecnología y la cosmovisión de mundo, impactando la historia, la cultura y por ende la sociedad. Además, cada vez más fenómenos naturales tienen un fundamento cuántico, por lo que para entender nuestro entorno en últimas implicaría entender la física cuántica, adicionalmente las nuevas tecnologías están surgiendo según se van comprendiendo los conceptos de la cuántica. **PFa-CF-53**

Es muy importante que los estudiantes de grado once conozcan la naturaleza cuántica de la luz porque de esta forma se garantiza que el alumnado aprenda sobre física cuántica teniendo un impacto profundo en el desarrollo de habilidades como: pensamiento lógico, pensamiento matemático y pensamiento crítico. Al mismo tiempo, los estudiantes conocerían de mejor manera cómo se comporta el universo que nos rodea, especialmente a nivel microscópico. Por último, considero que es sumamente importante también que los estudiantes conozcan la importancia de la física cuántica en la tecnología y en nuestra vida cotidiana, ya que ésta se necesita para diseñar componentes ópticos y electrónicos, además también es importante para la teoría de la computación cuántica, puesto que es posible construir una computadora cuántica universal que pueda simular cualquier sistema físico. Esto significa que podemos probar teorías sobre sistemas físicos simulándolos y luego comparando los resultados de las simulaciones con la realidad. Además, cada vez más fenómenos tienen un fundamento cuántico, por lo que para entender nuestro entorno en últimas implicaría entender la naturaleza cuántica de la luz. **PFa-PPe-42**

En las diferentes ideas mencionadas por la profesora al final del proceso de formación permite reconocer que el proceso de experimentación y modelización comenzó a ocupar un papel diferente en los conocimientos desarrollados por la participante de la investigación llamada Annekae, presentando el propósito de la actividad experimental a través de la generación de elementos que le permitan al estudiante cuestionar y elaborar modelos en relación con el fenómeno cuántico, posibilitando el contraste con la teoría a través de los diferentes recursos tecnológicos que logren potenciar el desarrollo del conocimiento, es decir que no hay aprendizaje a través de estos recursos (como se evidenciaba al inicio del proceso formativo), sino el desarrollo del conocimiento con estos recursos.

Los conocimientos enfocados en esta subcategoría fueron desarrollados y estructurados a través de actividades de modelización mediante las tecnologías como herramientas potenciadoras del aprendizaje permitiendo poner en práctica los conocimientos construidos durante la formación, siendo elementos que promueven la construcción del conocimiento, y no solo como verificadores de la información como se

decía inicialmente, mencionándose en la idea categorizada por ***PFa-CRf-35*** respondiendo a la pregunta No 11 en la CoRe final (Tabla No 7).

Lo anterior permite justificar el desarrollo del CTPC de Annekae referente a esta subcategoría incorporando nuevos elementos a su propuesta didáctica y los cambios del objetivo de enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz en la educación media, reconociendo y aplicando nuevos elementos lo que para (Magnusson et al., 1999), indica que en el momento que los profesores tanto en ejercicio como en formación pueden utilizar múltiples pautas, incluidas aquellas que tienen objetivos específicos soportadas por los diferentes aprendizajes en consideración, se ha generado un desarrollo en sus conocimientos.

5.1.2 Conocimientos y creencias acerca del currículo de la ciencia

Esta subcategoría del CTPC está relacionada con la visión que tendría la profesora en formación Annekae acerca de lo que los estudiantes podrían ser capaces de aprender referente a un contenido o concepto en específico, así como la relación de dicho contenido con otros conceptos que podrían ser significativos para su aprendizaje buscando la selección del contenido pertinente para que sus estudiantes lo aprendan de forma comprensiva y significativa.

PREGUNTAS CoRe	ANTES	DURANTE	DESPUÉS
1-¿Cuál es el propósito de aprendizaje de esta idea?	<i>PFa-CRi-01</i> Enseñar sobre la catástrofe ultravioleta. Que los estudiantes conozcan más del contexto histórico, especialmente sobre las problemáticas que surgieron en ése época, al igual enseñar sobre la solución de la catástrofe ultravioleta. Que los estudiantes comprendan qué soluciones se dieron frente a las problemáticas y cómo cambiaron la visión de la ciencia desde ése momento. Finalmente enseñar sobre la dualidad	<i>PFa-CRint-13</i> Comprender el mundo y realidad que nos rodea, las cosas que hay detrás de cada “cosa” que utilizamos ahora y la importancia que juega en la sociedad en la que nos encontramos. El entendimiento, de los fenómenos (fotoeléctrico, láser, etc.) que nos permitieron un desarrollo en ciencias, posibilitando también avanzar a una sociedad más tecnológica en	<i>PFa-CRf-25</i> Iniciar la enseñanza de los fenómenos cuánticos a partir de la catástrofe ultravioleta: Que los estudiantes conozcan que la catástrofe ultravioleta fue uno de los mayores problemas científicos del siglo XX, ya que según la física clásica, los cuerpos negros contenían un suministro infinito de energía. Por tanto, la distribución de frecuencias aumentaría infinitamente con la energía. Sin embargo,

	onda-partícula. Que los estudiantes entiendan sobre el fenómeno de la dualidad onda-partícula. Así como todos los temas que sean más fáciles de aprender por los estudiantes referentes a la física cuántica: Efecto foto eléctrico, Tipos de representaciones de átomos, y algunos temas de la dualidad onda partícula.	donde aprovechamos más estos descubrimientos haciéndonos la vida un poco más amena. Hablar sobre lo importante que es el contexto social en el que se encontraban cada una de las personas que realizaron grandes aportes a la humanidad, para que así comprendan, porque se planteó los problemas, a que soluciones llegaron y como esos descubrimientos afectaron la sociedad, así como el uso de modelos científicos usando las TIC como herramientas cognitivas para potenciar la enseñanza de la física cuántica.	este concepto no coincidía con la realidad experimental, ya que la radiación aumentaría en términos de energía justo hasta que alcanzara la región ultravioleta del espectro electromagnético, y luego se desplomaría abruptamente. Fue Max Planck quien posteriormente resolvería este problema con la cuantización de energía, igualmente que los estudiantes conozcan que la dualidad onda-partícula es el concepto de la física cuántica según el cual cada partícula o entidad cuántica puede describirse como una partícula o una onda. Esto permitirá que los estudiantes puedan comprender mejor la naturaleza cuántica de la luz. Por ende estos permitiría abordar problemáticas enfocadas en la cuantización de la luz (la luz como partícula) y la naturaleza ondulatoria de la luz, a través de diversos fenómenos como son el efecto foto eléctrico, el experimento Millikan, el concepto de fotón, el principio de incertidumbre de Heisenberg, el entrelazamiento cuántico, entre otros fenómenos, sin olvidar las aplicaciones que han generado en el campo tecnológico, como es el láser, la computación y la informática cuántica. haciendo énfasis en sus análisis científico (a parte de las pseudociencias) teniendo

			en cuenta el contexto social, histórico así como las representaciones de estos fenómenos cuánticos desde los modelos científicos usando recursos tecnológicos que sean herramientas cognitivas para potenciar la enseñanza de la física cuántica generando aprendizaje significativo.
3-¿Qué más sabe respecto a esta idea (que no tiene la intención de que sus estudiantes conozcan)?	<i>PFa-CRi-03</i> Conceptos de electromagnetismo que no son tan relevantes a la hora de enseñar física cuántica como la Ley de Rayleigh-Jeans, o elementos matemáticos avanzados. Algunas características de la química cuántica como los números cuánticos.	<i>PFa-CRint-15</i> La computación cuántica, debido a todas las variables y complejidades que presenta, el solamente tratar de entender el entrelazamiento cuántico de los electrones, sumándole a eso que también se tiene que tener conocimiento sobre la programación y de las leyes de la física que se aplican. La materia oscura, como se sabe, la materia oscura no posee luz, en física cuántica se habla mucho sobre la naturaleza de la luz y que una materia no posea o sea que no emite ni absorbe luz, haciendo que sea muy complicada la explicación de las interacciones que posee.	<i>PFa-CRf-27</i> Elementos de representación matemática de varios fenómenos cuánticos abordados en la unidad didáctica, así como las matrices de Pauli, Heisenberg, las ecuaciones diferenciales usadas en la función de onda de Schrödinger, entre otros...esto por el abordaje fenomenológico que se dio en la unidad didáctica, enfatizando los modelos científicos que ahí se presentan, permitiendo que los estudiantes tengan un acercamiento a la naturaleza cuántica de la luz, así como sus diversas aplicaciones, procurando generar motivación e interés por sus aprendizaje.

Tabla No 8: Repuestas de las preguntas No 1 y No 3 de la CoRe, antes, durante y después del proceso de formación: Annekae. Fuente: autor

5.1.2.1 Inicio del proceso formativo

Al inicio del proceso de formación, los conocimientos y creencias previos de la educadora en formación Annekae acerca del currículo de ciencias fueron identificados a través de la CoRe implementada en los primeros encuentros enfocándose en los elementos

que tendría en cuenta para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz en la educación media, así como a través de relatos narrativos extraídos de los videos de caso de los primeros encuentros previos a la formación.

Esta subcategoría está clasificada tanto en los conocimientos de los objetivos y metas de la enseñanza, como en el conocimiento de las problemáticas, ejes temáticos o contenido a desarrollar según el conocimiento del profesor en formación (Magnusson et al., 1999).

Es así que al desarrollar la pregunta No 1 de la CoRe inicial, se puede evidenciar que Annekae propone una serie de temas enfocados en lo que llama el inicio de la física cuántica, y temáticas que podrían ser más “fáciles” de aprender por parte de los estudiantes, dada la complejidad de la física cuántica:

Enseñar sobre la catástrofe ultravioleta. Que los estudiantes conozcan más del contexto histórico, especialmente sobre las problemáticas que surgieron en ése época, al igual enseñar sobre la solución de la catástrofe ultravioleta. Que los estudiantes comprendan qué soluciones se dieron frente a las problemáticas y cómo cambiaron la visión de la ciencia desde ése momento. Finalmente enseñar sobre la dualidad onda-partícula. Que los estudiantes entiendan sobre el fenómeno de la dualidad onda-partícula. Así como todos los temas que sean más fáciles de aprender por los estudiantes referentes a la física cuántica: el Efecto foto eléctrico, tipos de representaciones de átomos, y algunos temas de la dualidad onda partícula. **PFa-CRi-01**

Relacionando el contenido con los temas que abordó en el curso de “física moderna y contemporánea” enfocándose en la enseñanza de la disciplina procurando facilitar el uso de las diversas representaciones de la misma:

Existe una gran dificultad en aprender la mecánica cuántica, así como lo he evidenciado en el actual curso de “física moderna”, por ello creo que para enseñar esto a estudiantes de colegio, se podría hacer enseñando los primeros contenidos de la cuántica, como es la catástrofe ultravioleta, los modelos atómicos, y algunos temas de la cuántica pero sin profundizar en elementos matemáticos de mayor dificultad, habría que buscar estrategias para enseñarla de manera más fácil de lo que me tocó a mí. **PFa-PPe-43**

Evidenciándose que la profesora en formación concibe el conocimiento asociado al currículo de forma vertical, es decir una serie de acumulación de contenido los cuales son muy difíciles de comprender dada su propia experiencia, por ello manifiesta la necesidad de contar con estrategias para facilitar la enseñanza de los temas en mención.

En cuanto a los contenidos que conoce pero que no tiene interés de enseñar, manifiesta algunos contenidos tanto de la química cuántica, como de la física cuántica enfocada en las representaciones matemáticas de la misma, dada la dificultad de ella:

Conceptos de electromagnetismo que no son tan relevantes a la hora de enseñar física cuántica como la Ley de Rayleigh-Jeans, o elementos matemáticos avanzados. Algunas características de la química cuántica como los números cuánticos.

PFa-CRi-03

Es así que a la profesora en formación Annekae se logra ver una vaga idea de enseñar la física cuántica desde una visión fenomenológica del comportamiento subatómico de la naturaleza, pero por su formación disciplinar, no logra evidenciarla de forma explícita para ese momento:

Sería muy interesante poder abordar los temas que aprendí en el curso de “física moderna” en un contexto de colegio, pero considero que debe ser muy difícil por las matemáticas que ahí se usan. No creo que los estudiantes de colegio las manejen, por lo menos yo recuerdo que lo máximo que vi en matemáticas en el colegio fueron derivadas...debe haber otra forma de enseñar física cuántica sin estos elementos. **PFa-PPe-44**

Por ende el enfoque de enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz a través de fenómenos fue el énfasis en el proceso de formación, procurando que las próximas licenciadas, lograran evidenciar otras estrategias de poder abordar estos fenómenos cuánticos dado el contexto en la cual se iba a desarrollar.

5.1.2.2 Desarrollo del proceso formativo

Durante el proceso de formación, se logra evidenciar que la profesora comienza a dar mayor interés al contexto social, histórico al propósito de aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz, así como las aplicaciones de estos ejes temáticos (abandona la idea de temas) desde un punto de vista fenomenológico, buscando el sentido de su aprendizaje desde una visión social:

Comprender el mundo y realidad que nos rodea, las cosas que hay detrás de cada “cosa” que utilizamos ahora y la importancia que juega en la sociedad en la que nos encontramos. El entendimiento, de los fenómenos (fotoeléctrico, láser, etc.) que nos permitieron un desarrollo en ciencias, posibilitando también avanzar a una sociedad más tecnológica en donde aprovechamos más estos descubrimientos haciéndonos la vida un poco más amena. Hablar sobre lo importante que es el contexto social en el que se encontraban cada una de las personas que realizaron grandes aportes a la humanidad, para que así comprendan, porque se planteó los problemas, a que soluciones llegaron y como esos descubrimientos afectaron la sociedad, así como el

uso de modelos científicos usando las TIC como herramientas cognitivas para potenciar la enseñanza de la física cuántica. **PFa-CRint-13**

Aunque para ese momento no relacionaba en detalle los ejes temáticos a enseñar, mostraba la importancia de tener en cuenta los modelos científicos para su enseñanza usando los medios TIC como herramientas cognitivas, así como la importancia del enfoque fenomenológico para su enseñanza:

Se podría abordar la naturaleza cuántica de la luz dejando de lado la parte matemática para hacer énfasis en los conceptos, y en los fenómenos, dejando espacio para tocar en clases la historia y el desarrollo del campo, comenzando con la "catástrofe ultravioleta". **PFa-CD-45**

En cuanto a los contenidos que conoce pero que no desea abordar, ahora enfatiza algunos fenómenos cuánticos los cuales podrían ser complejos para los estudiantes del colegio, según su visión profundizando en la complejidad de dichos fenómenos naturales por lo que requiere otros aprendizajes a parte de la física:

La computación cuántica, debido a todas las variables y complejidades que presenta, el solamente tratar de entender el entrelazamiento cuántico de los electrones, sumándole a eso que también se tiene que tener conocimiento sobre la programación y de las leyes de la física que se aplican... **PFa-CRint-15**

Esto permite vislumbrar un desarrollo del CTPC en cuanto a los conocimientos pedagógicos y tecnológicos ya que al proponer el acercamiento a los diferentes contenidos desde un contexto fenomenológico teniendo en cuenta elementos claves como los modelos científicos y las TIC como potenciadoras del conocimiento, amplía su visión del cómo enseñar la naturaleza cuántica de la luz en la educación media.

5.1.2.3 Final del proceso formativo

Al final del proceso formativo, se encuentran grandes diferencias en relación a los conocimientos y creencias de la futura docente Annekae acerca del currículo en relación al inicio del proceso formativo. Por un lado identifica el contenido abordar a través de ejes temáticos, haciendo un recorrido histórico de los inicios de la representación cuántica de la luz enfatizando en el contexto social de los fenómenos presentados en la unidad didáctica, reiterando la importancia de la modelización como estrategia didáctica y el uso de las herramientas tecnológicas como apoyo para la movilización del conocimiento científico, detallando varios fenómenos cuánticos los cuales fueron trabajados en el producto final implementado en el salón de clases de la educación media:

Iniciar la enseñanza de los fenómenos cuánticos a partir de la catástrofe ultravioleta: Que los estudiantes conozcan que la catástrofe ultravioleta fue uno de los mayores problemas científicos del siglo XX, ya que según la física clásica, los cuerpos negros contenían un suministro infinito de energía. Por tanto, la distribución de frecuencias aumentaría infinitamente con la energía. Sin embargo, este concepto no coincidía con la realidad experimental, ya que la radiación aumentaría en términos de energía justo hasta que alcanzara la región ultravioleta del espectro electromagnético, y luego se desplomaría abruptamente. Fue Max Planck quien posteriormente resolvería este problema con la cuantización de energía, igualmente que los estudiantes conozcan que la dualidad onda-partícula es el concepto de la física cuántica según el cual cada partícula o entidad cuántica puede describirse como una partícula o una onda. Esto permitirá que los estudiantes puedan comprender mejor la naturaleza cuántica de la luz. Por ende estos permitiría abordar problemáticas enfocadas en la cuantización de la luz (la luz como partícula) y la naturaleza ondulatoria de la luz, a través de diversos fenómenos como son el efecto foto eléctrico, el experimento Millikan, el concepto de fotón, el principio de incertidumbre de Heisenberg, el entrelazamiento cuántico, entre otros fenómenos, sin olvidar las aplicaciones que han generado en el campo tecnológico, como es el láser, la computación y la informática cuántica. haciendo énfasis en sus análisis científico (a parte de las pseudociencias) teniendo en cuenta el contexto social, histórico así como las representaciones de estos fenómenos cuánticos desde los modelos científicos usando recursos tecnológicos que sean herramientas cognitivas para potenciar la enseñanza de la física cuántica generando aprendizaje significativo. **PFa-CRf-25**

El énfasis de la naturaleza cuántica de la luz se hace evidente tanto en los relatos tomados al final del proceso de formación, como en la elaboración e implementación de la unidad didáctica en el salón de clases, dejando de lado las representaciones matemáticas, enfocándose en el análisis fenomenológico de cada contenido trabajado, reiterando la importancia de las herramientas TIC como herramientas cognitivas y los modelos científicos para su enseñanza:

Se podría abordar haciendo énfasis en lo fenomenológico, dejando de lado la parte matemática y centrándose en el contexto histórico y social para saber cómo surgió y a partir de qué problemáticas. Se abordaría mediante una retórica llamativa buscando captar la atención de las estudiantes, mediante herramientas TIC como simuladores y videos para fomentar la curiosidad y la interacción de las estudiantes con los fenómenos procurando potenciar el aprendizaje de estos fenómenos que no se podrían trabajar sin estos elementos (sin el dinamismo que dan las TIC), por último, se podría abordar mediante la modelización como estrategia didáctica para facilitar la enseñanza de estos fenómenos y por ende la apropiación del conocimiento por parte de los estudiantes. **PFa-CF-46**

Lo anterior permite evidenciar un desarrollo de los diferentes conocimientos del CTPC, permitiendo que la profesora en formación Annekae logre identificar los contenidos a enseñar teniendo presente los elementos propios de dicho CTPC, desde una visión fenomenológica de los mismos, es así que manifiesta que los contenidos que no desea

enseñar hacer referencia únicamente a las representaciones matemáticas, dado que los fenómenos manifestados en la CoRe realizada durante la formación, se tuvieron en cuenta dada la importancia de su aprendizaje:

Elementos de representación matemática de varios fenómenos cuánticos abordados en la unidad didáctica, así como las matrices de Pauli, Heisenberg, las ecuaciones diferenciales usadas en la función de onda de Schrödinger, entre otros...esto por el abordaje fenomenológico que se dio en la unidad didáctica, enfatizando los modelos científicos que ahí se presentan, permitiendo que los estudiantes tengan un acercamiento a la naturaleza cuántica de la luz, así como sus diversas aplicaciones, procurando generar motivación e interés por sus aprendizaje.

PFa-CRf-27

En primer lugar, decidimos abordar en la primera sesión el concepto de luz como onda electromagnética para evaluar los conocimientos previos de las estudiantes, al mismo tiempo queríamos hacer un “recorderis” de los conceptos de onda antes de entrar en la naturaleza cuántica de la luz. En segundo lugar, tuvimos en cuenta el contexto histórico para entender de mejor forma cómo surge la física cuántica, allí abordamos ejes temáticos como radiación de un cuerpo negro, la catástrofe ultravioleta, los cuantos de Planck, efecto fotoeléctrico y por último, la luz como corpúsculo. En tercer lugar, tuvimos en cuenta el fenómeno de la luz como onda y partícula, para de esta forma, contrastar ambos comportamientos: el corpuscular y el ondulatorio. En cuarto lugar, decidimos explorar los fenómenos cuánticos como el principio de incertidumbre y la superposición cuántica. Abordamos también la pseudociencia aplicada en la física cuántica y por último, vimos sobre qué trata la física probabilística. Para finalizar, decidimos abordar las diferentes ventajas del conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz con el fin de mostrar la relación que existe entre los fenómenos de la física cuántica y los avances tecnológicos. Tuvimos en cuenta la computación cuántica y el láser. ***PFa-PPe-47***

Lo anterior permite reconocer que en relación a las creencias y conocimientos de la próxima educadora Annekae acerca del currículo, referente las metas y objetivos, se logra observar un desarrollo significativo, potenciado tanto por el proceso formativo como el trabajo colaborativo.

5.1.3 Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes de un tópico específico de la ciencia

Esta subcategoría se enfoca en el análisis de la comprensión de la naturaleza cuántica de la luz por parte de la profesora Annekae, buscando la identificación de las posibles dificultades con que los estudiantes se enfrentan a este concepto, haciendo explícito las diferentes concepciones alternativas con las que podrían llegar los estudiantes al salón de clases, así como los posibles antecedentes académicos y culturales con los que llegarían en el aprendizaje de este contenido, según la visión y creencias de la profesora.

PREGUNTAS CoRe	ANTES	DURANTE	DESPUÉS
4-¿Cuáles son las dificultades/limitaciones relacionadas con la enseñanza de esta idea?	<i>PFa-CRi-04</i> La dificultad del lenguaje matemático y la comprensión de varios temas de la física cuántica, esto genera un esfuerzo muy grande para poder comprenderla, así como el tener varios conocimientos previos de otros campos científicos, como es la química, las ecuaciones diferenciales entre otros, lo que hace que haya muy pocos profesores de física que puedan enseñar esto en el colegio.	<i>PFa-CRint-16</i> La dificultad en encontrar modelos científicos que representen la física cuántica desde una visión fenomenológica, orientándose al lenguaje matemático sin dar otras posibilidades. Al igual, la falta de herramientas tecnológicas en varias instituciones que no permitirían la aplicación de las TIC como potenciadoras del aprendizaje, así como el poco conocimiento de muchos profesores de física en cuanto a la física cuántica siendo enseñada en el colegio. El lenguaje matemático es una gran dificultad pero en la visión fenomenológica no la abordaremos, por eso no se convierte una dificultad.	<i>PFa-CRf-28</i> La falta de modelos científicos o el uso inadecuado de las analogías o simplemente el hecho de que en algunas cosas en la física cuántica no exista una explicación concreta, puede llevar al estudiante a pensar que las ciencias no son lo suyo por no poder comprender, así como el caos mental que puede generar la no diferenciación entre la física clásica y física cuántica, pues en la educación actual enseña la física clásica de una manera muy metódica o con un orden y con la comprensión exacta sobre los fenómenos, por el contrario, la física cuántica puede generar confusión al momento de ser enseñada, ya que la física clásica permea la visión haciendo que se trate de explicar la física cuántica a partir de las leyes de la física clásica. Un ejemplo sería que los alumnos ven al electro o fotones como una partícula, pero desde la física clásica en la cual tiene una órbita ya definida. Finalmente el poco conocimiento de los profesores de física de colegio en cuanto a estos fenómenos cuánticos para ser enseñados en la educación media, sin conocer aún más los beneficios de la modelización, y el uso de las TIC como herramientas cognitivas.

5-¿Cuál es su conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes que influye en la enseñanza de esta idea?	<i>PFa-CRi-05</i> Considero que muy pocos estudiantes de la educación media conocen acerca de la física cuántica y por lo tanto es importante empezar a enseñar el contexto histórico haciendo más énfasis en los inicios de la física cuántica, la habrán escuchado en la televisión o diferentes medios, pero no creo que hayan abordado las problemáticas a profundidad. Por eso hay que saber enseñar los temas que son necesarios de aprender, usando matemáticas básicas.	<i>PFa-CRint-17</i> Enseñar sobre el espectro electromagnético: Aunque es un eje temático que se aborda en la educación media, creo que los estudiantes aún no relacionan por completo las aplicaciones del espectro electromagnético con su entorno, al igual que la catástrofe ultravioleta y la dualidad onda partícula. Algunos estudiantes se quedan sólo con la naturaleza ondulatoria de la luz y desconocen la naturaleza cuántica, pues no se tiene formación de esto en la educación media.	<i>PFa-CRf-29</i> La complejidad es un factor muy relevante al momento de la enseñanza de la física cuántica, debido a que la mayor parte de la vida de los estudiantes se enseña la física como algo aburrido y de difícil comprensión, creando así la falsa ilusión de que si la física clásica era difícil entonces la física cuántica no la entenderían y se pre disponen a no intentar de comprender, por eso muchos estudiantes no comprenden la importancia que tiene la física cuántica en sus vidas cotidianas porque en los colegios aún se sigue enseñando la física de una manera tradicional, generando así que no encuentren relación entre las tecnologías desarrolladas por los avances en la cuántica y la sociedad en la que se encuentran, haciendo que la física cuántica y todas las cosas que conlleva sean simplemente ignoradas porque no se puede inferir cuál es el rol real que cumple en sus vidas, por ello es importante reflexionar sobre el contenido aprendido y así poder relacionar lo que se está aprendiendo en clases con la vida real, la modelización nos permite estos elementos para generar un aprendizaje significativo.
6-¿Qué otros factores influyen en su enseñanza de esta idea?	<i>PFa-CRi-06</i> El desconocimiento histórico de la física, el desconocimiento frente a	<i>PFa-CRint-18</i> El desconocimiento histórico de la física en general enseñándose	<i>PFa-CRf-30</i> La relación del estudiante con el docente juega un punto importante en el

	cómo funcionan los elementos tecnológicos que nos rodean y el hecho de que algunas personas suelen asociar la física cuántica con algo místico o con prácticas esotéricas.	como una ciencia ya dada, evidenciándose las visiones deformadas de ciencia así como la ausencia de estrategias didácticas para enseñarla a través de modelos científicos, y usando la tecnología como mediadora del conocimiento, dando mal uso a estos recursos, así como el desconocimiento frente a cómo funcionan los elementos tecnológicos que nos rodean y el hecho de que algunas personas suelen asociar la física cuántica con algo místico o con prácticas esotéricas.	aprendizaje porque entre más conectado o más sinergia tenga el docente sus estudiantes, mejores resultado se presentan debido a que puede potenciar el rendimiento académico en comparación con profesores que casi no conectan la clase con sus estudiantes y simplemente se vuelven “dictadores” diciendo cosas importantes, pero que no quieren prestar atención. Recordemos que el docente es un mediador en el aprendizaje, entre el ambiente y los alumnos, por lo tanto, la relación entre docente y alumnado si influye al momento de aprender, por ende se debe potenciar el aprendizaje a través del interés, de la motivación es un factor que puede hacer que aumente el aprendizaje, si la motivación se hace de la manera correcta puede generar un círculo de motivación en la cual el alumno le gusta lo que estudia, por lo tanto, le va bien en lo que hace, le gusta la sensación positiva que deja y lo repite porque quiere seguir escalando. Según Reynaldo Suárez, la motivación se trata de mover al estudiante para que cree las condiciones para el aprendizaje y lograr lo que se propone, por ello el interés por parte del alumno es crucial debido a que se puede generar de dos maneras: 1) porque le gusta el tema (en este caso la naturaleza cuántica de la luz), 2) la

			conexión con el maestro puede despertar el interés, por lo que se está preñdiendo, cualquiera que sea la manera el interés influye mucho en la motivación que puede generar un estudiante para alcanzar nuevos objetivos. En conclusión, el interés es el que armoniza el compromiso con el aprendizaje, haciendo que se sienta mejor en el campo que está aprendiendo, y esto se puede alcanzar con el buen uso de los modelos científicos en el salón de clases y el las herramientas tecnológicos como potenciadores del aprendizaje.

Tabla No 9: Repuestas de las preguntas No 4, No 5 y No 6 de la CoRe, antes, durante y después del proceso de formación: Annekae. Fuente: autor

5.1.3.1 Inicio del proceso formativo

Se logra evidenciar que Annekae inicialmente identifica como una de las mayores dificultades para enseñar la naturaleza cuántica de la luz, la complejidad de las representaciones matemáticas de los diferentes fenómenos naturales que se podrían trabajar en el colegio:

La dificultad del lenguaje matemático y la comprensión de varios temas de la física cuántica, esto genera un esfuerzo muy grande para poder comprenderla, así como el tener varios conocimientos previos de otros campos científicos, como es la química, las ecuaciones diferenciales entre otros, lo que hace que haya muy pocos profesores de física que puedan enseñar esto en el colegio. ***PFa-CRi-04***

Lo que genera para su criterio, los mayores obstáculos de formar futuros profesores de física para enseñar la física cuántica en el colegio, es así que menciona el contenido a través de temas, sin enfatizar en los procesos pedagógicos que se debieran tener en cuenta. Igualmente menciona la dificultad generada por el poco conocimiento de otros campos científicos. En uno de los relatos se observa que según su criterio, debe profundizarse en los

temas concernientes a la física cuántica dentro de los programas de formación de docentes de ciencias:

Considero que los programas de estudio como el que estoy realizando, debería tener más cursos de mecánica cuántica, así como la ven los físicos, así uno podría conocer más temas de este estudio y poder enseñarla en el colegio con más competencias. El problema principalmente es el desconocimiento de los temas de la física cuántica. **PFa-PPe-48**

Igualmente la profesora en formación Annekae indica la importancia de la enseñanza de la física cuántica en el colegio por su importancia en el contexto actual, lo cual se observa en diferentes medios de difusión como el internet, la televisión, el cine, entre otros, rescatando la historia de las ciencias, pero no hace explícito la relación de estos contenidos con los avances tecnológicos y los aportes a la visión de mundo:

Considero que muy pocos estudiantes de la educación media conocen acerca de la física cuántica y por lo tanto es importante empezar a enseñar el contexto histórico haciendo más énfasis en los inicios de la física cuántica, la habrán escuchado en la televisión o diferentes medios, pero no creo que hayan abordado las problemáticas a profundidad. Por eso hay que saber enseñar los temas que son necesarios de aprender, usando matemáticas básicas. **PFa-CRi-05**

Como una de las mayores influencias para enseñar la naturaleza cuántica de la luz, menciona el desconocimiento generalizado a nivel social referente a la historia de la física, el funcionamiento de la tecnología actual y el misticismo que existe alrededor de la palabra cuántica, dado el poco conocimiento científico de la población en la región.

El desconocimiento histórico de la física, el desconocimiento frente a cómo funcionan los elementos tecnológicos que nos rodean y el hecho de que algunas personas suelen asociar la física cuántica con algo místico o con prácticas esotéricas. **PFa-CRi-06**

Por ello Annekae, en esta fase inicial señala el conocimiento de los temas de la física cuántica como el objetivo principal para enseñar el contenido en el colegio, siendo uno de los objetivos principales para los programas de formación de profesores de ciencias, enfatizando el contexto histórico y tecnológico para ello. Es así que la importancia se enfatiza en el conocimiento disciplinar.

5.1.3.2 Desarrollo del proceso formativo

Durante el proceso de formación, Annekae enfoca las posibles dificultades para enseñar la naturaleza cuántica de la luz en las representaciones de los fenómenos cuánticos

por ser poco intuitivos, y difíciles de presentar a los estudiantes desde la fenomenología de los mismos. Igualmente indica la precariedad que hay en muchas instituciones frente a los recursos tecnológicos, teniendo en cuenta el contexto social de las instituciones educativas, apartándose de la visión puramente disciplinar, por un ideal más de comunidad, reiterando el desconocimiento de muchos docentes de física en problemáticas de física cuántica:

La dificultad en encontrar modelos científicos que representen la física cuántica desde una visión fenomenológica, orientándose al lenguaje matemático sin dar otras posibilidades. Al igual, la falta de herramientas tecnológicas en varias instituciones que no permitirían la aplicación de las TIC como potenciadoras del aprendizaje, así como el poco conocimiento de muchos profesores de física en cuanto a la física cuántica siendo enseñada en el colegio. El lenguaje matemático es una gran dificultad pero en la visión fenomenológica no la abordaremos, por eso no se convierte una dificultad. ***PFa-CRint-16***

Frente al contexto el cual tendría los estudiantes del colegio, reitera las posibles dificultades que tendrían en algunos ejes temáticos propios de la física clásica, lo cual se supone, es una de las bases conceptuales de la física cuántica, propiamente el reforzar contenidos como el espectro electromagnético, entre otros:

Enseñar sobre el espectro electromagnético: Aunque es un eje temático que se aborda en la educación media, creo que los estudiantes aún no relacionan por completo las aplicaciones del espectro electromagnético con su entorno, al igual que la catástrofe ultravioleta y la dualidad onda partícula. Algunos estudiantes se quedan sólo con la naturaleza ondulatoria de la luz y desconocen la naturaleza cuántica, pues no se tiene formación de esto en la educación media. ***PFa-CRint-17***

Annekae refuerza la importancia del contexto histórico en la enseñanza de la física como aspecto relevante, teniendo en cuenta algunos elementos trabajados durante la formación, como son las visiones deformadas de ciencia, las diferentes estrategias didácticas, los modelos científicos, y la importancia de usar las tecnologías como herramientas cognitivas, reiterando el desconocimiento de la sociedad frente a las leyes científicas que son base del funcionamiento de la tecnología actual, y el misticismo del concepto por el mismo desconocimiento:

El desconocimiento histórico de la física en general enseñándose como una ciencia ya dada, evidenciándose las visiones deformadas de ciencia así como la ausencia de estrategias didácticas para enseñarla a través de modelos científicos, y usando la tecnología como mediadora del conocimiento, dando mal uso a estos recursos, así como el desconocimiento frente a cómo funcionan los elementos tecnológicos que nos rodean y el hecho de que algunas personas suelen asociar la física cuántica con algo místico o con prácticas esotéricas. ***PFa-CRint-18***

La física cuántica no se enseña tradicionalmente en los cursos de física de la educación media debido al nivel de abstracción y al formalismo matemático que normalmente se asocia con la asignatura, por lo que no se tienen en cuenta aspectos como la enseñanza de la física desde una visión fenomenológica. Tampoco se cuenta con los recursos necesarios y/o suficientes profesores capacitados en el área. ***PFa-CD-50***

A través de estas reflexiones se revela que Annekae comienza a integrar en su discurso los elementos de referencia abordados en las diferentes sesiones de formación, donde se presentaron los fundamentos teóricos de los conocimientos del CTPC, aunque para ese momento no logra identificar la relación de estos elementos con el conocimiento de los contenidos a desarrollar.

5.1.3.3 Final del proceso formativo

En esta fase del proceso formativo, se evidencia el desarrollo de los diferentes conocimientos relacionados con el CTPC de la educadora en formación Annekae, por un lado tiene en cuenta los aspectos relacionados con los modelos científicos y mentales desarrollados en la unidad didáctica, haciendo un comparativo con las formas didácticas de los modelos de la física clásica, y los de la física cuántica, desatacando la importancia de la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de la física cuántica, y el apoyo de las TIC como herramientas cognitivas, lo que para ella es un desconocimiento de muchos de los docentes de ciencias:

La falta de modelos científicos o el uso inadecuado de las analogías o simplemente el hecho de que en algunas cosas en la física cuántica no exista una explicación concreta, puede llevar al estudiante a pensar que las ciencias no son lo suyo por no poder comprender, así como el caos mental que puede generar la no diferenciación entre la física clásica y física cuántica, pues en la educación actual enseñanza la física clásica de una manera muy metódica o con un orden y con la comprensión exacta sobre los fenómenos, por el contrario, la física cuántica puede generar confusión al momento de ser enseñada, ya que la física clásica permea la visión haciendo que se trate de explicar la física cuántica a partir de las leyes de la física clásica. Un ejemplo sería que los alumnos ven al electrón o fotones como una partícula, pero desde la física clásica en la cual tiene una órbita ya definida. Finalmente el poco conocimiento de los profesores de física de colegio en cuanto a estos fenómenos cuánticos para ser enseñados en la educación media, con mayor desconocimiento en los beneficios de la modelización, y el uso de las TIC como herramientas cognitivas. ***PFa-CRf-28***

Explicitando la importancia de la enseñanza de la física cuántica con los avances tecnológicos y su visión de sociedad, la forma de relacionarnos y su implicación con cada uno de los individuos de dicha sociedad:

La complejidad es un factor muy relevante al momento de la enseñanza de la física cuántica, debido a que la mayor parte de la vida de los estudiantes se enseña la física como algo aburrido y de difícil comprensión, creando así la falsa ilusión de que si la física clásica era difícil entonces la física cuántica no la entenderían y se pre disponen a no intentar de comprender, por eso muchos estudiantes no comprenden la importancia que tiene la física cuántica en sus vidas cotidianas porque en los colegios aún se sigue enseñando la física de una manera tradicional, generando así que no encuentren relación entre las tecnologías desarrolladas por los avances en la cuántica y la sociedad en la que se encuentran, haciendo que la física cuántica y todas las cosas que conlleva sean simplemente ignoradas porque no se puede inferir cuál es el rol real que cumple en sus vidas, por ello es importante reflexionar sobre el contenido aprendido y así poder relacionar lo que se está aprendiendo en clases con la vida real, la modelización nos permite estos elementos para generar un aprendizaje significativo.

PFa-CRf-29

Annekae subraya la importancia que existe en la relación del profesor con los estudiantes, siendo un aspecto sumamente importante por el desarrollo o no de la motivación para el aprendizaje de un contenido en concreto, detallando el comparativo de un trabajo del docente como mediador del saber con el docente conductista transmisor de información, enfocando en la necesidad de generar interés por el aprendizaje de los participantes en contenidos tan complejos como la naturaleza cuántica de la luz , como otro de los aspectos importantes a tener en cuenta para enseñar estos fenómenos naturales, detallándose en la respuesta de la pregunta **No 6** de la CoRe final: ***PFa-CRf-30***

Posiblemente esta idea de la futura profesora tuvo su origen en los cambios generados enfocados en sus preconcepciones existentes en el momento de implementar la unidad didáctica, siendo uno de los mayores retos el generar la motivación por aprender los contenidos por parte de los estudiantes a través del trabajo en equipo, dado que unidad didáctica desarrollada después de la proceso de formación se caracteriza por el trabajo en equipo, la observación, la experimentación, la búsqueda de información en diferentes fuentes, la lectura y análisis de información, entre otros usando los recursos tecnológicos como apoyo para la generación del nuevo conocimiento. Estas habilidades son propias de la enseñanza de la física con un enfoque constructivista, siendo parte de este enfoque la modelización como estrategia didáctica.

Una de las mayores dificultades que tuve al inicio de la aplicación de la unidad didáctica, fue poder generar motivación en las estudiantes para que quisieran aprender acerca de la naturaleza cuántica de la luz, las veía muy dispersas...pero poco a poco esa atención se fue dando con el interés que se iba generando por la forma en que se trabajaba los ejes temáticos a través del enfoque de la modelización, y el uso de los

diferentes medios tecnológicos apoyando el aprendizaje de los diferentes fenómenos cuánticos. Por experiencia digo que la relación del profesor con los estudiantes es muy importante para lograr lo propuesto. **PFa-PPe-51**

5.1.4 Conocimiento tecnológico y pedagógico para gestionar el aula

En esta subcategoría se busca reconocer el conocimiento que posee la profesora Annekae referente a los medios tecnológicos que podrían apoyar la enseñanza la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz y sus formas de representar los diferentes fenómenos naturales que en ella se estudian. Es el conocimiento de las TIC para gestionar el aula de ciencias.

PREGUNTAS CoRe	ANTES	DURANTE	DESPUÉS
7-¿Qué tecnologías digitales estándar emplea para planear y gestionar el aprendizaje de la idea?	PFa-CRi-07 Herramientas de Microsoft Office y de Google Workspace. Buscadores web. Youtube. Foros. Minecraft Education Edition y demás recursos tecnológicos que median el conocimiento.	PFa-CRint-19 Las herramientas de organización semántica, de comunicación y colaboración, las herramientas tecnológicas que aportan a la construcción del conocimiento y las herramientas de simulado de la información, como son los simuladores. La idea es que ellas puedan potenciar el conocimiento de los estudiantes, dado su dinamismo, sus representaciones, el permitir el trabajo en equipos colaborativos, permitiendo el aprendizaje con estos medios.	PFa-CRf-31 Las herramientas de organización semántica, de comunicación y colaboración, las herramientas tecnológicas que aportan a la construcción del conocimiento, las herramientas de modelado dinámico y las herramientas de interpretación de la información, como son los simuladores, los diferentes laboratorios virtuales entre otros. La idea es que ellas puedan potenciar el conocimiento de los estudiantes, dado su dinamismo, sus representaciones, el permitir el trabajo en equipos colaborativos, permitiendo el aprendizaje con estos medios con el fin de aportar al trabajo en equipo y representar los fenómenos cuánticos, lo que sería muy difícil sin estos recursos.

Tabla No 10: Repuestas de la pregunta No 7 antes, durante y después del proceso de formación: Annekae. Fuente: autor

5.1.4.1 Inicio del proceso formativo

Dada la respuesta de la profesora Annekae referente a la pregunta No 7 se logra evidenciar que conoce varias herramientas tecnológicas, con una visión de ellas como mediadoras del conocimiento, siendo una de las apreciaciones más comunes desde la incorporación de las nuevas tecnologías para la educación, es así que se toma la decisión de abordar los recursos tecnológicos como herramientas cognitivas, con el objetivo que la profesora pueda comprender las bondades de las TIC como herramientas que pueden potenciar el conocimiento pero con la movilización del saber que se da en la interrelación entre el docente y el estudiante:

Herramientas de Microsoft Office y de Google Workspace. Buscadores web. Youtube. Foros. Minecraft Education Edition y demás recursos tecnológicos que median el conocimiento. **PFa-CRi-07**

En los anteriores cursos enfocados en el diseño de experiencias pedagógicas, vimos que las tecnologías son unas grandes herramientas que movilizan el conocimiento, evidenciándose durante la pandemia. Así la educación virtual ayuda mucho en estos procesos de trabajo en cas gracias a las TIC. **PFa-PPe-53**

5.1.4.2 Desarrollo del proceso formativo

En esta fase del proceso de formación, se logra mostrar que la profesora asimila las bondades de las TIC como herramientas cognitivas, facilitando las representaciones e interacciones necesarias para la movilización del conocimiento, pero por la relación del docente con el estudiante apoyando los aprendizajes. A su vez, logra clasificar estas tecnologías según las tipologías de las herramientas cognitivas (trabajadas durante el proceso de formación), aunque confunde las herramientas de representación por simulación, posiblemente porque en ellas se encuentran los simuladores de experimentos físicos:

Las herramientas de organización semántica, de comunicación y colaboración, las herramientas tecnológicas que aportan a la construcción del conocimiento y las herramientas de simulado de la información, como son los simuladores. La idea es que ellas puedan potenciar el conocimiento de los estudiantes, dado su dinamismo, sus representaciones, el permitir el trabajo en equipos colaborativos, permitiendo el aprendizaje con estos medios. **PFa-CRint-19**

Es así que se observa un aprendizaje enfocado en el conocimiento tecnológico de la profesora en formación Annekae:

Las herramientas tecnológicas que nos permitirían enseñar física cuántica podrían ser simuladores gratuitos en línea como <https://phet.colorado.edu/es/>, canales de Youtube como Date un voltio y Quantum Fracture, y por último aplicaciones gratuitas como Quantum. Además de las herramientas tecnológicas específicas para física cuántica podemos encontrar plataformas que nos permitan interactuar de forma colectiva como lo son las herramientas de Google, Blogs, Foros, entre otros. **PFa-CD-54**

5.1.4.3 Final del proceso formativo

Finalmente la profesora reitera la visión de los elementos tecnológicos y digitales como herramientas cognitivas, dejando claro los actores que generan la movilización del saber pero con el apoyo y bondades de las TIC, sobre todo en la representación de los diferentes fenómenos cuánticos a través de modelos científicos evidenciados en estas herramientas. En este caso la profesora menciona de forma correcta las tipologías de las TIC como herramientas cognitivas explicitando sus aportes enfocándose en la parte experimental a través de simuladores y diferentes laboratorios virtuales:

Las herramientas de organización semántica, de comunicación y colaboración, las herramientas tecnológicas que aportan a la construcción del conocimiento, las herramientas de modelado dinámico y las herramientas de interpretación de la información, como son los simuladores, los diferentes laboratorios virtuales entre otros. La idea es que ellas puedan potenciar el conocimiento de los estudiantes, dado su dinamismo, sus representaciones, el permitir el trabajo en equipos colaborativos, permitiendo el aprendizaje con estos medios con el fin de aportar al trabajo en equipo y representar los fenómenos cuánticos, lo que sería muy difícil sin estos recursos. **PFa-CRf-31**

Por otro lado menciona la facilidad de su uso por la manipulación a través de medios comunes como son los celulares, evidenciándose en la implementación de la unidad didáctica, al igual que el apoyo de estos medios para los procesos de evaluación a través de grupos colaborativos, como por ejemplo en el cuestionario realizado a los estudiantes, antes y después de aplicación de la unidad didáctica, generando un desarrollo del conocimiento tecnológico perteneciente al CTPC de Annekae:

Las herramientas tecnológicas que nos permitirían enseñar física cuántica podrían ser simuladores gratuitos en línea como <https://phet.colorado.edu/es/>, <https://www.vascak.cz/physicsanimations.php>, <https://www.educaplus.org/>; páginas como <https://viewspace.org/interactives/>, líneas de tiempo para conocer el contexto histórico, canales de Youtube como Date un voltio y Quantum Fracture, y por último aplicaciones gratuitas como Quantum. Además de las herramientas tecnológicas

específicas para física cuántica podemos encontrar plataformas que nos permitan interactuar de forma colectiva como lo son las herramientas de Google, Blogs, Foros, así como para realizar procesos de evaluación a través de equipos colaborativos. Todas estas herramientas pudieron ser manipuladas por el celular, facilitando su implementación dentro de la unidad didáctica. **PFa-CF-54**

5.1.5 Conocimiento Tecnológico del Contenido o de la disciplina

La subcategoría del conocimiento tecnológico del contenido busca que la profesora Annekae identifique y detalle las posibles formas de representar y formular un concepto en particular con recursos físicos como digitales, relacionando el CTPC con el conocimiento de los recursos digitales y físicos con el fin de representar o plantear una idea, a su vez que pueda tomar conciencia tanto de las fortalezas como de las debilidades que posee un recurso digital con la intención de generar nuevo conocimiento o un aprendizaje significativo relacionado con la naturaleza cuántica de la luz.

PREGUNTAS CoRe	ANTES	DURANTE	DESPUÉS
8-¿Cuáles son las formas digitales y no digitales que utiliza con el fin de representar y formular la idea?	PFa-CRi-08 Herramientas de Microsoft Office y de Google Workspace. Libretas para tomar apuntes en físico. Libros. Simuladores. Videos de YouTube. Laboratorios virtuales.	PFa-CRint-20 Herramientas de interpretación de la información, como son simuladores y laboratorios virtuales, el uso de videobeam, celulares, tablero, hojas guía, y demás elementos que permitan un trabajo en equipo y que puedan plasmar las ideas surgidas en este entorno.	PFa-CRf-32 Herramientas de interpretación de la información, como son simuladores y laboratorios virtuales, el uso de videobeam, celulares, tablero, hojas guía, y demás elementos que permitan un trabajo en equipo y que puedan plasmar las ideas surgidas en este entorno, con el fin de poder movilizar el conocimiento referente a los fenómenos cuánticos alrededor de la naturaleza cuántica de la luz. También se encuentran las analogías, por lo que tienen muchos usos al momento de enseñar la física cuántica y cualquier otro tipo de área, ya que nos ayudan a llevar a un plano más familiar para los estudiantes

			extrapolando un fenómeno cualquiera que sea y transformándolo en algo que se puedan imaginar o referenciar, aunque se debe tener mucho cuidado con las mismas debido a que una mala interpretación del docente o del estudiante puede llevar a errores al momento de tratar de entender los fenómenos.
9-¿Cuáles son las herramientas digitales (ej., animaciones, simuladores, laboratorios virtuales, entre otros) más convenientes que utiliza para representar la idea en consideración, y en qué criterios se apoya esta intención de diseño?	PFa-CRI-09 Canales de YouTube como los de Date un Voltio y Quantum Fracture porque considero permiten a los estudiantes entender mejor sobre el contexto histórico cuando pueden escuchar a divulgadores que transmiten esa pasión por la ciencia y al mismo utilizan las mejores ilustraciones para facilitar la comprensión de las ideas. Simuladores como Phet.Colorado y Vascak.cz porque permiten al estudiante interactuar y experimentar en tiempo real situaciones diferentes con distintas condiciones las veces que sea necesario.	PFa-CRint-21 Canales de YouTube como los de Date un Voltio y Quantum Fracture porque considero permiten a los estudiantes entender mejor sobre el contexto histórico cuando pueden escuchar a divulgadores que transmiten esa pasión por la ciencia y al mismo utilizan las mejores ilustraciones para facilitar la comprensión de las ideas. Simuladores como Phet.Colorado y Vascak.cz porque permiten al estudiante interactuar y experimentar en tiempo real situaciones diferentes con distintas condiciones las veces que sea necesario, por ejemplo el enseñar sobre el espectro electromagnético: *Simuladores como: https://viewspace.org/interactives/unveiling_invisible_universe/forms_of_light/electromagnetic_spectrum porque le permiten al estudiante navegar a través del espectro electromagnético para visualizar las diferentes aplicaciones de este dependiendo de la longitud de onda *Videos como: https://www.youtube.com/watch?v=oKFdHCOIfp4&ab_channel=QU%C3%8DMICAGENERAL que le permiten al estudiante	PFa-CRf-33 Los simuladores ayudan a los docentes a constituir un proceso por el cual pueden ayudar la formación de conceptos y construcción de conocimientos, no solamente eso, sino que pueden acercar al estudiante al contexto científico sin necesidad de estar en un laboratorio de física y sin la cantidad de riesgos que esto conlleva, desarrollando su aprendizaje sin tantas limitaciones físicas, el simulador también puede ayudar a general modelos mentales en los alumnos permitiendo una mejor asociación de los conceptos. (tomado de https://www.udgvirtual.udg.mx/apertura/index.php/apertura/article/view/22/32), las prácticas experimentales ayudan a una mejor explicación y relación del estudiante con los diferentes conceptos, ayudando a que puedan de diferentes maneras

		tener más claridad sobre el tema de una forma entretenida. Un ejemplo interesante es el uso de las herramientas tecnológicas fueron las que usó el profesor Negret en su curso de física cuántica, siendo analizado en una de las sesiones con el profesor.	tratar de explicar los fenómenos cuánticos, esto debido a que las prácticas experimentales se plantean con situaciones, problemas en donde los alumnos tendrán el espacio para reflexionar sobre lo que se está haciendo y con qué fin se hace, por lo general las prácticas de física cuántica casi no necesitan instrumento haciendo que sea de fácil acceso en la escuela. (http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-38142018000200147) Como muchos instrumentos TIC usados en la unidad didáctica, los cuales fueron exitosos en la generación de la motivación y aprendizaje.

Tabla No 11: Repuestas de las preguntas No 8 y No 9 antes, durante y después del proceso de formación: Annekae. Fuente: autor

5.1.5.1 Inicio del proceso formativo

En los encuentros previos a la fase de formación, la profesora Annekae relaciona los instrumentos para poder interpretar la información referente a los fenómenos cuánticos a través de las herramientas tecnológicas, como simuladores y videos entre otros:

Herramientas de Microsoft Office y de Google Workspace. Libretas para tomar apuntes en físico. Libros. Simuladores. Videos de YouTube. Laboratorios virtuales.
PFa-CRi-08

Ella menciona que estos elementos le han permitido aprender una serie de conceptos de los anteriores cursos de física, lo que muchas veces no ocurrió con algunos profesores que tuvo en su formación como licenciada, además varios videos le generaron motivación por el aprendizaje de la física, por ende estos recursos deberían tenerse en cuenta para una futura propuesta pedagógica, y más para la enseñanza de la física cuántica:

En muchas ocasiones, cuando terminada una clase de física no le entendía al profesor, por eso me tocaba buscar videos y simuladores que me permitieran comprender mejor estos temas, por eso estas tecnologías son un apoyo muy grande para los estudiantes, ya que movilizan el conocimiento, y más aún para enseñar temas tan complejos como la física cuántica, siendo difícil para muchos estudiantes por la complejidad matemática. ***PFa-PPe-55***

Destacando los aportes de estos elementos como mediadores del conocimiento, sin tener en cuenta la relación del estudiante con el docente, dada su experiencia y la autonomía adquirida en el transcurso de su formación por la necesidad de aprender los temas en otros espacios a parte de las sesiones de clases. No refiere a elementos físicos para una futura propuesta educativa enfocada en la enseñanza de la física cuántica, dejando solo a los elementos tecnológicos para su respectiva representación.

Canales de YouTube como los de Date un Voltio y Quantum Fracture porque considero permiten a los estudiantes entender mejor sobre el contexto histórico cuando pueden escuchar a divulgadores que transmiten esa pasión por la ciencia y al mismo utilizan las mejores ilustraciones para facilitar la comprensión de las ideas. Simuladores como Phet.Colorado y Vascak.cz porque permiten al estudiante interactuar y experimentar en tiempo real situaciones diferentes con distintas condiciones las veces que sea necesario. ***PFa-CRi-09***

Mostrando conocimiento de varios canales de divulgación científica, como simuladores trabajados en diferentes sesiones de clase de ciencias. Siendo un aporte significativo para futuras propuestas educativas en pro de la enseñanza de la física, en este caso la naturaleza cuántica de la luz.

5.1.5.2 Desarrollo del proceso formativo

Para este momento durante el proceso de formación, se logra evidenciar la apropiación de Annekae frente a la clasificación de las topologías de las herramientas cognitivas, para el caso de los simuladores y laboratorios virtuales, relacionándolas con la importancia de actividad experimental para la enseñanza de la física cuántica:

Herramientas de interpretación de la información, como son simuladores y laboratorios virtuales, el uso de videobeam, celulares, tablero, hojas guía, y demás elementos que permitan un trabajo en equipo y que puedan plasmar las ideas surgidas en este entorno. ***PFa-CRint-20***

También se puede evidenciar que tiene en cuenta elementos físicos los cuales apoyarían el trabajo en equipo, debiéndose posiblemente al trabajo realizado con su compañera Jazmín, en el inicio de la elaboración de la propuesta didáctica. Igualmente en

esta fase logra particularizar algunos elementos tecnológicos para el aprendizaje de fenómenos cuánticos, en este caso, el espectro electromagnético, buscando que puedan representar de mejor forma los modelos científicos que ahí subyacen:

Canales de YouTube como los de Date un Voltio y Quantum Fracture porque considero permiten a los estudiantes entender mejor sobre el contexto histórico cuando pueden escuchar a divulgadores que transmiten esa pasión por la ciencia y al mismo utilizan las mejores ilustraciones para facilitar la comprensión de las ideas. Simuladores como Phet.Colorado y Vascak.cz porque permiten al estudiante interactuar y experimentar en tiempo real situaciones diferentes con distintas condiciones las veces que sea necesario, por ejemplo el enseñar sobre el espectro electromagnético: **Simuladores como* https://viewspace.org/interactives/unveiling_invisible_universe/forms_of_light/electromagnetic_spectrum porque le permiten al estudiante navegar a través del espectro electromagnético para visualizar las diferentes aplicaciones de este dependiendo de la longitud de onda **Videos como:* https://www.youtube.com/watch?v=oKFdHCOIfp4&ab_channel=QU%C3%8DMICA GENERAL que le permiten al estudiante tener más claridad sobre los ejes temáticos de una forma entretenida. Un ejemplo interesante es el uso de las herramientas tecnológicas fueron las que usó el profesor Negret en su curso de física cuántica, siendo analizado en una de las sesiones con el profesor. ***PFa-CRint-21***

Reiterando su conocimiento de los diferentes canales e instrumentos tecnológicos de divulgación científica, pudiendo aportar a la motivación por el aprendizaje de parte de los estudiantes de colegio, dando la posibilidad de acceder a ellas en los tiempos que consideren los participantes, retroalimentando lo trabajado en las sesiones de formación. A su vez la profesora menciona el ejemplo guía del curso de física cuántica del profesor Juan Pablo Negret, mencionado en una de las sesiones de formación enfocadas en las TIC como herramientas cognitivas. Reforzando la importancia de presentar experiencias significativas en el proceso de formación propuesto en esta investigación.

5.1.5.3 Final del proceso formativo

En la fase final de formación, se logra evidenciar el desarrollo del CTPC de la profesora Annekae frente a la identificación de las diversas formas de representar y formular la naturaleza cuántica de la luz usando recursos físicos como digitales, en pro de un aprendizaje significativo de los fenómenos cuánticos trabajados en el salón de clases, a partir la relación que hace de estos elementos con las herramientas tecnológicas y físicas como movilizadoras del conocimiento, aportando el trabajo en equipo, señalando la importancia del uso de analogías con el objetivo de enseñar dichos fenómenos siendo poco

intuitivos para el público no especializado, subrayando el cuidado que se debe tener en su uso para no generar un resultado contrario al entendimiento de estos fenómenos naturales:

Herramientas de interpretación de la información, como son simuladores y laboratorios virtuales, el uso de videobeam, celulares, tablero, hojas guía, y demás elementos que permitan un trabajo en equipo y que puedan plasmar las ideas surgidas en este entorno, con el fin de poder movilizar el conocimiento referente a los fenómenos cuánticos alrededor de la naturaleza cuántica de la luz. También se encuentran las analogías, por lo que tienen muchos usos al momento de enseñar la física cuántica y cualquier otro tipo de área, ya que nos ayudan a llevar a un plano más familiar para los estudiantes extrapolando un fenómeno cualquiera que sea y transformándolo en algo que se puedan imaginar o referenciar, aunque se debe tener mucho cuidado con las mismas debido a que una mala interpretación del docente o del estudiante puede llevar a errores al momento de tratar de entender los fenómenos.

PFa-CRf-32

A la par Annekae resalta la importancia de los simuladores y laboratorios virtuales, por sus bondades aportando a la experimentación alrededor del contenido a enseñar, lo que no se podría hacer en un entorno tradicional de tablero y marcador, presentándose en la respuesta de la pregunta No 9 de la CoRe desarrollada al final del proceso de formación:

PFa-CRf-33.

Paralelamente se revela la comprensión del concepto de las TIC como herramientas cognitivas, a apartándose de la idea inicial de la movilización del conocimiento por parte de estas herramientas:

... es importante entender que las herramientas cognitivas son herramientas no inteligentes. De modo que, la generación de conocimiento recae sobre el aprendiz; es decir, es una responsabilidad del estudiante, no del computador, los aprendizajes que se producen dentro y fuera del área. Por tanto, estas TIC son relevantes, ya que buscan nuevas alternativas para promover habilidades como el pensamiento crítico desde un aprendizaje autónomo colaborativo. Por consiguiente, se hace énfasis en las TIC como herramientas cognitivas, dado que “son el fundamento de la construcción de conocimiento con la tecnología, en la medida que se genera un aprendizaje más significativo que si se reprodujera lo que un profesor transmite, empoderando así al estudiante para asumir su propio conocimiento” (Aparicio, 2018).

PFa-UD-56

Estas apreciaciones se generaron luego de la implementación de la unidad didáctica, por ende la profesora Annekae pudo vivenciar las ventajas que tienen estos elementos físicos y tecnológicos aportando a la representación de los diversos fenómenos cuánticos desde un enfoque fenomenológico, siendo poco intuitivos pero apoyados con dichos elementos, se pueden familiarizar en un contexto social no especializado (diferente a los científicos conocedores de la física cuántica), tal y como fue el objetivo de la presente pesquisa.

5.1.6 Conocimiento de las estrategias para la enseñanza de la ciencia

Esta subcategoría se enfoca en la serie de técnicas, modelos y estrategias de enseñanza utilizados por la profesora Annekae con el objetivo de generar el aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz, posibilitando la toma de decisiones referente a las formas en que se podrían estructurar las clases, igualmente le permite seleccionar los elementos pertinentes apoyados o no por las TIC orientados a la construcción de un instrumento de enseñanza.

PREGUN TAS CoRe	ANTES	DURANTE	DESPUÉS
10- ¿Cuáles procedimientos de enseñanza emplea y las razones particulares de su uso para enseñar esta idea?	<i>PFa-CRi-10</i> Comprender el contexto histórico, ilustrar las problemáticas, relacionarlo con nuestra vida cotidiana, conocer a los grandes personajes que participaron durante ése tiempo, a la par conocer los elementos matemáticos básicos que permiten describir los temas relacionados con la física cuántica. Ilustrar mediante simuladores los temas para facilitar la comprensión de la física cuántica.	<i>PFa-CRint-22</i> El aprendizaje basado en problemas puede ser de mucha utilidad en la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz porque da lugar a la adquisición de conocimientos y habilidades como el desarrollo del pensamiento crítico, debido a que el ABP busca resolver un problema de la vida real por medio de la elaboración de proyectos, en los cuales se beneficia no solo los conocimientos, sino que también ayuda a mejorar la comunicación oral y escrita y la resolución de problemas. También la modelización como estrategia didáctica proporciona muchos beneficios en la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz gracias a que el uso de representación a través de modelos científicos permitirán simular el trabajo del científico en el salón de clases, permitiendo a los estudiantes a ser partícipes principales en el desarrollo de nuevas ideas relacionadas con estos fenómenos cuánticos.	<i>PFa-CRf-34</i> La modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias nos proporciona grandes ventajas para familiarizar a los estudiantes con la naturaleza cuántica de la luz gracias a las representaciones que se construyen a través de modelos científicos y mentales permitiendo que participantes sean actores principales de la construcción del conocimiento, simulando el trabajo de científicos, por ejemplo cuando se enseña el espectro electromagnético, la catástrofe ultravioleta: comprendiendo el contexto histórico, ilustrar las problemáticas, relacionarlo con nuestra vida cotidiana, conocer a los grandes personajes que participaron durante ése tiempo, también con el fenómeno natural que representa la dualidad onda-partícula, mediante simuladores

			entre otros.
11- ¿Cuáles actividades de aprendizaje mediadas o no por las tecnologías digitales, usa con el fin de ayudar a los estudiantes a superar sus dificultades y concepciones alternativas?	<i>PFa-CRi-11</i> Realizar preguntas orientadoras, participación en foros, demostración de experimentos, creación de contenido educativo a través de diapositivas o texto relacionados con los temas de la física cuántica.	<i>PFa-CRint-23</i> Realización preguntas orientadoras con el objetivo que los estudiantes puedan motivarse en la consulta, análisis y apropiación de algunos fenómenos cuánticos, la demostración de algunos fenómenos cuánticos a través de simuladores permitiendo observar a través de estas representaciones diferentes ilustración de modelos científicos, socialización de respuestas elaboradas por equipos cooperativos, usos y creación de contenido educativo como guías o videos que puedan potenciar el aprendizaje.	<i>PFa-CRf-35</i> Las exposiciones en grupos son una actividad bastante valiosa, debido a que en una exposición se tiene que indagar sobre el tema de elección, de tal manera que para poder hacer una exposición bien se tiene que estudiar bien el tema para poder explicarlo, al estudiar para poder explicar surgen más dudas sobre el tema haciendo que tenga que investigar más, creando así una especie de círculo vicioso de la búsqueda para el aprendizaje, la utilización de hipertextos con el fin de que puedan tener la información a la mano pudiendo acceder de forma inmediata, apoyando la retroalimentación de los ejes temáticos vistos, también el uso de simuladores, de encuestas en línea son actividades didácticas para los estudiantes, aparte de estimular el interés, también crea un espacio en el cual el estudiante se apoye en diferentes medios todo lo que tiene para poder comprender de una manera más dinámica y explicativa.

Tabla No 12: Repuestas de las preguntas No 10 y No 11 antes, durante y después del proceso de formación: Annekae. Fuente: autor

5.1.6.1 Inicio del proceso formativo

En cuanto a la subcategoría de las estrategias para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz, la profesora Annekae previo al proceso de formación manifiesta a través de la CoRe enfatizar la historia de los científicos que participaron en el descubrimiento de la física cuántica, pudiendo contextualizar las problemáticas que se generaron en ese momento enfocadas con este campo de la física, abordándolo con elementos básicos matemáticos trabajados en lo que constantemente llamaba para ese momento “temas importantes que deberían trabajarse de la mecánica cuántica”:

Comprender el contexto histórico, ilustrar las problemáticas, relacionarlo con nuestra vida cotidiana, conocer a los grandes personajes que participaron durante ése tiempo, a la par conocer los elementos matemáticos básicos que permiten describir los temas relacionados con la física cuántica. Ilustrar mediante simuladores los temas para facilitar la comprensión de la física cuántica. ***PFa-CRi-10***

Para ello presenta una serie de apoyos con herramientas tecnológicas para esas problemáticas manifestadas, entre ellos los simuladores que facilitarían la comprensión de estos temas, la realización de preguntas orientadoras a través de foros en línea, la creación de diferentes contenidos educativos entre otros:

Realizar preguntas orientadoras, participación en foros, demostración de experimentos, creación de contenido educativo a través de diapositivas o texto relacionados con los temas de la física cuántica. ***PFa-CRi-11***

Se puede evidenciar la ausencia en el reconocimiento de los saberes previos de los estudiantes, los cuales podrían ser una base fundamental para el aprendizaje de los fenómenos cuánticos que se propondrían relacionados con la naturaleza cuántica de la luz, al igual que no hacer explícito elementos pedagógicos que podrían potenciar este aprendizaje, enfocándose en una visión instrumental de las estrategias para la enseñanza (Magnusson et al., 1999)

5.1.6.2 Desarrollo del proceso formativo

Para este momento Annekae identifica una serie de estrategias pedagógicas que podrían potenciar la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz, entre ellos se encuentran los aprendizajes activos como es el caso del aprendizaje basado en problemas como una posible estrategia para desarrollar el aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz por parte de los estudiantes, potenciando diversas habilidades necesarias para ello:

El aprendizaje basado en problemas puede ser de mucha utilidad en la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz porque da lugar a la adquisición de conocimientos y habilidades como el desarrollo del pensamiento crítico, debido a que el ABP busca resolver un problema de la vida real por medio de la elaboración de proyectos, en los cuales sé benéfica no solo los conocimientos, sino que también ayuda a mejorar la comunicación oral y escrita y la resolución de problemas. También la modelización como estrategia didáctica proporciona muchos beneficios en la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz gracias a que el uso de representación a través de modelos científicos permitirán simular el trabajo del científico en el salón de clases, permitiendo a los estudiantes a ser partícipes principales en el desarrollo de nuevas ideas relacionadas con estos fenómenos cuánticos. **PFa-CRint-22**

De la misma forma, refiere como estrategia para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz a la modelización permitiendo la representación de los diferentes fenómenos naturales por medio de modelos científicos y mentales generados en el salón de clases:

La modelización es una de las mejores estrategias que tenemos a nuestro alcance para enseñar, ya que, los modelos son facilitadores para la comprensión del mundo “real”. En clases podemos enseñar ciencia mediante modelos para que los estudiantes puedan comprender mejor situaciones en las que no podamos acceder directamente a los objetos de estudio, tal y como se ve en la física cuántica. **PFa-CD-57**

Relaciona estas estrategias con una serie de herramientas tecnológicas como es el caso (nuevamente) de los simuladores, buscando la representación de varios de estos fenómenos cuánticos, permitiendo la ilustración de los diversos modelos científicos de dichos fenómenos naturales; resalta el trabajo en equipo mediante la elaboración y socialización de preguntas enfocadas en estas problemáticas, así como el uso de videos o guías orientadoras:

Realización preguntas orientadoras con el objetivo que los estudiantes puedan motivarse en la consulta, análisis y apropiación de algunos fenómenos cuánticos, la demostración de algunos fenómenos cuánticos a través de simuladores permitiendo observar a través de estas representaciones diferentes ilustración de modelos científicos, socialización de respuestas elaboradas por equipos cooperativos, usos y creación de contenido educativo como guías o videos que puedan potenciar el aprendizaje. **PFa-CRint-23**

Para este momento, la profesora Annekae integra en su discurso una serie de conceptos trabajados durante la fase de formación, permitiéndole tener una visión de estrategias pedagógicas como es la modelización, con el fin de poder enseñar el contenido propuesto a través de la unidad didáctica propuesta.

5.1.6.3 Final del proceso formativo

Al finalizar la fase de formación, Annekae explicita su visión de la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz detallando sus ventajas y la relación con el contenido enseñado (ejemplificando algunos fenómenos cuánticos), mostrando un avance significativo en relación con la propuesta anterior, en la que los modelos fueron elaborados como estrategias que permitieron contrastar y recrear saberes:

La modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias nos proporciona grandes ventajas para familiarizar a los estudiantes con la naturaleza cuántica de la luz gracias a las representaciones que se construyen a través de modelos científicos y mentales permitiendo que participantes sean actores principales de la construcción del conocimiento, simulando el trabajo de científicos, por ejemplo cuando se enseña el espectro electromagnético, la catástrofe ultravioleta: comprendiendo el contexto histórico, ilustrar las problemáticas, relacionarlo con nuestra vida cotidiana, conocer a los grandes personajes que participaron durante ése tiempo, también con el fenómeno natural que representa la dualidad onda-partícula, mediante simuladores entre otros. **PFa-CRf-34**

Considero que la modelización es una de las mejores estrategias de enseñanza para generar procesos de aprendizaje, puesto que los modelos le permiten al estudiante comprender mejor algunos conceptos o procesos, además son muchos los beneficios de los modelos, por ejemplo, permiten visualizar desde múltiples perspectivas fenómenos, también descubrir causas y efectos mediante modelos usados para describir comportamientos o fenómenos abstractos como en la física cuántica **PFa-CF-58**

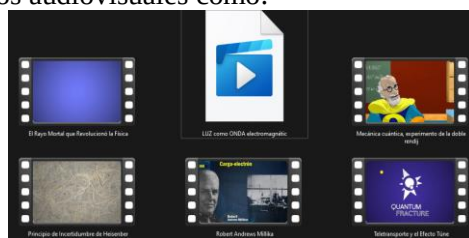
Para esta fase, la profesora en formación revela una integración de actividades de modelización a las actividades experimentales mediante las diferentes tipologías de las TIC como herramientas cognitivas, permitiendo representar la interacción entre los fenómenos cuánticos y los elementos teóricos abordados en la implementación de la unidad didáctica, rescatando la importancia del trabajo en equipo como potenciador de procesos de retroalimentación a través de la reflexión entre pares:

Las exposiciones en grupos son una actividad bastante valiosa, debido a que en una exposición se tiene que indagar sobre el tema de elección, de tal manera que para poder hacer una exposición bien se tiene que estudiar bien el tema para poder explicarlo, al estudiar para poder explicar surgen más dudas sobre el tema haciendo que tenga que investigar más, creando así una especie de círculo vicioso de la búsqueda para el aprendizaje, la utilización de hipertextos con el fin de que puedan tener la información a la mano pudiendo acceder de forma inmediata, apoyando la retroalimentación de los ejes temáticos vistos, también el uso de simuladores, de encuestas en línea son actividades didácticas para los estudiantes, aparte de estimular el interés, también crea un espacio en el cual el estudiante se apoye en diferentes medios

todo lo que tiene para poder comprender de una manera más dinámica y explicativa.
PFa-CRf-35

La fase de formación y la implementación de la unidad didáctica permitieron que la profesora Annekae desarrollara los conocimientos relacionados con el CTPC de las estrategias para la enseñanza, pudiendo detallar y explicitar lo mencionado anteriormente por parte de ella, así como en detalle el cómo abordaban estas estrategias en el planteamiento de la unidad didáctica llevada al aula a través de los diferentes medios digitales educativos:

“En primer lugar consideramos que los elementos a tener en cuenta debían estar integrados de manera estratégica en diferentes actividades a lo largo de las clases. La idea es que las TIC nos ayudaran a sustituir aquellas prácticas que no producen cambios o aprendizajes significativos en el estudiante. Por otro lado, tuvimos en cuenta la importancia de aplicar herramientas tecnológicas que agreguen valor a cada una de las sesiones, esto puede hacerse de forma didáctica, colaborativa, o con el fin de gestionar mejor la información, entre otras. Ahora bien, si hablamos de transformación, las TIC deben actuar como herramientas innovadoras que hicieran que los estudiantes se conectaran de mejor manera con la unidad didáctica, crearan nuevos contenidos y compartieran lo aprendido a sus compañeros. Entre los elementos tecnológicos que utilizamos se encuentran los siguientes: https://viewspace.org/interactives/unveiling_invisible_universe/forms_of_light/electromagnetic_spectrum. El simulador les permite a los estudiantes navegar por el espectro electromagnético y al mismo tiempo visualizar cómo interactúa éste en la vida cotidiana, ya que las ondas electromagnéticas están presentes en una amplia gama de aplicaciones. <https://www.timetoast.com/timelines/linea-de-tiempo-cientificos-naturaleza-de-la-luz>. En este caso, los estudiantes con ayuda de las docentes ven varios eventos históricos relacionados con la naturaleza cuántica de la luz mediante una línea de tiempo interactiva. Simuladores como: <https://phet.colorado.edu/es/>, <https://www.educaplus.org/games/fisica> y <https://www.vacak.cz/physicsanimations.php?l=es>. En dichos simuladores, los estudiantes pueden explorar diversos fenómenos de la física cuántica de forma interactiva y segura, además, son muy útiles a la hora de promover y/o crear entornos de aprendizaje para la transferencia de conocimientos y resolución de problemas. Recursos audiovisuales como:



Aquí los estudiantes pueden ver de forma motivadora fenómenos de la física cuántica y al mismo tiempo potenciar la creatividad y la atención teniendo como resultado aprendizajes significativos”. **PFa-PPe-59**

5.1.7 Conocimiento sobre la evaluación en la enseñanza de las ciencias

Finalmente en esta subcategoría se busca que la profesora Annekae proponga tipos de evaluación formativa enfocadas en la familiarización de la naturaleza cuántica de la luz por parte de los estudiantes. Esta subcategoría permite relacionar el CTPC de la profesora en formación con el conocimiento de la evaluación del aprendizaje de dicho contenido aportando a los procesos de alfabetización científica.

PREGUNTAS CoRe	ANTES	DURANTE	DESPUÉS
12-¿Qué formas específicas de evaluación del entendimiento o de la confusión de los alumnos emplea alrededor de esta idea?	<i>PFa-CRi-12</i> Plantear preguntas claves, generando espacios en donde los estudiantes puedan compartir sus diferentes puntos de vista de algunas situaciones de la mecánica cuántica, también simular diversas situaciones en donde los estudiantes puedan generar diferentes soluciones de varios temas de la física cuántica usando matemáticas simples para ello, mediante cuestionarios dinámicos en plataformas como Kahoot, entre otras.	<i>PFa-CRint-24</i> Plantear preguntas que sean claves para poder comprender los modelos que podrían representar algunos fenómenos cuánticos de parte de los estudiantes, generando espacios en donde los estudiantes puedan compartir sus diferentes puntos de vista, procurando analizar sus modelos mentales en la medida de lo posible, plantear situaciones en donde los estudiantes puedan generar diferentes soluciones a través de modelos científicos, usando cuestionarios dinámicos en plataformas como Kahoot, entre otras, propiciando el trabajo en equipo.	<i>PFa-CRf-36</i> Las exposiciones a través de trabajo en equipo son una actividad de valoración bastante valiosa, debido a que en una exposición se tiene que indagar sobre el eje temático relacionado con los fenómenos cuánticos a elección, de tal manera que para poder hacer una buena exposición el estudiante debe familiarizarse con estos fenómenos naturales tan poco intuitivos. También es importante realizar un cuestionario relacionado con el contenido buscando tener una comparación de los posibles conocimientos de los estudiantes antes y después de aplicar la unidad didáctica que realizamos e implementamos en el salón de clases. Para ello herramientas como el Kahoot, los foros de google entre otros permite realizarlos en línea y en equipos buscando la discusión entre ellos mismos, retroalimentando sus percepciones de la naturaleza cuántica de la luz. Por lo que la evaluación es un

			proceso continuo que se da desde el primer acercamiento con los estudiantes, en el discurso usado se puede detectar muchos factores para ello, aportando a la rúbrica de evaluación.

Tabla No 13: Respuestas de la pregunta No 12 antes, durante y después del proceso de formación: Annekae. Fuente: autor

5.1.7.1 Inicio del proceso formativo

Desde la perspectiva de Magnusson et al. (1999), en la subcategoría de evaluación se analiza el conocimiento de las dimensiones del aprendizaje de las ciencias que es importante evaluar y el conocimiento de los métodos por los cuales se puede evaluar el aprendizaje. En cuanto a ello, la profesora en formación Annekae muestra que la evaluación se desarrolla a través de actividades como son los cuestionarios en los cuales se comparten los diferentes puntos de vista, la resolución de algunas situaciones de la física cuántica usando elementos matemáticos “simples”, usando algunos recursos tecnológicos que facilitan este proceso, materializando la evaluación en diferentes actividades propias de la actividad desarrollada en clase:

Plantear preguntas claves, generando espacios en donde los estudiantes puedan compartir sus diferentes puntos de vista de algunas situaciones de la mecánica cuántica, también simular diversas situaciones en donde los estudiantes puedan generar diferentes soluciones de varios temas de la física cuántica usando matemáticas simples para ello, mediante cuestionarios dinámicos en plataformas como Kahoot, entre otras.
PFa-CRi-12

Desde esta perspectiva se relaciona a la evaluación a través de la enseñanza por transmisión de contenido, en el que lo importante es evaluar si los temas se logran transmitir en el salón de clases, midiendo el aprendizaje de los estudiantes mediante la acumulación de resultados parciales enlazados con el grado de adquisición de una serie de propósitos evaluados en cada prueba o actividad, por ende, la evaluación se considera externa. Lo cual se relaciona con la visión inicial de la profesora Annekae.

5.1.7.2 Desarrollo del proceso formativo

Durante el proceso de formación, Annekae comienza a relacionar los procesos de aprendizaje de los estudiantes mediante la elaboración de modelos mentales permitiendo la representación de los diferentes fenómenos cuánticos enfocados en la naturaleza cuántica de la luz. Igualmente, reconoce diferentes actividades para la evaluación fomentando el trabajo en equipo, usando algunos elementos tecnológicos:

Plantear preguntas que sean claves para poder comprender los modelos que podrían representar algunos fenómenos cuánticos de parte de los estudiantes, generando espacios en donde los estudiantes puedan compartir sus diferentes puntos de vista, procurando analizar sus modelos mentales en la medida de lo posible, plantear situaciones en donde los estudiantes puedan generar diferentes soluciones a través de modelos científicos, usando cuestionarios dinámicos en plataformas como Kahoot, entre otras, propiciando el trabajo en equipo. **PFa-CRint-24**

Para esta fase, no menciona las actividades mediante la representación del lenguaje matemático de los fenómenos cuánticos que se trabajarían en la unidad didáctica que para ese momento se iba a proponer, pero se sigue visualizando la actividad de evaluación de forma aislada mediante diferentes tareas y recursos, manteniendo parte de la visión de la enseñanza por transmisión:

Para mi es importante pensar en una serie de actividades que puedan ser evaluadas en algunos momentos de los encuentros con los estudiantes, de esta forma se podría hacer seguimiento de cada valoración y así, de forma sumativa, evidenciar si hubo o no aprendizaje por parte de ellos, teniendo en cuenta los modelos que ellos plantean buscando representar los diversos fenómenos de la naturaleza cuántica de la luz. **PFa-PPe-60**

5.1.7.3 Final del proceso formativo

Al contrastar lo mencionado por la profesora Annekae durante las tres fases del proceso de formación, se evidencia que al final del proceso la docente presenta un mayor derrotero de actividades evaluativas y pone mayor énfasis en otras dimensiones del proceso evaluativo, que se generan desde el primer momento en el que existe el encuentro del profesor con el estudiante. Paralelamente Annekae centra la formación en la elaboración de modelos por parte de los estudiantes, permitiendo que la modelización como estrategia de enseñanza incluyera una serie de actividades experimentales que procuraban el acercamiento a los fenómenos naturales de la naturaleza cuántica de la luz:

Las exposiciones a través de trabajo en equipo son una actividad de valoración bastante valiosa, debido a que en una exposición se tiene que indagar sobre el eje temático relacionado con los fenómenos cuánticos a elección, de tal manera que para

poder hacer una buena exposición el estudiante debe familiarizarse con estos fenómenos naturales tan poco intuitivos. También es importante realizar un cuestionario relacionado con el contenido buscando tener una comparación de los posibles conocimientos de los estudiantes antes y después de aplicar la unidad didáctica que realizamos e implementamos en el salón de clases. Para ello herramientas como el Kahhot, los foros de google entre otros permite realizarlos en línea y en equipos buscando la discusión entre ellos mismos, retroalimentando sus percepciones de la naturaleza cuántica de la luz. Por lo que la evaluación es un proceso continuo que se da desde el primer acercamiento con los estudiantes, en el discurso usado se puede detectar muchos factores para ello, aportando a la rúbrica de evaluación. **PFa-CRf-36**

Permitiendo nuevas dimensiones del conocimiento a evaluar, como es la toma de datos, la presentación de informes, el continuo trabajo en equipo, entre otras. Esto se logra evidenciar en la propuesta de la unidad didáctica siendo implementada con estos elementos evaluativos:

Para la elaboración e implementación de la rúbrica de evaluación tuvimos en cuenta los siguientes elementos: Comprensión de los fenómenos de la física cuántica, Interacción efectiva con trabajo colaborativo, Identificación y relación de la naturaleza cuántica de la luz con su entorno diario, Planteamiento de modelos científicos a partir de un análisis crítico, Propuesta y exposición sobre las diferentes ventajas del conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz. Además, se evaluó la propuesta de la unidad didáctica mediante un cuestionario realizado antes y después de la aplicación de la unidad didáctica, siendo un instrumento de contraste frente a los conocimientos adquiridos por lo estudiantes en cada momento. **PFa-PPe-61**

Pudiendo detallar con algunos fenómenos cuánticos el seguimiento realizado al aprendizaje de los estudiantes, procurando relacionar con elementos del día a día, generando la motivación y la necesidad por el aprendizaje de estos contenidos, con el aporte de los medios educativos digitales potenciando su aprendizaje:

...especialmente por la relación de lo aprendido con elementos de la vida real. Por ejemplo, las estudiantes identificaron y compararon algunas de las características del espectro electromagnético, tales como la longitud de onda y la frecuencia. Al mismo tiempo, identificaron algunas de sus aplicaciones en la vida cotidiana y esto se pudo ver reflejado en las actividades grupales. Esto permitió comprender la visión clásica de la luz para posteriormente abordar su naturaleza cuántica. Por otro lado, los experimentos prácticos realizados en las diferentes sesiones lograron que los estudiantes se conectaran de mejor manera con los ejes temáticos propuestos en la unidad didáctica. Todo esto a través de la construcción de hipótesis, el uso de simuladores y de modelos explicativos. **PFa-PPe-62**

Igualmente se rescata la rúbrica como instrumento de evaluación y la prueba de selección múltiple a través del cuestionario comparativo (anexo 7), el cual permitió contrastar los conocimientos de los estudiantes antes y después de la implementación de la

unidad didáctica, mencionándolo en el análisis de resultados dentro de la tesis de investigación realizada por las profesoras en formación:

...es así que al realizar los respectivos comparativos, se logra evidenciar la mejoría en las respuestas de forma significativa, ubicando sus saberes de acuerdo a la rúbrica propuesta de la competencia de nivel más bajo al más alto, en los ítem que evalúan la comprensión de los fenómenos de la física cuántica y la identificación y relación de cuántico de la luz con su entorno diario. ***PFa-UD-63***

La diversidad de actividades y estrategias que propone Annekae al final del proceso de formación, permitió evidenciar un desarrollo del conocimiento relacionado con los métodos y estrategias de evaluación, logrando identificar el reconocimiento de diferentes dimensiones del aprendizaje a evaluar, a través de actividades que evalúan aspectos importantes del aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz, como es el desarrollo de experiencias prácticas, la construcción de modelos, la capacidad de argumentación, el trabajo en equipo, entre otros aspectos actitudinales como el comportamiento, la responsabilidad, la actitud y voluntad de aprender (Magnusson et al., 1999; Zuluaga, 2017).

5.2 El CTPC de la profesora en formación Jazmín y su desarrollo

5.2.1 Conocimiento de las orientaciones hacia los diferentes métodos para la enseñanza de la ciencia

Esta subcategoría del CTPC está relacionada con los fines que concibe la profesora Jazmín acerca de la importancia de que los estudiantes comprendan un concepto en concreto así como la selección de elementos pertinentes vinculados con las estrategias de enseñanza y aprendizaje, lo cual se logra evidenciar en las respuestas de las preguntas No 2 y No 11 a través de la CoRe implementada antes, durante y después del proceso de formación:

PREGUNTAS CoRe	ANTES	DURANTE	DESPUÉS
2-¿Por qué es importante que los alumnos conozcan esta idea?	PFj-CRi-02 Asimilar de una mejor forma que la física es una ciencia experimental, y no solo teórica como se hace comúnmente. Idea, Motivando a los alumnos a aprender y hacer ciencia a través del aprendizaje de la física cuántica, dado que muchos de los estudiantes de secundaria tienen una concepción de la física como aburrida y poco relevante.	PFj-CRint-14 Contextualizando o el mundo en el que viven a través de la enseñanza de la física cuántica, de forma experimental usando diferentes herramientas tecnológicas, alejándose de las visiones deformadas de ciencia, planteando diferentes modelos científicos y mentales.	PFj-CRf-26 Porque sitúa a los alumnos en una visión histórica y social del estudio de la física y de todos los cambios que conllevo el investigar la naturaleza cuántica de la luz, conociendo a los diferentes científicos que se han dedicado a desarrollar estos fenómenos a través de los diferentes modelos científicos y los distintos aportes que han hecho a los estudios de la física, entendiendo que la ciencia no se realiza solo por individuos si no que es el resultado de un conjunto de personas e ideas, es decir, es una actividad social y cultural. También, porque el estudio de la naturaleza cuántica de la luz les permite entender cómo funcionan diferentes tecnologías que encontramos en nuestra cotidianidad y relacionarlas con los avances de estudio en

			ese campo.
11-¿Cuáles actividades de aprendizaje mediadas o no por las tecnologías digitales, usa con el fin de ayudar a los estudiantes a superar sus dificultades y concepciones alternativas?	PFj-CRi-11 Bitácora: Utilizar este recurso como medio para ayudar a los estudiantes a llevar su propio registro de aprendizaje, la indagación y el aprendizaje activo lo que hace que haya más autonomía en ellos.	PFj-CRint-23 Actividades de indagación sobre conocimientos previos, ya que los estudiantes no vienen desde cero y uno puede utilizar esas cosas que ya saben para introducir o enlazar el nuevo conocimiento. Actividades de modelización, donde los estudiantes puedan explorar y crear representaciones acerca de lo que saben, proponiendo modelos que puedan representar los diversos fenómenos usados en clases. También las actividades de cierre- Estas se dan al final de un video, clase magistral, simulador, etc y se utiliza para resaltar los elementos más importantes y clarificar otros, a través de estos elementos que ayudan al aprendizaje.	PFj-CRf-35 Comparto la idea de mi compañera, al mencionar que “las exposiciones en grupos son una actividad bastante valiosa, debido a que en una exposición se tiene que indagar sobre el tema de elección, de tal manera que para poder hacer una exposición bien se tiene que estudiar bien el tema para poder explicarlo, al estudiar para poder explicar surgen más dudas sobre el tema haciendo que tenga que investigar más, creando así una especie de círculo vicioso de la búsqueda para el aprendizaje. E uso de las herramientas de representación a través de los simuladores, de encuestas en línea son actividades didácticas para los estudiantes, aparte de estimular el interés, también crea un espacio en el cual el estudiante se apoye en diferentes medios todo lo que tiene para poder comprender de una manera más dinámica y explicativa. El trabajo colaborativo, potenciado por los modelos científicos y las herramientas TIC permitieron que los estudiantes pudieran comprender un poco los fenómenos relacionados con la naturaleza cuántica de la luz”.

Tabla No 14: Respuestas de las preguntas No 2 y No 11 de la CoRe, antes, durante y después del proceso de formación: Jazmín. Fuente: autor

5.2.1.1 Inicio del proceso formativo

En cuanto a las finalidades que presenta la profesora en formación Jazmín frente a la importancia de enseñar la naturaleza cuántica de la luz en el grado once, es enfatizar la física como una ciencia experimental generando motivación usando como “pretexto” la física cuántica para mostrar esta visión:

Asimilar de una mejor forma que la física es una ciencia experimental, y no solo teórica como se hace comúnmente. Motivando a los alumnos a aprender y hacer ciencia a través del aprendizaje de la física cuántica, dado que muchos de los estudiantes de secundaria tienen una concepción de la física como aburrida y poco relevante. **PFj-CRi-02**

De esta forma la futura licenciada no explicita los elementos que permitirían la generación del interés y de la necesidad del aprendizaje de este campo de la física, resaltando la motivación del aprendizaje de esta ciencia a través de su experimentación.

En cuanto a las estrategias para desarrollar esta visión de la física como actividad experimental, alude a la bitácora como recurso educativo el cual aporta al seguimiento de forma autónoma del aprendizaje de los estudiantes, generando (lo que ella menciona) la habilidad de la indagación y de un aprendizaje activo dada la autonomía en dicho rastreo:

Bitácora: Utilizar este recurso como medio para ayudar a los estudiantes a llevar su propio registro de aprendizaje, la indagación y el aprendizaje activo lo que hace que haya más autonomía en ellos. **PFj-CRi-11**

Por ende no se logra visualizar una apropiación de estrategias didácticas que permitirían desarrollar la idea de presentar la física como una actividad experimental enfocada en los fenómenos de la física cuántica, infiriendo una imagen de física transmisible, tradicional y conductista en la cual se prima la transmisión de los conceptos, con una idea poco definida de los elementos para poder desarrollarla.

5.2.1.2 Desarrollo del proceso formativo

Para este momento del proceso de formación, la profesora Jazmín relaciona la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz con la necesidad del conocimiento del contexto social de los estudiantes, enfatizando este campo del saber con la actividad experimental apoyándose en los elementos tecnológicos, explicitando diferentes

problemáticas trabajadas en las diferentes sesiones de formación: las visiones deformadas de ciencia, los modelos científicos y mentales desarrollados en la modelización:

Contextualizando el mundo en el que viven a través de la enseñanza de la física cuántica, de forma experimental usando diferentes herramientas tecnológicas, alejándose de las visiones deformadas de ciencia, planteando diferentes modelos científicos y mentales. **PFj-CRint-14**

En este sentido, Jazmín constantemente menciona la importancia de aprender la física cuántica con el conocimiento del contexto social, tecnológico, como una forma fomentar el pensamiento científico, permitiendo que los estudiantes sean más conocedores de su entorno, de los desarrollos tecnológicos que se han dado en los últimos años:

Con la enseñanza de la física cuántica, los estudiantes podrán comprender de mejor forma su contexto social, los avances que se han dado a nivel tecnológico, como es el GPS, el láser y otras aplicaciones que tienen en cuenta varios fenómenos de la física cuántica, propiciando una forma de pensar más acorde al pensamiento científico. **PFj-CD-28**

Concerniente a las actividades que podrían desarrollar la visión que tiene frente a la importancia de enseñar la naturaleza cuántica de la luz, Jazmín tiene en cuenta una serie de factores que no estaban presentes en los primeros encuentros, como son el tener en cuenta los conocimientos previos de los estudiantes fortaleciendo una visión constructivista de la actividad científica en el aula, la modelización como estrategia didáctica como aporte a la representación de los fenómenos naturales, incluyendo una serie de instrumentos tecnológicos que podrían aportar a la adquisición del conocimiento dado su dinamismo y formas de mostrar los diferentes fenómenos cuánticos:

Actividades de indagación sobre conocimientos previos, ya que los estudiantes no vienen desde cero y uno puede utilizar esas cosas que ya saben para introducir o enlazar el nuevo conocimiento. Actividades de modelización, donde los estudiantes puedan explorar y crear representaciones acerca de lo que saben, proponiendo modelos que puedan representar los diversos fenómenos usados en clases. También las actividades de cierre- Estas se dan al final de un video, clase magistral, simulador, etc y se utiliza para resaltar los elementos más importantes y clarificar otros, a través de estos elementos que ayudan al aprendizaje. **PFj-CRint-23**

Las narrativas anteriores permiten reconocer que la formación de la modelización como estrategia didáctica permitió a la profesora proponer otras dinámicas de trabajo, la profesora Jazmín reconoció que el uso de modelos permite representar los diferentes fenómenos cuánticos, apoyándose en algunas herramientas tecnológicas, aunque para este momento no se visualiza su carácter cognitivo, evidencia algunos de sus aportes, adoptando

nuevos elementos en su práctica y reconocer nuevos propósitos, que en consecuencia, permitiría hablar de un desarrollo en su orientación original referido a esta subcategoría.

5.2.1.3 Final del proceso formativo

Para el final del proceso de formación, la profesora Jazmín reconoce la importancia de enseñar el contexto social e histórico de la naturaleza cuántica de la luz, con el objetivo que los estudiantes comprendan esta ciencia como una actividad humana de trabajo colaborativo, alejándose de las visiones a-históricas, individualista y elitista de las ciencias, paralelamente reitera la importancia del conocimiento de esta idea buscando que el estudiante tenga conocimiento de las bases científicas de las actuales tecnologías, aportando un desarrollo del pensamiento científico con la familiaridad de los diferentes fenómenos cuánticos desarrollados en la unidad didáctica:

Porque sitúa a los alumnos en una visión histórica y social del estudio de la física y de todos los cambios que conllevo el investigar la naturaleza cuántica de la luz, conociendo a los diferentes científicos que se han dedicado a desarrollar estos fenómenos a través de los diferentes modelos científicos y los distintos aportes que han hecho a los estudios de la física, entendiendo que la ciencia no se realiza solo por individuos si no que es el resultado de un conjunto de personas e ideas, es decir, es una actividad social y cultural. También, porque el estudio de la naturaleza cuántica de la luz les permite entender cómo funcionan diferentes tecnologías que encontramos en nuestra cotidianidad y relacionarlas con los avances de estudio en ese campo. **PFj-CRf-26**

Nombra una serie de estrategias que permiten que estas ideas puedan desarrollarse en el salón de clases, acentuando el trabajo colaborativo con todas las bondades que la cooperación y el trabajo en pares genera, el uso de herramientas tecnológicas como potenciadores de la enseñanza de la física cuántica a través de sus diversos mecanismos de representación de fenómenos que no se podrían hacer con elementos tradicionales de enseñanza, integrando estos conceptos trabajados durante el proceso de formación, de forma coherente visualizándose el objetivo de investigación:

Comparto la idea de mi compañera, al mencionar que “las exposiciones en grupos son una actividad bastante valiosa, debido a que en una exposición se tiene que indagar sobre el tema de elección, de tal manera que para poder hacer una exposición bien se tiene que estudiar bien el tema para poder explicarlo, al estudiar para poder explicar surgen más dudas sobre el tema haciendo que tenga que investigar más, creando así una especie de círculo vicioso de la búsqueda para el aprendizaje. El uso de las herramientas de representación a través de los simuladores, de encuestas en línea son actividades didácticas para los estudiantes, aparte de estimular el interés, también crea un espacio en el cual el estudiante se apoye en diferentes medios todo lo que tiene

para poder comprender de una manera más dinámica y explicativa. El trabajo colaborativo, potenciado por los modelos científicos y las herramientas TIC permitieron que los estudiantes pudieran comprender un poco los fenómenos relacionados con la naturaleza cuántica de la luz”. **PFj-CRf-35**

La profesora Jazmín al final del proceso de formación, logra incorporar a su visión inicial los diferentes elementos que aportan a un desarrollo del aprendizaje científico enfocado en la naturaleza cuántica de la luz, haciendo explícito la importancia de su enseñanza y las diversas estrategias que se usaron para poderlo materializar, dado que para ese momento se había realizado la implementación de la unidad didáctica generando una serie de aprendizajes en su papel como profesora de física cuántica desde una visión fenomenológica con estudiantes de grado once, aunque es importante resaltar que una clave fundamental es el presentar a los estudiantes algunos fenómenos naturales que van en contra del sentido común para romper sus concepciones alternativas y hacer preguntas que guían adecuadamente a la respuesta correcta, entre otras.

5.2.2 Conocimientos y creencias acerca del currículo de la ciencia

Esta subcategoría del CTPC está relacionada con la visión que tendría la profesora en formación Jazmín acerca de lo que los estudiantes podrían ser capaces de aprender referente a un contenido o concepto en específico, así como la relación de dicho contenido con otros conceptos que podrían ser significativos para su aprendizaje buscando la selección del contenido pertinente para que sus estudiantes lo aprendan de forma comprensiva y significativa.

PREGUNTAS CoRe	ANTES	DURANTE	DESPUÉS
1-¿Cuál es el propósito de aprendizaje de esta idea?	PFj-CRi-01 Contextualizar a los estudiantes acerca de la física cuántica de tal forma que se motiven y se apropien de su propio aprendizaje.	PFj-CRint-13 Contextualizar a los estudiantes acerca de los avances científicos y tecnológicos que hay a su alrededor basados en la física cuántica de tal forma que se motiven y se apropien de su propio aprendizaje. También el mostrar la ciencia como una actividad experimental, y social, en la que se pueden usar	PFj-CRf-25 Mostrar que la luz tiene un comportamiento único tanto en el mundo cuántico, como en el mundo observable. Es decir, que la manera en la que la observamos y analizamos varía dependiendo de los modelos científicos que nos permiten representar este comportamiento,

		las herramientas tecnológicas como cognitivas, para el planteamiento de modelos científicos.	siendo una puerta para empezar a estudiar los diversos fenómenos que se dan en el mundo cuántico, enseñando que los estudios de los modelos relacionados con la física cuántica son necesarios para el avance de nuestra sociedad y que es importante conocerlos para contextualizar el momento de la historia en el que estamos, la llamada segunda revolución cuántica.
3-¿Qué más sabe respecto a esta idea (que no tiene la intención de que sus estudiantes conozcan)?	PFj-CRi-03 Diferentes demostraciones para hallar los fenómenos cuánticos como la Ley de Planck, la demostración de la ecuación de la función de onda y demás elementos de uso del lenguaje matemático como son las ecuaciones diferencial, el cálculo, propios de la mecánica cuántica, la electrodinámica cuántica entre otros.	PFj-CRint-15 Diferentes modelos científicos que se usan para representar los fenómenos cuánticos como la Ley de Planck, la demostración de la ecuación de la función de onda y demás elementos de uso del lenguaje matemático como son las ecuaciones diferencial, el cálculo, propios de la mecánica cuántica, la electrodinámica cuántica entre otros.	PFj-CRf-27 Diferentes modelos científicos que se usan para representar los fenómenos cuánticos como son: El principio de incertidumbre de Heisenberg con los elementos matemáticos que se usan, solo desde una visión fenomenológica, así como la ecuación de Schrödinger o el comportamiento de la luz como una onda, pues nuevamente los conceptos matemáticos que fundamentan esta explicación están más allá de los conocimientos adquiridos por los estudiantes en la secundaria y el principio matemático de la desigualdad de Bell para explicar la probabilidad de encontrar dos spines de un electrón alineados, pues nuevamente se presentan dificultades en las bases matemáticas.

Tabla No 15: Repuestas de las preguntas No 1 y No 3 de la CoRe, antes, durante y después del proceso de formación. Jazmín. Fuente: autor

5.2.2.1 Inicio del proceso formativo

En esta subcategoría en la fase inicial, no se logra evidenciar un conocimiento explícito relacionado con los ejes temáticos, problemáticas o fenómenos a abordar en el salón de clases de ciencia, aunque la profesora Jazmín se caracterizó por sus pocas palabras en el momento de realizar los diferentes relatos, par el momento de realizar la CoRe inicial, estaba finalizando el curso de física moderna y contemporánea, momento en el cual se esperaba que detallará los posibles temas a trabajar (mencionándose así dentro del curso):

Contextualizar a los estudiantes acerca de la física cuántica de tal forma que se motiven y se apropien de su propio aprendizaje. **PFj-CRi-01**

Solo se evidencia el interés por generar motivación en el aprendizaje de la física cuántica. Sin embargo ella manifiesta una serie de conocimientos adquiridos en el curso mencionado anteriormente, pero que no es de su interés enseñarlos en el salón de clases de secundaria, por la dificultad en las demostraciones del lenguaje matemático entre otros factores:

Diferentes demostraciones para hallar los fenómenos cuánticos como la Ley de Planck, la demostración de la ecuación de la función de onda y demás elementos de uso del lenguaje matemático como son las ecuaciones diferencial, el cálculo, propios de la mecánica cuántica, la electrodinámica cuántica entre otros. **PFj-CRi-03**

Es así que no detalla su idea de que física cuántica enseñar, con qué tipo de visión y las posibles articulaciones o materializaciones con el currículo institucional.

Que los estudiantes vean la física cuántica en el colegio generaría mucha motivación por su aprendizaje, dado lo novedosos e interesante de este tipo de física. **PFj-PPe-30**

5.2.2.2 Desarrollo del proceso formativo

Aunque para este momento la profesora Jazmín reitera la motivación como uno de los factores principales del propósito para enseñar la naturaleza cuántica de la luz, logra conectar su idea con la necesidad de conocer las bases científicas que generan las nuevas tecnologías, y los nuevos descubrimientos en el campo de la física cuántica. También destaca el papel experimental y social que debe presentarse de la física cuántica mediante los diversos modelos científicos permeados por diferentes herramientas cognitivas, como son las herramientas digitales educativas:

Contextualizar a los estudiantes acerca de los avances científicos y tecnológicos que hay a su alrededor basados en la física cuántica de tal forma que se motiven y se apropien de su propio aprendizaje. También el mostrar la ciencia como

una actividad experimental, y social, en la que se pueden usar las herramientas tecnológicas como cognitivas, para el planteamiento de modelos científicos. **PFj-CRint-13**

No obstante comienza a hacerse evidente la visión fenomenológica que tendrá la futura propuesta educativa, aunque el uso de elementos del lenguaje matemático sigue teniéndose en cuenta de su parte para dicha propuesta:

Se podría enseñar de manera más fenomenológica que matemática. Aunque no hay que dejar de lado los cálculos, ya que considero importante que estén presentes en una menor porción. **PFj-CD-31**

Referido a los contenidos que no serán tenidos en cuenta para la enseñanza de la naturaleza reitera los contenidos mencionados al inicio del proceso de formación, pero dándole una categoría de modelos científicos, comprendiendo para este momento la física como un campo de estudio encargado de representar el comportamiento del universo:

Diferentes modelos científicos que se usan para representar los fenómenos cuánticos como la Ley de Planck, la demostración de la ecuación de la función de onda y demás elementos de uso del lenguaje matemático como son las ecuaciones diferencial, el cálculo, propios de la mecánica cuántica, la electrodinámica cuántica entre otros. **PFj-CRint-15**

5.2.2.3 Final del proceso formativo

Luego del momento de la implementación de la unidad didáctica relacionada con la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz, la profesora Jazmín logra evidenciar un desarrollo del conocimiento de su CTPC enfocado con esta subcategoría, puesto que menciona las representaciones de la luz dado los diferentes modelos científicos que dan respuesta a cada visión de estos fenómenos cuánticos, estableciendo un puente con el contexto social, cultural y tecnológico de dichos fenómenos naturales, materializándose en la visión actual de la física cuántica: la segunda revolución cuántica.

Mostrar que la luz tiene un comportamiento único tanto en el mundo cuántico, como en el mundo observable. Es decir, que la manera en la que la observamos y analizamos varía dependiendo de los modelos científicos que nos permiten representar este comportamiento, siendo una puerta para empezar a estudiar los diversos fenómenos que se dan en el mundo cuántico, enseñando que los estudios de los modelos relacionados con la física cuántica son necesarios para el avance de nuestra sociedad y que es importante conocerlos para contextualizar el momento de la historia en el que estamos, la llamada segunda revolución cuántica. **PFj-CRf-25**

Para lograr este propósito, su visión de cuántica se basa en el contexto fenomenológico de cada contenido a enseñar:

Se puede enseñar la física cuántica en la educación media, considero que por cuestiones de practicidad se haga desde lo fenomenológico, puesto que es de más fácil asimilación para los estudiantes dado la complejidad de algunos ejes temáticos. **PFj-CF-32**

Se reiteran por parte de Jazmín los contenidos que no está interesada en enseñar, de nuevo menciona el carácter axiomático y abstracto de la física cuántica, mencionando la complejidad que esto tiene y por ende las bases del conocimiento que debería tener un estudiante de colegio para ello, siendo muy difícil de cumplir dado el currículo de este ciclo de la educación:

Diferentes modelos científicos que se usan para representar los fenómenos cuánticos como son: El principio de incertidumbre de Heisenberg con los elementos matemáticos que se usan, solo desde una visión fenomenológica, así como la ecuación de Schrödinger o el comportamiento de la luz como una onda, pues nuevamente los conceptos matemáticos que fundamentan esta explicación están más allá de los conocimientos adquiridos por los estudiantes en la secundaria y el principio matemático de la desigualdad de Bell para explicar la probabilidad de encontrar dos spines de un electrón alineados, pues nuevamente se presentan dificultades en las bases matemáticas. **PFj-CRf-27**

Dadas estas narrativas enfocadas en el análisis de los saberes y creencias acerca del currículo presentado por la profesora Jazmín al final del proceso, se logra vislumbrar un desarrollo del conocimiento del CTPC dado que a medida de las etapas va logrando articular los conceptos y las estrategias educativas que permiten el aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz en la secundaria. Aunque no especifica los contenidos a enseñar buscando una relación con un currículo de física, se debe tener presente que estos fenómenos cuánticos no se mencionan en los documentos oficiales del MEN los cuales orientan los procesos a trabajar en el salón de clases en los diferentes ciclos de la educación anterior a la universitaria.

5.2.3 Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes de un tópico específico de la ciencia

Esta subcategoría se enfoca en el análisis de la comprensión de la naturaleza cuántica de la luz por parte de la profesora Jazmín, buscando la identificación de las posibles dificultades con que los estudiantes se enfrentan a este concepto, haciendo explícito las diferentes concepciones alternativas con las que podrían llegar los estudiantes al salón de clases, así como los posibles antecedentes académicos y culturales con los que

llegarían relacionados al aprendizaje de este contenido, según la visión y creencias de la profesora.

PREGUNTAS CoRe	ANTES	DURANTE	DESPUÉS
4-¿Cuáles son las dificultades/limitaciones relacionadas con la enseñanza de esta idea?	<i>PFj-CRi-04</i> Las pocas didácticas que actualmente existen sobre la enseñanza de la física cuántica, porque esto no aparece en los documentos del Ministerio de Educación Nacional, y tampoco creo que haya muchos profesores de secundaria que tengan mucho conocimiento de esto.	<i>PFj-CRint-16</i> No sé tienen didácticas explícitas en Colombia a nivel de secundaria donde se muestre la enseñanza de la física cuántica, por lo cual se hace complicado trabajar con ello, por otro lado las TIC en Colombia no son un recurso que se encuentre en todas las instituciones especialmente en el sector público. Por tanto, es difícil establecer secuencias didácticas que las tengan como herramientas cognitivas. Por su complejidad, la dificultad en representar los modelos científicos enfocados en la física cuántica.	<i>PFj-CRf-28</i> La no inclusión de los fenómenos relacionados con la naturaleza cuántica de la luz en los documentos oficiales del MEN, por lo que se ha enseñado muy poco esta idea en los colegios de nuestro país, igualmente muy pocos profesores de física y de ciencia de colegio en general están capacitados para ello, por otro lado las TIC en Colombia no son un recurso que se encuentre en todas las instituciones especialmente en el sector público. Por tanto, es difícil establecer secuencias didácticas que las tengan como herramientas cognitivas.
5-¿Cuál es su conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes que influye en la enseñanza de esta idea?	<i>PFj-CRi-05</i> Considero que muchos estudiantes ven la enseñanza de la física cuántica o de la física en general como abstracta, ya que se ha tenido esa concepción de que está muy alejada de nuestra realidad, es compleja y requiere un sin número de operaciones matemáticas. Por eso habría que hacer una serie de actividades que fomenten el interés por aprender física y sobre todo, física cuántica en los alumnos.	<i>PFj-CRint-17</i> A los alumnos les gusta lo novedoso por tanto pienso que les gustaría esta nueva propuesta de enseñar física, relacionándose con los fenómenos de la física cuántica, ellos lo ven mucho en películas y video en las redes sociales, por eso habría un interés en conocerla, también hay muchos estudiantes interesados en los nuevos descubrimientos de las tecnologías por lo que	<i>PFj-CRf-29</i> A los alumnos les gusta lo novedoso, lo que sea diferente a lo hacen en el salón de clases en el día a día, por tanto pienso que les gustaría esta nueva propuesta de enseñar física, relacionándose con los fenómenos de la física cuántica, a través de los modelos científicos, ellos lo ven mucho en películas y video en las redes sociales, por eso habría un interés en conocerla, también hay muchos estudiantes interesados en

		mostrarles aplicaciones en la vida real de la física cuántica sería una buena estrategia didáctica, usando las TIC como herramientas cognitivas y las diferentes actividades experimentales.	los nuevos descubrimientos de las tecnologías por lo que mostrarles aplicaciones en la vida real de la física cuántica sería una buena estrategia didáctica, usando las TIC como herramientas cognitivas y las diferentes actividades experimentales. Es así que por lo novedosos, el contexto actual de la sociedad, así como el uso de las TIC y la importancia del trabajo en equipo, pudiendo interactuar con sus compañeros, la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz es bien recibida por los alumnos de colegio.
6-¿Qué otros factores influyen en su enseñanza de esta idea?	PFj-CRi-06 La motivación que tengan los alumnos frente al aprendizaje de la física en general, si hay poca motivación, será difícil la enseñanza de la física cuántica, también el tipo de infraestructura que tenga la institución, para el uso de simuladores y demás herramientas tecnológicas que podrían aportar a esta motivación por el aprendizaje de la idea.	PFj-CRint-18 La motivación que tengan los alumnos frente al aprendizaje de la física en general, si hay poca motivación ya que se ha enseñado la física de forma tradicional, como se presenta en las visiones deformadas de ciencias, será difícil la enseñanza de la física cuántica a través de los diferentes modelos científicos, también el tipo de infraestructura que tenga la institución, para el uso de simuladores y demás herramientas tecnológicas que podrían aportar a esta motivación por el aprendizaje de la idea, siendo elementos que apoyan a la aprendizaje de la física cuántica.	PFj-CRf-30 Las posibles ideas preconcebidas que puedan tener los estudiantes a cerca de la dificultad para aprender sobre la física cuántica y el concepto en específico de la naturaleza cuántica de la luz, también los materiales que se tengan disponibles para fortalecer el aprendizaje en el aula, como un computador, proyector, conexión a internet, entre otros, generando un apoyo para aprender los diferentes modelos cuánticos relacionados con la idea, también es importante tener en cuenta que los estudiantes aprenden de mejor manera mediante la experimentación, por lo que es necesario recrear algunos ejemplos para facilitar la adquisición y adaptación de la idea.

Tabla No 16: Repuestas de las preguntas No 4, No 5 y No 6 de la CoRe, antes, durante y después del proceso de formación: Jazmín. Fuente: autor

5.2.3.1 Inicio del proceso formativo

La profesora Jazmín logra identificar que en cuanto a los documentos oficiales del MEN, no se hace referencia a los fenómenos cuánticos para ser enseñados en la educación secundaria y por ende los pocos estudios que se han realizado a nivel pedagógico frente a este campo de la física, siendo uno de los factores que han generado dificultad para la enseñanza de la física cuántica en este ciclo de la educación:

Las pocas didácticas que actualmente existen sobre la enseñanza de la física cuántica, porque esto no aparece en los documentos del Ministerio de Educación Nacional, y tampoco creo que haya muchos profesores de secundaria que tengan mucho conocimiento de esto. **PFj-CRi-04**

Por ello no existe un comparativo de prácticas educativas realizadas en el salón de clases de física de la secundaria, aludiendo a las posibles preconcepciones de los estudiantes enfocados al aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz a su experiencia con el curso de física moderna y contemporánea, relatando la dificultad de la física cuántica por lo abstracto, el lenguaje matemático usado posibilitando el poco interés de parte de los alumnos en su aprendizaje:

Considero que muchos estudiantes ven la enseñanza de la física cuántica o de la física en general como abstracta, ya que se ha tenido esa concepción de que está muy alejada de nuestra realidad, es compleja y requiere un sin número de operaciones matemáticas. Por eso habría que hacer una serie de actividades que fomenten el interés por aprender física y sobre todo, física cuántica en los alumnos. **PFj-CRi-05**

Resaltando la importancia de generar una serie de actividades que fomenten el interés de parte de los participantes o estudiantes. Es así que Jazmín enfoca las estrategias de apropiación de la idea en el interés y en la motivación que se podría generar, así como los elementos tecnológicos que se podrían usar en la institución apoyando dicha motivación e interés:

La motivación que tengan los alumnos frente al aprendizaje de la física en general, si hay poca motivación, será difícil la enseñanza de la física cuántica, también el tipo de infraestructura que tenga la institución, para el uso de simuladores y demás herramientas tecnológicas que podrían aportar a esta motivación por el aprendizaje de la idea. **PFj-CRi-06**

Según el discurso de la profesora, la dificultad de la enseñanza de la idea en mención está en el proceso abstracto y poco motivador de la física cuántica, posiblemente

por experiencia propia de este campo de la física, generándose una necesidad grande en que la formación que se le daría en la actual investigación le incentive este interés con el fin que pueda transmitirla a los estudiantes que tendrá en el futuro.

5.2.3.2 Desarrollo del proceso formativo

Durante el proceso de formación, la profesora Jazmín repite lo mencionado al inicio del proceso aludiendo a la no inclusión de la enseñanza de la física cuántica en los documentos oficiales del MEN, generando pocas investigaciones educativas de la enseñanza de este saber científico, aunque comienza a reconocer el contexto de muchas instituciones educativas públicas frente a la escases de la infraestructura tecnológica, siendo otro elemento de dificultad:

No sé tienen didácticas explícitas en Colombia a nivel de secundaria donde se muestre la enseñanza de la física cuántica, por lo cual se hace complicado trabajar con ello, por otro lado las TIC en Colombia no son un recurso que se encuentre en todas las instituciones especialmente en el sector público. Por tanto, es difícil establecer secuencias didácticas que las tengan como herramientas cognitivas. Por su complejidad, la dificultad en representar los modelos científicos enfocados en la física cuántica. **PFj-CRint-16**

A su vez, aclara su idea de acercamiento de los estudiantes de la física cuántica mediante los diferentes recursos digitales, como son las pantallas, las redes sociales entre otros. Lo que podría haber generado un cierto interés de parte de ellos para el aprendizaje de la idea en mención. Proponiendo potenciales estrategias didácticas de acercamiento de la naturaleza cuántica de la luz, reconociendo el carácter educativo de las herramientas tecnológicas, resaltando (nuevamente) la actividad experimental de este contenido:

A los alumnos les gusta lo novedoso por tanto pienso que les gustaría esta nueva propuesta de enseñar física, relacionándose con los fenómenos de la física cuántica, ellos lo ven mucho en películas y video en las redes sociales, por eso habría un interés en conocerla, también hay muchos estudiantes interesados en los nuevos descubrimientos de las tecnologías por lo que mostrarles aplicaciones en la vida real de la física cuántica sería una buena estrategia didáctica, usando las TIC como herramientas cognitivas y las diferentes actividades experimentales. **PFj-CRint-17**

Los conocimientos pedagógicos generados durante esta fase, le permiten mencionar las visiones deformadas de ciencia como posibles obstáculos para el aprendizaje de los fenómenos cuánticos dada la forma tradicional y matematizada de la enseñanza de la física a nivel general, por eso rescata la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz como una forma de intentar superar estas visiones

apoyándose en diferentes recursos educativos, lo que permite evidenciar el desarrollo del CTPC en esta subcategoría de parte de Jazmín:

La motivación que tengan los alumnos frente al aprendizaje de la física en general, si hay poca motivación ya que se ha enseñado la física de forma tradicional, como se presenta en las visiones deformadas de ciencias, será difícil la enseñanza de la física cuántica a través de los diferentes modelos científicos, también el tipo de infraestructura que tenga la institución, para el uso de simuladores y demás herramientas tecnológicas que podrían aportar a esta motivación por el aprendizaje de la idea, siendo elementos que apoyan a la aprendizaje de la física cuántica. **PFj-CRint-18.**

5.2.3.3 Final del proceso formativo

Durante las tres fases del proceso de formación, la profesora Jazmín reitera las dificultades del aprendizaje por parte de los estudiantes de la naturaleza cuántica de la luz. Lo que muestra que no logra reconocer otros factores que incrementan los obstáculos en su aprendizaje, como es el aspecto cognitivo, las ideas previas de la física a nivel general por parte de los estudiantes, las pocas experiencias experimentales de este campo del saber, el contexto social y cultural, entre otros factores:

La no inclusión de los fenómenos relacionados con la naturaleza cuántica de la luz en los documentos oficiales del MEN, por lo que se ha enseñado muy poco esta idea en los colegios de nuestro país, igualmente muy pocos profesores de física y de ciencia de colegio en general están capacitados para ello, por otro lado las TIC en Colombia no son un recurso que se encuentre en todas las instituciones especialmente en el sector público. Por tanto, es difícil establecer secuencias didácticas que las tengan como herramientas cognitivas. **PFj-CRf-28**

Para este momento rescata la novedad de la enseñanza de la física cuántica en este ciclo de la educación como uno de los factores de motivación para el aprendizaje del contenido, estableciendo una relación con los nuevos descubrimientos y desarrollos tecnológicos basados en las leyes de la física cuántica, aunque no logra detallar esta idea:

A los alumnos les gusta lo novedoso, lo que sea diferente a lo hacen en el salón de clases en el día a día, por tanto pienso que les gustaría esta nueva propuesta de enseñar física, relacionándose con los fenómenos de la física cuántica, a través de los modelos científicos, ellos lo ven mucho en películas y video en las redes sociales, por eso habría un interés en conocerla, también hay muchos estudiantes interesados en los nuevos descubrimientos de las tecnologías por lo que mostrarles aplicaciones en la vida real de la física cuántica sería una buena estrategia didáctica, usando las TIC como herramientas cognitivas y las diferentes actividades experimentales. Es así que por lo novedosos, el contexto actual de la sociedad, así como el uso de las TIC y la importancia del trabajo en equipo, pudiendo interactuar con sus compañeros, la

enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz es bien recibida por los alumnos de colegio. **PFj-CRf-29**

Dejando en la tecnología y el uso de estos recursos como las vías de generación del interés y motivación por parte de los estudiantes en aprender la propuesta didáctica para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz, siendo un elemento importante que apoya la enseñanza de estos fenómenos naturales, mostrando diferentes modelos científicos y el carácter experimental de este campo de estudio, pero sigue sin desarrollar esta idea aterrizándola en la unidad didáctica que implementaron en el salón de clases, lo que logra evidenciar que entre la fase de formación y la fase final, hay poco desarrollo del CTPC de parte de la profesora Jazmín enfocada en esta subcategoría, en contraste con el desarrollo del CTPC que se evidencia entre la fase inicial y de desarrollo:

Las posibles ideas preconcebidas que puedan tener los estudiantes a cerca de la dificultad para aprender sobre la física cuántica y el concepto en específico de la naturaleza cuántica de la luz, también los materiales que se tengan disponibles para fortalecer el aprendizaje en el aula, como un computador, proyector, conexión a internet, entre otros, generando un apoyo para aprender los diferentes modelos cuánticos relacionados con la idea, también es importante tener en cuenta que los estudiantes aprenden de mejor manera mediante la experimentación, por lo que es necesario recrear algunos ejemplos para facilitar la adquisición y adaptación de la idea. **PFj-CRf-30**

5.2.4 Conocimiento tecnológico y pedagógico para gestionar el aula

En esta subcategoría se busca reconocer el conocimiento que posee la profesora Jazmín referente a los medios tecnológicos que podrían apoyar la enseñanza la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz y sus formas de representar los diferentes fenómenos naturales que en ella se estudian. Es el conocimiento de las TIC para gestionar el aula de ciencias.

PREGUNTAS CoRe	ANTES	DURANTE	DESPUÉS
7-¿Qué tecnologías digitales estándar emplea para planear y gestionar el aprendizaje de la idea?	PFj-CRi-07 Simuladores (phet), plataformas interactivas (socrative, kahoot, jamboard & quizlet) y formularios online	PFj-CRint-19 Herramientas como simuladores online para mostrar algunos experimentos que no se pueden hacer en un aula o laboratorio, siendo las diferentes tipologías de las herramientas	PFj-CRf-31 Herramientas como simuladores online para mostrar algunos experimentos que no se pueden hacer en un aula o laboratorio, siendo las diferentes tipologías de las herramientas cognitivas como son las

		cognitivas como son las herramientas de organización semántica, de comunicación y colaboración, las herramientas tecnológicas que aportan a la construcción del conocimiento, las herramientas de modelado dinámico y las herramientas de interpretación de la información, lo que vimos en clase con el profe.	herramientas de organización semántica, de comunicación y colaboración, las herramientas tecnológicas que aportan a la construcción del conocimiento, las herramientas de modelado dinámico y las herramientas de interpretación de la información, lo que vimos en clase con el profe, apoyándonos en la implementación de la unidad didáctica, logrando la familiaridad de los alumnos con los fenómenos de la naturaleza cuántica de la luz.

Tabla No 17: Repuestas de la pregunta No 7 antes, durante y después del proceso de formación: Jazmín. Fuente: autor

5.2.4.1 Inicio del proceso formativo

Al igual que ocurrió con Annekae, Jazmín logra comprobarse su conocimiento de diferentes herramientas tecnológicas como mediadoras del conocimiento, visión que fue transmitida durante su formación dentro de la licenciatura, mencionando varias de ellas usando como comparativo el ejemplo dado en el curso de física moderna. Se reitera que Jazmín a comparación de su compañera de investigación, es de pocas palabras:

Simuladores (phet), plataformas interactivas (socrative, kahoot, jamboard & quizlet) y formularios online. **PFj-CRi-07**

Estas tecnologías sirven para poder enseñar la física cuántica, eso lo vimos en el curso de física moderna y contemporánea. El profesor presentaba algunos ejemplos con los simuladores. **PFj-PPe-33**

Infiriendo el desconocimiento de Jazmín por las TIC como herramientas cognitivas, visualizándolas desde una perspectiva instruccional tradicional.

5.2.4.2 Desarrollo del proceso formativo

La profesora Jazmín durante el proceso de formación logra clasificar las tipologías de las TIC como herramientas cognitivas, mostrando las ventajas de las herramientas de

modelado dinámico y las herramientas de la interpretación de la información, destacando el aporte de algunas aplicaciones como son los simuladores para procesos experimentales de la física cuántica, sin lograr para ese momento una relación con los modelos científicos y los fenómenos cuánticos que se esperaban enseñar a través de la unidad didáctica que se estaba desarrollando:

Herramientas como simuladores online para mostrar algunos experimentos que no se pueden hacer en un aula o laboratorio, siendo las diferentes tipologías de las herramientas cognitivas como son las herramientas de organización semántica, de comunicación y colaboración, las herramientas tecnológicas que aportan a la construcción del conocimiento, las herramientas de modelado dinámico y las herramientas de interpretación de la información, lo que vimos en clase con el profe.

PFj-CRint-19

En parte se muestra apropiación de varios elementos trabajados durante la fase de formación referente al desarrollo del CTPC enfocado en el conocimiento tecnológico de la profesora.

5.2.4.3 Final del proceso formativo

Para la fase final de formación, Jazmín reproduce lo que mencionó en la anterior fase, dando la organización de las tipologías de las TIC como herramientas cognitivas, resaltando el aporte a la experimentación de la física cuántica, sin detallar la relación de estos elementos con los fenómenos cuánticos trabajados en la implementación de la unidad didáctica:

Herramientas como simuladores online para mostrar algunos experimentos que no se pueden hacer en un aula o laboratorio, siendo las diferentes tipologías de las herramientas cognitivas como son las herramientas de organización semántica, de comunicación y colaboración, las herramientas tecnológicas que aportan a la construcción del conocimiento, las herramientas de modelado dinámico y las herramientas de interpretación de la información, lo que vimos en clase con el profe, apoyándonos en la implementación de la unidad didáctica, logrando la familiaridad de los alumnos con los fenómenos de la naturaleza cuántica de la luz. **PFj-CRf-31**

Pero destacando el aporte de estas herramientas para lograr la familiaridad de la naturaleza cuántica de la luz con los estudiantes a través de la implementación de la propuesta realizada por las profesoras participantes de la pesquisa. Permitiendo ver un desarrollo del CTPC de esta subcategoría, aunque no puntualiza los aportes de estos medios educativos digitales con los diferentes fenómenos cuánticos, la importancia del trabajo en equipo y los demás elementos disciplinares y pedagógicos desplegados en cada sesión en el salón de clases con los estudiantes de secundaria.

5.2.5 Conocimiento Tecnológico del Contenido o de la disciplina

La subcategoría del conocimiento tecnológico del contenido busca que la profesora Jazmín identifique y detalle las posibles formas de representar y formular un concepto en particular con recursos físicos como digitales, relacionando el CTPC con el conocimiento de los recursos digitales y físicos con el fin de representar o plantear una idea, a su vez que pueda tomar conciencia tanto de las fortalezas como de las debilidades que posee un recurso digital con la intención de generar nuevo conocimiento o un aprendizaje significativo basado en la naturaleza cuántica de la luz.

PREGUNTAS CoRe	ANTES	DURANTE	DESPUÉS
8-¿Cuáles son las formas digitales y no digitales que utiliza con el fin de representar y formular la idea?	PFj-CRi-08 Ejemplificación (digital y no digital): Se da un punto de partida para que a partir de allí el/los estudiantes pueda representar o formular su idea. Análisis de caso (no digital) : Se les da un problema y a partir de ello los estudiantes deben hacer un planteamiento, formular sus hipótesis y llegar a una conclusión. La plataforma de trabajo colaborativo (digital): A partir de las ideas previas de los estudiantes sobre el tema se pueden crear y formular las ideas.	PFj-CRint-20 Presentaciones virtuales que faciliten el aprendizaje de los conceptos que puedan resultar complicados para los estudiantes, siendo esta una forma más simple de mostrar los resultados de los experimentos hechos por los físicos en su travesía estudiando la naturaleza cuántica de la luz. Uso de herramientas que faciliten la experiencia de aprendizaje a través del contacto cómo láser, lentes de contacto, lupas, entre otros, y las diferentes tipologías que mencioné en la anterior pregunta.	PFj-CRf-32 Así como lo menciona mi compañera, están las herramientas de interpretación de la información, como son simuladores y laboratorios virtuales, el uso de videobeam, celulares, tablero, hojas guía, y demás elementos que permitan un trabajo en equipo y que puedan plasmar las ideas surgidas en este entorno, con el fin de poder movilizar el conocimiento referente a los fenómenos cuánticos alrededor de la naturaleza cuántica de la luz. El uso de las tapas para presentar la radiación del cuerpo negro, y elementos físicos fáciles de adquirir que permitieron el acercamiento de los fenómenos cuánticos que trabajamos en la unidad didáctica.
9-¿Cuáles son las	PFj-CRi-09 Simuladores y laboratorios son más	PFj-CRint-21 Los laboratorios virtuales son los que más se	PFj-CRf-33 Los laboratorios virtuales

herramientas digitales (ej., animaciones, simuladores, laboratorios virtuales, entre otros) más convenientes que utiliza para representar la idea en consideración, y en qué criterios se apoya esta intención de diseño?	convenientes en mi opinión. Lo anterior porque permite a los estudiantes ir descubriendo mediante la observación y la guía del docente los fenómenos o ejes temáticos que se desean aprender. Además, permite hacer representaciones de las cuales se pueden sacar hipótesis y/o conclusiones.	adaptan para enseñar el concepto tratado, pues permiten experimentar de diversas maneras los conocimientos que se tratan en clase y ampliar la visión de la naturaleza cuántica de la luz, estos funcionan como complemento de los temas que se vean ya que no es, en su mayoría, posible replicar los experimentos que los científicos llevaron a cabo físicamente en su época. Es decir que las herramientas de la interpretación de la información son uno de los elementos que más podrían generar motivación por aprender la idea, permitiendo relacionarlos con los diferentes modelos científicos que se propondrían en la unidad didáctica.	son los que más se adaptaron para enseñar el concepto tratado, pues permiten experimentar de diversas maneras los conocimientos que se tratan en clase y ampliar la visión de la naturaleza cuántica de la luz, estos funcionan como apoyo a la representación social, cultural de la época en la cual se descubrieron los fenómenos cuánticos, siendo las herramientas de la interpretación de la información uno de los elementos que más generaron motivación por el aprendizaje de los fenómenos cuánticos que trabajamos en la unidad didáctica, también el uso de los formularios en línea permitieron la realización de cuestionarios en equipos de trabajo, permitiendo el seguimiento al aprendizaje por parte de los alumnos.

Tabla No 18: Repuestas de las preguntas No 8 y No 9 antes, durante y después del proceso de formación: Jazmín. Fuente: autor

5.2.5.1 Inicio del proceso formativo

Enfocada en esta subcategoría, la profesora Jazmín previo al proceso de formación alude a una serie de estrategias para la presentación de las ideas a los estudiantes mediante el análisis de caso, fortaleciéndose con plataformas digitales que apoyan el trabajo colaborativo presentando los diferentes puntos de vista buscando la respectiva retroalimentación:

Ejemplificación (digital y no digital): Se da un punto de partida para que a partir de allí el/los estudiantes pueda representar o formular su idea. Análisis de caso

(no digital) : Se les da un problema y a partir de ello los estudiantes deben hacer un planteamiento, formular sus hipótesis y llegar a una conclusión. La plataforma de trabajo colaborativo (digital): A partir de las ideas previas de los estudiantes sobre el tema se pueden crear y formular las ideas. **PFj-CRi-08**

Reitera la importancia de los simuladores y la parte experimental para la enseñanza de los ejes temáticos, potenciando las diferentes representaciones permitiendo el desarrollo de habilidades propias de las ciencias:

Simuladores y laboratorios son más convenientes en mi opinión. Lo anterior porque permite a los estudiantes ir descubriendo mediante la observación y la guía del docente los fenómenos o ejes temáticos que se desean aprender. Además, permite hacer representaciones de las cuales se pueden sacar hipótesis y/o conclusiones. **PFj-CRi-09**

Aunque para este momento no se observa en Jazmín la concepción de la física cuántica como eje temático, deja ver una idea instruccional de los aportes de las TIC sin profundizar en ello, tampoco menciona la relación que se genera entre el estudiante, el profesor y el saber:

Los simuladores podrían ayudar a que los estudiantes aprendan la idea, ya que permite representarla de mejor forma. Así como lo vimos en el curso de física moderna. **PFj-PPe-36**

5.2.5.2 Desarrollo del proceso formativo

Para este momento se logra evidenciar la apropiación de algunos elementos del conocimiento pedagógico y tecnológico del CTPC de la profesora Jazmín, dado que relaciona las dificultades de las representaciones de la naturaleza cuántica de la luz con diferentes recursos educativos digitales como apoyo a su acercamiento, presentando una serie de herramientas no digitales que podrían apoyar la familiaridad de los estudiantes con los fenómenos cuánticos:

Presentaciones virtuales que faciliten el aprendizaje de los conceptos que puedan resultar complicados para los estudiantes, siendo esta una forma más simple de mostrar los resultados de los experimentos hechos por los físicos en su travesía estudiando la naturaleza cuántica de la luz. Uso de herramientas que faciliten la experiencia de aprendizaje a través del contacto como láser, lentes de contacto, lupas, entre otros, y las diferentes tipologías que mencioné en la anterior pregunta. **PFj-CRint-20**

Igualmente logra clasificar los laboratorios virtuales con las tipologías de las TIC como herramientas cognitivas, presentando sus aportes en la enseñanza de la física cuántica siendo ello un apoyo a la interpretación y acercamiento a estos ejes temáticos a través de

los diferentes modelos científicos usados para la unidad didáctica que en ese momento se estaba empezando a realizar:

Los laboratorios virtuales son los que más se adaptan para enseñar el concepto tratado, pues permiten experimentar de diversas maneras los conocimientos que se tratan en clase y ampliar la visión de la naturaleza cuántica de la luz, estos funcionan como complemento de los temas que se vean ya que no es, en su mayoría, posible replicar los experimentos que los científicos llevaron a cabo físicamente en su época. Es decir que las herramientas de la interpretación de la información son uno de los elementos que más podrían generar motivación por aprender la idea, permitiendo relacionarlos con los diferentes modelos científicos que se propondrían en la unidad didáctica. **PFj-CRint-21**

En el momento que los simuladores permitan que los estudiantes puedan “ver” algunos fenómenos cuánticos, esto permitirá que tengan una idea de estos fenómenos, ayudando a su familiaridad a través de modelos científicos. **PFj-PPe-37**

Según los anteriores relatos mencionados por la profesora Jazmín, se muestra un desarrollo significativo del CTPC a comparación de la primera fase, apropiando algunos elementos trabajados durante los encuentros de formación.

5.2.5.3 Final del proceso formativo

En la etapa final de la formación, la profesora Jazmín plantea algunos ejemplos de uso de elementos no digitales aplicados en la unidad didáctica como fueron las tapas de botella en la ejemplificación de la radiación del cuerpo negro, y otros elementos digitales que permitieron que los estudiantes pudieran acercarse a los diferentes fenómenos cuánticos, reiterando las diferentes ideas planteadas durante la fase de formación a través de la CoRe:

Así como lo menciona mi compañera, están las herramientas de interpretación de la información, como son simuladores y laboratorios virtuales, el uso de videobeam, celulares, tablero, hojas guía, y demás elementos que permitan un trabajo en equipo y que puedan plasmar las ideas surgidas en este entorno, con el fin de poder movilizar el conocimiento referente a los fenómenos cuánticos alrededor de la naturaleza cuántica de la luz. El uso de las tapas para presentar la radiación del cuerpo negro, y elementos físicos fáciles de adquirir que permitieron el acercamiento de los fenómenos cuánticos que trabajamos en la unidad didáctica. **PFj-CRf-32**

Organiza los medios de enseñanza digitales usados en la unidad didáctica en las tipologías de las TIC como herramientas cognitivas, detallando sus aportes a la familiaridad de parte de los estudiantes con la naturaleza cuántica de la luz, apoyando los contextos

sociales, e históricos que fueron desarrollados en las sesiones con los estudiantes de secundaria, permitiendo la generación de interés y motivación por parte de ellos.

Los laboratorios virtuales son los que más se adaptaron para enseñar el concepto tratado, pues permiten experimentar de diversas maneras los conocimientos que se tratan en clase y ampliar la visión de la naturaleza cuántica de la luz, estos funcionan como apoyo a la representación social, cultural de la época en la cual se descubrieron los fenómenos cuánticos, siendo las herramientas de la interpretación de la información uno de los elementos que más generaron motivación por el aprendizaje de los fenómenos cuánticos que trabajamos en la unidad didáctica, también el uso de los formularios en línea permitieron la realización de cuestionarios en equipos de trabajo, permitiendo el seguimiento al aprendizaje por parte de los alumnos. **PFj-CRf-33**

Presentando las ventajas que tuvieron al realizar los cuestionarios en línea en pro del trabajo en equipo, al seguimiento de los aprendizajes de parte de los alumnos, logrando demostrar el desarrollo del CTPC de Jazmín enfocado en esta subcategoría con los relatos presentados y los resultados de la aplicación de la unidad didáctica.

5.2.6 Conocimiento de las estrategias para la enseñanza de la ciencia

Esta subcategoría se enfoca en la serie de técnicas, modelos y estrategias de enseñanza utilizados por Jazmín con el objetivo de generar el aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz, posibilitando la toma de decisiones referente a las formas en que se podrían estructurar las clases, igualmente le permite seleccionar los elementos pertinentes apoyados o no por las TIC orientados a la construcción de un instrumento de enseñanza.

PREGUNTAS CoRe	ANTES	DURANTE	DESPUÉS
10- ¿Cuáles procedimientos de enseñanza emplea y las razones particulares de su uso para enseñar esta idea?	PFj-CRi-10 Afectividad: Cuando se tiene un vínculo con los alumnos es más fácil para él/ella y para uno como docente dar el tema, también es importante la indagación: Darle al estudiante la oportunidad de desarrollar su imaginación y pensamiento crítico a través de preguntas guía.	PFj-CRint-22 Usualmente trato de desarrollar la clase en un procedimiento estándar de primero contextualizar-indagar, luego practicar y/o formular hipótesis. Más adelante una parte de contraste de esas hipótesis para una conclusión y una posterior retroalimentación de la misma. Lo anterior, con el fin de desarrollar el pensamiento crítico, autonomía y aprendizaje significativo de los estudiantes todo bajo la afectividad y la importancia de la relación del profesor con el estudiante.	PFj-CRf-34 La modelización como estrategia didáctica permitió que los alumnos pudieran familiarizarse con los fenómenos de la física cuántica de forma que apoyaba el interés la motivación de ellos a través de la cooperación y el trabajo en equipo, esta estrategia fue clave para que fuera un éxito la implementación de la unidad didáctica. También el uso de las

			TIC como herramientas cognitivas aportó para que los alumnos vieran los diferentes fenómenos a través de los diversos modelos científicos ya sea a través de simuladores, videos y otros. Fomentando el desarrollo del pensamiento crítico, la autonomía y aprendizaje significativo de los estudiantes todo bajo la afectividad y la importancia de la relación del profesor con el estudiante.
11- ¿Cuáles actividades de aprendizaje mediadas o no por las tecnologías digitales, usa con el fin de ayudar a los estudiantes a superar sus dificultades y concepciones alternativas?	PFj-CRi-11 Bitácora: Utilizar este recurso como medio para ayudar a los estudiantes a llevar su propio registro de aprendizaje, la indagación y el aprendizaje activo lo que hace que haya más autonomía en ellos.	PFj-CRint-23 Actividades de indagación sobre conocimientos previos, ya que los estudiantes no vienen desde cero y uno puede utilizar esas cosas que ya saben para introducir o enlazar el nuevo conocimiento. Actividades de modelización, donde los estudiantes puedan explorar y crear representaciones acerca de lo que saben, proponiendo modelos que puedan representar los diversos fenómenos usados en clases. También las actividades de cierre- Estas se dan al final de un video, clase magistral, simulador, etc y se utiliza para resaltar los elementos más importantes y clarificar otros, a través de estos elementos que ayudan al aprendizaje.	PFj-CRf-35 Comparto la idea de mi compañera, al mencionar que las exposiciones en grupos son una actividad bastante valiosa, debido a que en una exposición se tiene que indagar sobre el tema de elección, de tal manera que para poder hacer una exposición bien se tiene que estudiar bien el tema para poder explicarlo, al estudiar para poder explicar surgen más dudas sobre el tema haciendo que tenga que investigar más, creando así una especie de círculo vicioso de la búsqueda para el aprendizaje. E uso de las herramientas de representación a través de los simuladores, de encuestas en línea son actividades didácticas para los estudiantes, aparte de estimular el interés, también crea un espacio en el cual el

			estudiante se apoye en diferentes medios todo lo que tiene para poder comprender de una manera más dinámica y explicativa. El trabajo colaborativo, potenciado por los modelos científicos y las herramientas TIC permitieron que los estudiantes pudieran comprender un poco los fenómenos relacionados con la naturaleza cuántica de la luz.

Tabla No 19: Repuestas de las preguntas No 10 y No 11 antes, durante y después del proceso de formación: Jazmín. Fuente: autor

5.2.6.1 Inicio del proceso formativo

Frente a las técnicas y estrategia que presenta la profesora Jazmín en esta fase previa a la formación, rescata la afectividad que se genera en la interacción del profesor con los estudiantes como uno de los factores claves para generar la motivación e interés en la clase, enfocándose en la indagación como estrategia pedagógica, en pro del desarrollo del pensamiento crítico:

Afectividad: Cuando se tiene un vínculo con los alumnos es más fácil para él/ella y para uno como docente dar el tema, también es importante la indagación: Darle al estudiante la oportunidad de desarrollar su imaginación y pensamiento crítico a través de preguntas guía. **PFj-CRi-10**

Mencionando como herramienta de apoyo a la bitácora buscando que se genere una autonomía de parte del alumno en el seguimiento de su propio aprendizaje:

Bitácora: Utilizar este recurso como medio para ayudar a los estudiantes a llevar su propio registro de aprendizaje, la indagación y el aprendizaje activo lo que hace que haya más autonomía en ellos. **PFj-CRi-11**

Por lo cual, no se evidencia una articulación de las estrategias de enseñanza con la naturaleza cuántica de la luz, llevándola a buscar estrategias de enseñanza teniendo presente todo el contexto educativo que esto requiere.

Posiblemente refiere a la indagación por el referente pedagógico de la universidad con énfasis en el aprendizaje activo, siendo la indagación uno de los pilares fundamentales en su desarrollo.

5.2.6.2 Desarrollo del proceso formativo

Durante el proceso de formación, Jazmín logra profundizar los elementos que tendría en cuenta para lograr la efectividad en la actividad educativa, mencionando partes de su estrategia pedagógica basados en la indagación para la enseñanza de las ciencias, buscando lo que ha mencionado en varias ocasiones: la motivación, el interés, el desarrollo del pensamiento crítico buscando un aprendizaje significativo del contenido:

Usualmente trato de desarrollar la clase en un procedimiento estándar de primero contextualizar-indagar, luego practicar y/o formular hipótesis. Más adelante una parte de contraste de esas hipótesis para una conclusión y una posterior retroalimentación de la misma. Lo anterior, con el fin de desarrollar el pensamiento crítico, autonomía y aprendizaje significativo de los estudiantes todo bajo la afectividad y la importancia de la relación del profesor con el estudiante. **PFj-CRint-22**

En parte se logra observar una idea constructivista del aprendizaje refiriendo a la importancia de los conocimientos previos con los cuales cuentan los estudiantes en las clases de física, aplicando la modelización como estrategia de enseñanza, articulando con algunos elementos tecnológicos como aporte al desarrollo de las ideas:

Actividades de indagación sobre conocimientos previos, ya que los estudiantes no vienen desde cero y uno puede utilizar esas cosas que ya saben para introducir o enlazar el nuevo conocimiento. Actividades de modelización, donde los estudiantes puedan explorar y crear representaciones acerca de lo que saben, proponiendo modelos que puedan representar los diversos fenómenos usados en clases. También las actividades de cierre- Estas se dan al final de un video, clase magistral, simulador, etc y se utiliza para resaltar los elementos más importantes y clarificar otros, a través de estos elementos que ayudan al aprendizaje. **PFj-CRint-23**

A través del proceso desarrollado, la profesora tuvo la oportunidad de reconocer la modelización como estrategia para la enseñanza de las ciencias, incorporándola en la actividad práctica sobre los fenómenos naturales como punto de partida para lo que sería la propuesta pedagógica. Esta visión se logró por el planteamiento formativo planteado en la presente investigación.

5.2.6.3 Final del proceso formativo

La profesora Jazmín a través de sus relativas permite evidenciar un desarrollo de su CTPC relacionado con los conocimientos de las técnicas, modelos y estrategias para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz, ya que da a conocer el aporte de la modelización para la enseñanza de los fenómenos cuánticos apoyándose en las TIC como herramientas cognitivas para la familiaridad de los estudiantes con este campo de la física. En este sentido, se logra profundizar en los elementos que permitieron el desarrollo de la afectividad, el pensamiento crítico y la autonomía:

La modelización como estrategia didáctica permitió que los alumnos pudieran familiarizarse con los fenómenos de la física cuántica de forma que apoyaba el interés la motivación de ellos a través de la cooperación y el trabajo en equipo, esta estrategia fue clave para que fuera un éxito la implementación de la unidad didáctica. También el uso de las TIC como herramientas cognitivas aportó para que los alumnos vieran los diferentes fenómenos a través de los diversos modelos científicos ya sea a través de simuladores, videos y otros. Fomentando el desarrollo del pensamiento crítico, la autonomía y aprendizaje significativo de los estudiantes todo bajo la afectividad y la importancia de la relación del profesor con el estudiante. **PFj-CRf-34**

Resalta la importancia del trabajo colaborativo como una de las técnicas educativas para que se generará un aprendizaje autónomo, retroalimentado entre los participantes, nombrando las diferentes tipologías de las herramientas cognitivas que facilitaban este proceso, lo que para ella permitió que los estudiantes se familiarizaran con los diferentes fenómenos de la naturaleza cuántica de la luz:

Comparto la idea de mi compañera, al mencionar que las exposiciones en grupos son una actividad bastante valiosa, debido a que en una exposición se tiene que indagar sobre el tema de elección, de tal manera que para poder hacer una exposición bien se tiene que estudiar bien el tema para poder explicarlo, al estudiar para poder explicar surgen más dudas sobre el tema haciendo que tenga que investigar más, creando así una especie de círculo vicioso de la búsqueda para el aprendizaje. El uso de las herramientas de representación a través de los simuladores, de encuestas en línea son actividades didácticas para los estudiantes, aparte de estimular el interés, también crea un espacio en el cual el estudiante se apoye en diferentes medios todo lo que tiene para poder comprender de una manera más dinámica y explicativa. El trabajo colaborativo, potenciado por los modelos científicos y las herramientas TIC permitieron que los estudiantes pudieran comprender un poco los fenómenos relacionados con la naturaleza cuántica de la luz. **PFj-CRf-35**

Aunque este desarrollo del CTPC se da a medida que se van ejecutando las tres etapas del proceso formativo, la profesora Jazmín no menciona en detalle las estrategias que se dieron en cada uno de los encuentros con los estudiantes de secundaria, haciéndolo de forma general con los diferentes conceptos trabajados durante la formación propuesta en esta pesquisa, pero se logra vislumbrar la articulación entre el conocimiento pedagógico, el

conocimiento tecnológico con el conocimiento del contenido, dada la apuesta que realizó junto con su compañera, siendo el producto final de su investigación.

5.2.7 Conocimiento sobre la evaluación en la enseñanza de las ciencias

Finalmente en esta subcategoría se busca que la profesora Jazmín proponga tipos de evaluación formativa enfocadas en la familiarización de la naturaleza cuántica de la luz por parte de los estudiantes. Esta subcategoría permite relacionar el CTPC de la profesora en formación con el conocimiento de la evaluación del aprendizaje de dicho contenido aportando a los procesos de alfabetización científica.

PREGUNTAS CoRe	ANTES	DURANTE	DESPUÉS
12-¿Qué formas específicas de evaluación del entendimiento o de la confusión de los alumnos emplea alrededor de esta idea?	PFj-CRi-12 Las formas de evaluar las competencias adquiridas por los estudiantes frente a la autoevaluación, la coevaluación y la evaluación general de los temas que se trabajarán en la física cuántica con los alumnos de secundaria.	PFj-CRint-24 Una evaluación diagnóstica que permita identificar las fortalezas y debilidades de los estudiantes antes de empezar a desarrollar la unidad didáctica propuesta, de la mano de una evaluación formativa que brinde información de las posibles confusiones que tengan los estudiantes en el estudio de la idea, esto con el propósito de poder resolverlas a tiempo antes de avanzar en el estudio de la naturaleza cuántica de la luz.	PFj-CRf-36 Una evaluación diagnóstica que permita identificar las fortalezas y debilidades de los estudiantes antes de empezar a desarrollar la unidad didáctica propuesta, y al finalizar la respectiva implementación, como contraste del aprendizaje antes y después de ello, apoyándose con la evaluación formativa que brinde información de las posibles confusiones que tengan los estudiantes en el estudio de la idea, esto con el propósito de poder resolverlas a tiempo antes de avanzar en el estudio de la naturaleza cuántica de la luz. Teniendo en cuenta que la evaluación es continua/formativa a través de indagación, modelización e implementación de talleres en cada momento del desarrollo de la clase. Es un proceso que ocurre

			todo el tiempo en la interacción del profesor con los alumnos.

Tabla No 20: Repuestas de la pregunta No 12 antes, durante y después del proceso de formación: Jazmín. Fuente: autor

5.2.7.1 Inicio del proceso formativo

La profesora Jazmín, relaciona el proceso de evaluación con la evaluación por competencias lo cual fue formado en cursos anteriores en su programa académico, mencionando los diferentes tipos de evaluación como es el saber, el saber hacer y el ser, así como la autoevaluación, y la evaluación realizada por los integrantes de la comunidad educativa:

Las formas de evaluar las competencias adquiridas por los estudiantes frente a la autoevaluación, la coevaluación y la evaluación general de los temas que se trabajarán en la física cuántica con los alumnos de secundaria. **PFj-CRi-12**

Siendo su apuesta inicial evaluativa, sin precisar en el cómo y que evaluar de los fenómenos cuánticos que se trabajarán en la unidad didáctica. Ella no expresa este proceso articulándolo con los contenidos a enseñar ni con las estrategias educativas para ello, por ende es poco el conocimiento que puede tener en esta fase relacionada con la evaluación de los saberes.

5.2.7.2 Desarrollo del proceso formativo

Para el desarrollo de la formación, la profesora Jazmín comienza a tener presente algunos mecanismos que posibiliten realizar el seguimiento al aprendizaje de los saberes de parte de los estudiantes, como es el caso de una evaluación diagnóstica que permita tener un contexto del conocimiento previo de parte de los estudiantes, ligándola con una evaluación formativa que logre tener en cuenta otros factores del seguimiento que se hace a los estudiantes participantes de la investigación:

Una evaluación diagnóstica que permita identificar las fortalezas y debilidades de los estudiantes antes de empezar a desarrollar la unidad didáctica propuesta, de la mano de una evaluación formativa que brinde información de las posibles confusiones que tengan los estudiantes en el estudio de la idea, esto con el propósito de poder resolverlas a tiempo antes de avanzar en el estudio de la naturaleza cuántica de la luz. **PFj-CRint-24**

Aunque menciona la naturaleza cuántica de la luz, no logra articular la evaluación con las estrategias didácticas que ha propuesto anteriormente para enseñar el contenido en

menCIÓN, tampoco lo hace con el papel que jugarían las herramientas tecnológicas como aporte a este seguimiento del aprendizaje. Probablemente para este momento, aún no había discutido con su compañera acerca de los elementos que deberían tenerse en cuenta para evaluar los aprendizajes en la unidad didáctica.

5.2.7.3 Final del proceso formativo

En la fase final del proceso de formación, la profesora Jazmín reafirma la importancia de realizar una evaluación formativa permitiendo hacer seguimiento a una serie de elementos que podrían aportar a los resultados de los conocimientos adquiridos por los estudiantes. Señala la prueba diagnóstica como ese instrumento de contraste siendo aplicada antes y después de la implementación de la unidad didáctica, reconociendo que el proceso evaluativo se genera desde el primer contacto que tenga con los estudiantes, visualizándose un seguimiento de los saberes de corte formativo, en la interacción entre los actores del contrato educativo (enfoque constructivista):

Una evaluación diagnóstica que permita identificar las fortalezas y debilidades de los estudiantes antes de empezar a desarrollar la unidad didáctica propuesta, y al finalizar la respectiva implementación, como contraste del aprendizaje antes y después de ello, apoyándose con la evaluación formativa que brinde información de las posibles confusiones que tengan los estudiantes en el estudio de la idea, esto con el propósito de poder resolverlas a tiempo antes de avanzar en el estudio de la naturaleza cuántica de la luz. Teniendo en cuenta que la evaluación es continua/formativa a través de indagación, modelización e implementación de talleres en cada momento del desarrollo de la clase. Es un proceso que ocurre todo el tiempo en la interacción del profesor con los alumnos. **PFj-CRf-36**

Refiriéndose a una serie de habilidades que tuvieron los estudiantes en los diferentes encuentros de formación, como es la indagación, el planteamiento de modelos, el trabajo en equipo fortaleciendo la colaboración, la reflexión y la cooperación entre los alumnos participantes, la experimentación como acercamiento a los diferentes modelos planteados y el discurso elaborado por ellos mismos:

La prueba diagnóstica realizada antes y después de la implementación de la unidad didáctica fue una de las actividades claves para poder hacer un comparativo de los aprendizajes de los alumnos, permitiéndonos ver que hubo un incremento en el aprendizaje, igual que con las participantes en equipos de trabajo, los experimentos que hacían y sus argumentos dados para explicar cada fenómeno natural visto. **PFj-PPe-39**

Aunque no es clara frente a una conexión de los diferentes conocimientos del CTPC referente al proceso evaluativo, la profesora Jazmín permite evidenciar un paso importante

entre una evaluación por competencias (sin dar detalles de ella) a una evaluación formativa con diferentes estrategias de seguimiento para ello. Cabe anotar que no relaciona los elementos TIC que podrían potenciar el aprendizaje de los diferentes fenómenos naturales, ni el detalle de las diversas representaciones que posiblemente se podrían dar cuando se presenta la naturaleza cuántica de la luz.

5.3 Discusiones

En el CTPC se constata una serie de características que son fundamentales en el quehacer docente diferenciándola de las otras profesiones con formación en el carácter disciplinar como son los físicos, químicos, biólogos, geofísicos, astrónomos, entre otros. El desarrollo del conocimiento tecnológico y pedagógico del contenido es particular para cada docente, puesto que las ideas previas, las percepciones, los imaginarios, el contexto histórico, social y cultural, se va construyendo en el desarrollo del conocimiento de ese profesor en específico; no se puede replicar todos los anteriores factores entre distintos profesores, siendo una huella dactilar que se forma a medida que se van construyendo cada experiencia, cada saber en el aula, por ende el desarrollo del CTPC está íntimamente ligado al desarrollo profesional docente, a través de sus prácticas pedagógicas, siendo un proceso dinámico, cambiante y evolutivo en el conocimiento de las estrategias pedagógicas para enseñar un contenido, igualmente del conocimiento de la disciplina y de su relación con las herramientas tecnológicas en el contexto educativo (Koehler, Shin, & Mishra, 2011; Zuluaga, 2017); también se incluyen otras dimensiones asociadas al desarrollo profesional, como son: la reflexión sobre su práctica pedagógica, su capacidad de investigador, la relación con otros docentes e integrantes de la comunidad educativa y su capacidad para transformar currículos de acuerdo al contexto educativo.

Dado lo mencionado anteriormente, se buscó desarrollar el CTPC de un grupo de profesoras en formación a través de la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz, apoyándose en las TIC como herramientas cognitivas a través de un trabajo reflexivo colaborativo en pro del desarrollo de una unidad didáctica siendo aplicada con estudiantes de grado once de una institución educativa oficial pública, cuya investigación se dio¹⁰⁹ mediante un estudio de caso en un proceso de

¹⁰⁹ por la particularidad del desarrollo del CTPC.

investigación – acción. Para ello se analizaron siete subcategorías relacionadas con las diferentes partes que componen el CTPC en tres fases de la formación: fase previa, fase formativa y fase final de la formación; con dos profesoras en formación (Annekae y Jazmín), siendo casos particulares dado el contexto social y de formación, así como el interés que tuvo cada una en esta pesquisa.

La realización de la CoRe y de los relatos de forma individual a través de los PaPeRs, posibilitó un espacio tanto de reflexión como de reconocimiento frente a todos los elementos a tener en cuenta para la realización y la implementación de la unidad didáctica, propiciando la búsqueda de nuevas estrategias a través de la adquisición de nuevos conocimientos, siendo el objetivo de la propuesta de formación en la presente pesquisa ratificando la importancia de la CoRe en la promoción del desarrollo del CTPC de los profesores en formación y en ejercicio (Fernández, 2015; Zuluaga, 2017; Candela, 2020).

El análisis textual discursivo permitió la elaboración de los relatos usando las unidades de significado (previamente codificadas) abordándose desde diferentes perspectivas ajustándose a las diferentes dimensiones del quehacer docente, revelándose así una serie de características de cada subcategoría analizada.

Para el caso de la profesora Annekae al inicio del proceso formativo, se pudo evidenciar su interés en los elementos disciplinares de la física cuántica, siendo una de sus mayores preocupaciones, el cómo llevar al salón de clases dada fenómeno cuántico sin la dificultad y complejidad de las representaciones matemáticas propias de este campo de la física; esto fue dejándose de lado a medida que se dieron los encuentros de formación, cambiando por una visión fenomenológica de la naturaleza cuántica de la luz, ajustando sus intereses por las estrategias educativas que se iban a implementar en la unidad didáctica, así como el apoyo de las herramientas tecnológicas en la representación de los diferentes fenómenos naturales, para generar el acercamiento del contenido a los estudiantes participantes. Ella evidenció cambios en los propósitos de la enseñanza, identificando un mayor énfasis en la relación entre el conocimiento, los fenómenos cuánticos y los avances tecnológicos y sociales de los estudiantes, al emplear la modelización como estrategia de enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz. Aunque el grupo de trabajo de las profesoras en formación fue colaborativo, cooperativo entre pares, Annekae se destacó por su papel de

líder, participando en gran porcentaje de las entrevistas con sus relatos y propuestas de desarrollo educativo, disciplinar y tecnológico.

Por su parte la profesora Jazmín, evidenciaba un interés por un contexto educativo, social e histórico de los contenidos a trabajar en la investigación, así como el papel experimental de la física cuántica. Pese a que fue de pocas palabras, sus aportes fueron significativos para el desarrollo e implementación de la apuesta educativa, mostrándose aún más a medida que se realizaban las sesiones de formación y de mayor manera, en los encuentros con los estudiantes de la institución educativa, evidenciando una apropiación en la mayoría de las subcategorías analizadas enfocadas en su CTPC, pudiéndose observar en el análisis de los resultados. Posiblemente se debe al trabajo colaborativo reflexivo realizado con su compañera, al complementar las habilidades que cada una fue adquiriendo en todo el proceso.

A nivel general se observó un avance en la integración de la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz, reconociendo el papel de las TIC como herramientas cognitivas, a través de una visión fenomenológica de la física cuántica, asociando los diferentes aspectos claves para la enseñanza, como es la elaboración de explicaciones, la experimentación, la realización de modelos mentales, la socialización del conocimiento a través del trabajo en equipo, el uso y la familiarización de las representaciones de cada fenómeno natural trabajado en el salón de clases. Probablemente se debe a que desde el inicio las dos profesoras tenían un enorme interés y grandes expectativas en la formación propuesta en la enseñanza de este campo de la física articulándose con su trabajo de grado, incidiendo en el desarrollo cognitivo y formativo de cada participante.

Análisis de la implementación de la unidad didáctica propuesta, con los estudiantes de secundaria:

Teniendo presente tanto el análisis de los resultados del cuestionario comparativo como la rúbrica de evaluación propuesta por las profesoras en formación¹¹⁰ en donde mencionan que “...se logra evidenciar la mejoría en las respuestas de forma significativa, ubicando sus saberes de acuerdo a la rúbrica propuesta de la competencia de nivel más bajo

¹¹⁰ Anexo 7.

a la más alta, en los ítem que evalúan la comprensión de los fenómenos de la física cuántica y la identificación y relación de lo cuántico de la luz con su entorno diario”, se realiza un análisis de los porcentajes de respuesta de este cuestionario¹¹¹ por el grupo intervenido a través del cálculo de la Eficiencia didáctica definida por Covián y Celemín, siendo su resultado “el incremento relativo de respuestas correctas entre la primera y la segunda aplicaciones del cuestionario respecto de la mayor mejora posible” (Covián, & Celemín, 2008; Artamónova, Mosquera & Artamanov, 2017). Para el resultado de la aplicación previa y posterior a la implementación de la unidad didáctica se aplica el siguiente cálculo en donde B es la media del porcentaje de respuestas correctas para todo el grupo intervenido, en los dos momentos anteriormente mencionados:

$$Eficiencia\ didactica = \bar{\Delta}_{rel}B = \frac{\bar{B}_{2aplicacion\ de\ la\ prueba} - \bar{B}_{1aplicacion\ de\ la\ prueba}}{100 - \bar{B}_{1aplicacion\ de\ la\ prueba}}, \%$$

Los resultados del cuestionario comparativo se reportan como un valor de g de Hake llamado “ganancia normalizada” siendo la razón del aumento entre una prueba preliminar (pre) y un prueba final (post) respecto del máximo aumento posible (Artamónova, Mosquera & Artamanov, 2017, p 7). En este valor g, se consideran tres rangos de ganancia normalizada, lo cual se relaciona con los niveles de desempeño propuestos en la rúbrica de evaluación¹¹² de la siguiente forma:

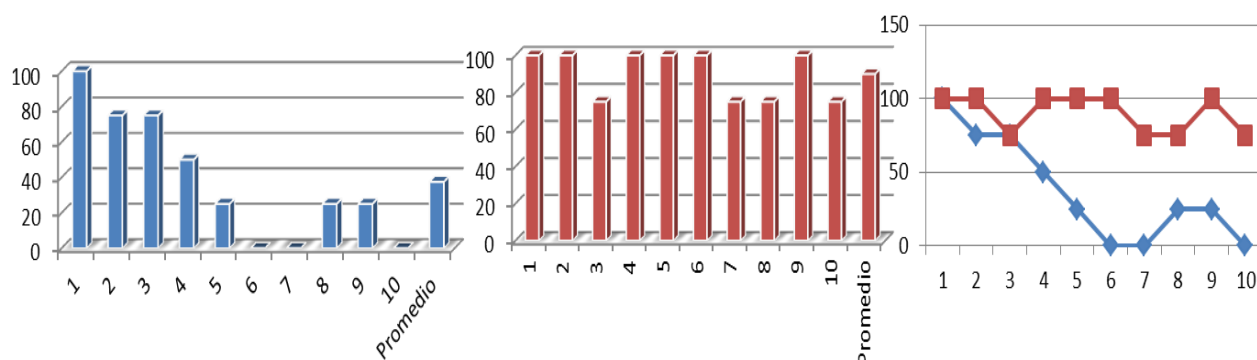
Rangos de ganancia normalizada relacionada con los niveles de desempeño de la rúbrica de evaluación		
g alto	Cuando el resultado obtenido para g es g > 0,7	Desempeño superior (g ≥ 0,9) y alto (0,7 < g < 0,9)
g medio	Cuando el resultado obtenido para g está en el rango 0,3 < g < 0,7	Desempeño parcial
g bajo	Cuando el resultado obtenido para g es g < 0,3	Desempeño insatisfactorio

Tabla No 21: Rangos de ganancia normalizada (Hake) relacionada con los niveles de desempeño de la rúbrica de evaluación propuesta para la unidad didáctica. Fuente: autor

¹¹¹ Cabe anotar que este cuestionario comparativo fue diseñado dentro del proceso de formación de la presente investigación, basado en el diseño y aplicación de preguntas tipo pruebas saber (examen estándar para el ingreso a la educación superior de Colombia).

¹¹² Anexo 6.

Acorde a los resultados de los porcentajes de respuestas positivas en los dos momentos del cuestionario comparativo, se hace el respectivo cálculo de la eficiencia didáctica:



Antes de la implementación		Después de la implementación	
Pr gunta	% de aprobación	P regunta	% de aprobación
1	100	1	100
2	75	2	100
3	75	3	75
4	50	4	100
5	25	5	100
6	0	6	100
7	0	7	75
8	25	8	75
9	25	9	100
10	0	10	75
Pr medio	37,5	P romedio	90
Eficiencia didáctica		0,84	

Tabla No 22: Porcentajes de aprobación en los dos momentos de la implementación del cuestionario comparativo para el cálculo de la eficiencia didáctica. Fuente: autor

Al realizar el respectivo cálculo de la eficiencia didáctica, se obtiene un valor de $g = 0,84$ (84%), ubicando el resultado dentro de los niveles de “desempeño alto” ($0,7 < g < 0,9$):

A spectos a	Compre	Interacci ón efectiva con	Identifi car y relacionar	Plantea miento de	Propues ta y exposición

evaluar	nder los fenómenos de la física cuántica.	trabajo colaborativo	lo cuántico de la luz con su entorno diario	modelos científicos a partir de un análisis crítico.	sobre las diferentes ventajas del conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz
Ni veles de desempeño alto	El estudiante comprende la mayoría de los fenómenos de la física cuántica, tales como: radiación de un cuerpo negro, la catástrofe ultravioleta, los cuantos de Planck, efecto fotoeléctrico & la luz como corpúsculo.	Interactúa eficientemente con sus compañeros, escucha atentamente a los demás y da ideas para resolver problemas.	Identifica lo cuántico de la luz, pero en parte le cuesta relacionar los fenómenos naturales en las diferentes actividades.	El estudiante demuestra buena habilidad en el planteamiento de modelos científicos a partir de un análisis crítico con el fin de simplificar, ejemplarizar y profundizar ciertos fenómenos que se presentan.	Las estudiantes en la mayoría de los casos son capaces de proponer y exponer diferentes ventajas del conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz.

Tabla No 23: Elementos del nivel de desempeño alto en la rúbrica de evaluación por nivel de desempeño. Fuente: profesoras en formación – Anexo 6.

Es así que tanto en las discusiones mencionadas al inicio del presente capítulo como a través del resultado de la eficiencia didáctica, se evidencia los resultados positivos de la implementación de la unidad didáctica propuesta por las profesoras en formación, quienes realizaron un análisis detallado de esta implementación en su tesis de investigación por medio de los “Criterios y Hallazgos de la implementación de la Unidad didáctica” anexo 7.

6. CONCLUSIONES

En este capítulo se sintetizan las conclusiones principales estructurándose con los objetivos específicos planteados en la investigación.

Como conclusión inicial buscando dar respuesta a la pregunta de investigación, el fundamentar un proceso de formación inicial docente en el diseño de una unidad Didáctica basada en los conocimientos propios del CTPC mediante instrumentos de análisis y seguimiento como son la CoRe y los el Repertorio de experiencias Profesionales y Pedagógicas a través de la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz permitió el desarrollo del CTPC en profesores en formación dado que sus conceptos dan una perspectiva más amplia y aterrizada de la actividad científica apoyándose en las TIC como herramientas cognitivas pudiendo ser llevada al salón de clases desde una visión fenomenológica, teniendo presente diferentes métodos de evaluación en los que se tengan en cuenta otras dimensiones del aprendizaje más allá del aspecto conceptual, vinculando la indagación, la experimentación, la construcción y uso de modelos en la comprensión de los fenómenos naturales.

Objetivo específico # 1:

a) En los primeros encuentros se pudo detectar mediante los instrumentos de recolección de datos, el desconocimiento de los diferentes conocimientos asociados al CTPC de las profesoras en formación. Es el caso de la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias, el no reconocimiento de los modelos científicos y mentales para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz como conocimiento pedagógico.

b) En cuanto al uso de las herramientas tecnológicas, las profesoras las consideran como herramientas o instrumentos mediadores del conocimiento siendo la visión tradicional de las TIC, desconociendo el papel fundamental de sus aportes a las formas de representar el pensamiento de forma más cercana al lenguaje, ligadas a la forma del pensamiento.

c) Aunque las participantes de la investigación para ese momento habían hecho parte de una formación disciplinar en elementos de la física cuántica, no lograban explicitar

los diferentes fenómenos naturales asociados a la naturaleza cuántica de la luz, generando la necesidad de plantear unos encuentros reflexivos enfocados en estos fenómenos cuánticos.

d) Presentaban una visión tradicional de la física cuántica a través de la tematización con una orientación fuerte a los elementos matemáticos, lo que les generaba ciertas angustias sobre cómo tratar estos “temas” al ciclo medio de la educación, en este caso, al grado once.

e) En general se lograba inferir una necesidad de formación relacionando los diferentes conocimientos planteados en el CTPC, es decir una formación enfocada en la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias, en las TIC como herramientas cognitivas y en una visión fenomenológica de la naturaleza cuántica de la luz, teniendo en presente el contexto histórico y social de la misma.

Objetivo específico # 2:

a) Para el diseño de una propuesta formativa integrando los elementos del CTPC, se debe enfocar en un proceso reflexivo permitiendo que los futuros docentes puedan plantear propuestas de diseño y desarrollo de materiales curriculares.

b) Para el diseño de la propuesta de formación (dados los hallazgos realizados en el análisis del CTPC inicial de las profesoras), se tuvieron en cuenta los diferentes conocimientos pertenecientes al CTPC el cual se buscaba desarrollar en el par colaborativo:

El conocimiento pedagógico – la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias, el conocimiento tecnológico – el uso de las TIC como herramientas cognitivas y el conocimiento del contenido – la naturaleza cuántica de la luz.

c) En relación con el conocimiento pedagógico (CP) se desarrollaron los siguientes ejes temáticos: Las visiones deformadas de la Ciencia y la actividad científica; la modelización como propuesta didáctica en el aula y el valor de los modelos y la modelización en las Ciencias y la Enseñanza de las Ciencias.

d) En relación con el conocimiento tecnológico (CT) y el conocimiento tecnológico pedagógico (CTP) los ejes temáticos trabajados fueron: la relación de las TIC, los medios didácticos tecnológicos y la enseñanza de las ciencias naturales; el impacto de las TIC en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y algunos estudios empíricos acerca de la integración de las TIC como herramientas cognitivas en el salón de clases de ciencias.

e) En cuanto al conocimiento del contenido (CC), el conocimiento pedagógico del contenido (CPC) y el conocimiento tecnológico del contenido (CTC), los ejes temáticos fueron: La historia de la naturaleza cuántica de la luz y su importancia en la enseñanza; la enseñanza de la física cuántica en la educación media usando las TIC como herramientas cognitivas y la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz a través de los modelos.

f) Para realizar estos encuentros de formación, se tuvieron en cuenta los siguientes elementos en cada sesión: propósitos de la sesión reflexiva – formativa; presentación de las preguntas orientadoras y lectura previa del material bibliográfico y discusión de preguntas orientadoras relacionadas con la temática tratada. Procurando potenciar la reflexión en pro del desarrollo del CTPC en cada una de las profesoras implicando una serie de acciones y conocimientos que posibilitarán el desarrollo de cada subcategoría analizada.

Objetivo específico # 3:

a) En los encuentros enfocados en el acompañamiento del desarrollo de la unidad didáctica por parte de las profesoras en formación, se pudieron demostrar los aportes de cada uno de los ejes temáticos trabajados en los encuentros formativos, dado que para el planteamiento de esta unidad didáctica debería articularse con cada uno de los conocimientos propios del CTPC.

b) Las profesoras estructuraron la unidad didáctica propuesta dándole el nombre de “Enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz a través de la modelización como estrategia didáctica y el uso de las TIC en el aula”, de la siguiente forma: Sesión No 1 – Conocimiento de la luz desde lo clásico vs lo cuántico. ¿Me estoy volviendo loco?; Sesión No 2 - ¿Cómo surgió la física cuántica?; Sesión No 3 – Luz ¿Onda o partícula?; Sesión No 4 - ¿Cuáles son los fenómenos cuánticos? ¿Cómo los asocio con mi vida? y ¿Qué ventajas trae el aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz?

c) En cada sesión se evidenciaba el acercamiento desde una visión fenomenológica de la naturaleza cuántica de la luz, para ello se presentaba el objetivo general y específico de aprendizaje con sus respectivas actividades, el planteamiento de modelos pertenecientes a la modelización como estrategia didáctica, realizando diferentes prácticas experimentales usando elementos físicos y tecnológicos procurando familiarizar a los estudiantes del colegio con dichos fenómenos cuánticos.

d) En la unidad didáctica propuesta por las profesoras en formación, se desarrolló la guía del estudiante (aplicada en los encuentros de formación) y la guía del profesor, la cual busca dar una serie de orientaciones para los docentes interesados en aplicarla con estudiantes del ciclo medio de la educación (según el MEN).

Objetivo específico # 4:

a) Para el análisis de la implementación de la unidad didáctica, las profesoras tuvieron en cuenta varios criterios de seguimiento en cada sesión, como fue: (1) las estrategias que usaban los estudiantes, (2) los aportes de las TIC como herramientas cognitivas y (3) la gestión didáctica del profesor investigador, logrando monitorear cada encuentro en relación a los aportes dados por cada criterio.

b) En la evaluación formativa se tuvo en cuenta los beneficios del trabajo en equipo aportando a la cooperación, colaboración y reflexión en cada encuentro, el discurso usado por los estudiantes en el momento de presentar los diferentes modelos propuestos por ellos, el trabajo experimental usando medios físicos y digitales, el cuestionario diagnóstico aplicado antes y después de la aplicación de la unidad didáctica, orientado por la rúbrica de evaluación propuesta en los diferentes niveles de desempeño.

c) Se realizó una prueba diagnóstica de selección múltiple en grupos colaborativos buscando realizar un comparativo entre los saberes de los estudiantes de colegio relacionados con la naturaleza cuántica de la luz, antes y después de la implementación de la unidad didáctica, arrojando resultados positivos del aprendizaje según la rúbrica de valoración propuesta por las profesoras en formación, ubicando sus saberes del nivel de desempeño más bajo al inicio de los encuentros, al nivel de desempeño más alto al finalizar la implementación.

d) Aunque el uso de los diferentes elementos tecnológicos dependió de los recursos de los integrantes de la experiencia investigativa (ya que en la institución no se contaban con los mismos), se logró el aporte de las TIC al aprendizaje mediante la representación de los diferentes fenómenos cuánticos, la organización de la información a través de la guía del estudiante, la manipulación y dinamismo de los hipertextos, la realización de cuestionarios en línea entre otros...teniendo en cuenta las tipologías de las TIC como herramientas cognitivas.

Objetivo específico # 5:

a) Las subcategorías que se usaron para analizar los diferentes conocimientos propios del CTPC fueron instrumentos que lograron reconocer en cada etapa el desarrollo en las distintas fases de la formación.

b) La modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias permite el desarrollo del CTPC en profesores en formación dado que sus conceptos dan una perspectiva más amplia y aterrizada de la actividad científica, pudiendo ser llevada al salón de clases, como también diferentes métodos de evaluación en los que se tengan en cuenta otras dimensiones del aprendizaje más allá del aspecto conceptual, vinculando la indagación, la experimentación, la construcción y uso de modelos en la comprensión de los fenómenos naturales.

d) El análisis del desarrollo del CTPC se realizó de forma discriminada con cada profesora participante de la formación, dado que cada docente tiene sus propias características, contextos, imaginarios, historia, necesidades y expectativas de formación profesional y personal, siendo un proceso no homogéneo,

e) Las investigaciones enfocadas en el desarrollo del CTPC en futuros licenciados en ciencias naturales permiten realizar una integración de las TIC en el aula de clase con un sentido reflexivo y crítico, aportando a las pesquisas enfocadas en la línea de formación de profesores.

f) Los resultados obtenidos mediante los diferentes instrumentos de seguimiento de la formación luego de la implementación de la unidad didáctica, permiten concluir que a medida que se avanzaba en el planteamiento, el CTPC de las profesoras se iba desarrollando acorde a los propósitos trazados al inicio de la formación.

g) 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 herramientas cognitivas en los procesos educativos, la aproximación del proceso de construcción, transformación y comunicación del conocimiento científico.

h) Se logra evidenciar la necesidad de generar espacios de aprendizaje de las ciencias naturales en la educación básica secundaria y educación media referente a los descubrimientos, avances y aplicaciones de la física moderna, propiamente de la física

cuántica, por ende se deben continuar realizando apuestas investigativas encaminadas en la enseñanza de la física cuántica en la secundaria, dados los contextos históricos y sociales, tanto del desarrollo de tecnologías basadas en estos fenómenos naturales como los cambios de cosmovisión de mundo en tiempo actuales de la segunda revolución cuántica con sus cambios de paradigma de uso de medios tecnológicos, de medios de comunicación, encriptación, modelación de fenómenos naturales, entre otros.

i) El acercamiento de los fenómenos cuánticos desde una visión fenomenológica, no solo permite que los estudiantes de secundaria se puedan familiarizar con este campo de la física moderna, sino que también permite desarrollar el pensamiento científico mediante la indagación, la elaboración de hipótesis, de modelos y de preguntas, el diseño de experimentos usando medios físicos y digitales y el lograr relacionar la física cuántica con diferentes campos del saber.

j) Las TIC como herramientas cognitivas permiten familiarizar la naturaleza cuántica de la luz desde una visión fenomenológica a través de sus diferentes bondades, como son, sus medios de representación, el dinamismo y su optimización, evidenciándose la motivación por el aprendizaje así como la creatividad por parte de los estudiantes participantes de la unidad didáctica propuesta en la presente pesquisa.

k) La educación secundaria y media, deben propender por permitir 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 se avanza los descubrimientos científicos y tecnológicos.

Limitaciones de la investigación:

- En una de las dos participantes de la propuesta formativa, se evidencio inicialmente una falta de liderazgo y de participación frente a las propuestas relacionadas con la unidad didáctica para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz con los estudiantes de grado once, sin embargo durante la fase de formación, se logró articular al trabajo en equipo, realizando aportes a su desarrollo, organización e implementación.

- Por ser un tipo de pesquisa realizada a través de un estudio de caso con dos profesoras en formación dadas las circunstancias mencionadas en la sección del contexto, no se logró profundizar en un tipo de investigación que pudiera abarcar un número mayor

de participantes pudiendo realizar un estudio más significativo en el aporte a la línea de investigación en formación de profesores de ciencias naturales, sin embargo los resultados arrojados permiten generar una visión clara y orientadora de las características que deben tener este tipo de apuestas enfocadas en la formación de profesores para la enseñanza de la física cuántica en los ciclos anteriores a la educación superior.

- En el contexto de esta investigación se pudo contar con el tiempo y dedicación para lograr la formación de las futuras licenciadas, así como el planteamiento e implementación de la unidad didáctica propuesta, dado que se desarrolló desde la dirección de tesis de pregrado, por ende, en futuras propuestas se debe procurar contar con todos los elementos que permitan realizar esta formación cumpliendo con las necesidades que requiere este tipo de pesquisas, elementos que en muchas situaciones son difíciles de cumplir por aspectos curriculares, políticos, sociales y motivacionales.

- El poco interés de parte de muchos profesores en desarrollar estas problemáticas en la educación secundaria, ya sea por no haber tenido formación en estos campos de la física moderna, o porque los documentos oficiales del MEN no explicitan su implementación en los diferentes ciclos de la educación anteriores a la superior, limitando las apuestas de la enseñanza de la física moderna en los currículos de los colegios de nuestro país. En la mayoría de los programas de formación de docentes de ciencias naturales y física existen muy pocos espacios académicos e investigativos con el fin de realizar este tipo de análisis y pesquisas, por ello es necesario fortalecer el trabajo de redes de docentes interesados en la formación para la enseñanza de la física cuántica en la secundaria posibilitando la discusión y reflexión de las prácticas pedagógicas y demás conocimientos derivados de la investigación en enseñanza de la física cuántica.

Propuestas de futuros trabajos:

- Se deben promover estrategias de formación de profesores de ciencias y física enfocadas en la enseñanza de la física cuántica, estudiando los diferentes modelos científicos de estos fenómenos, como por ejemplo el entrelazamiento cuántico como base de las comunicaciones cuánticas u otros fenómenos cuánticos que han permeado las tecnologías de la segunda revolución cuántica; apuestas educativas que deben ir acompañadas de la elaboración de estrategias que permitan la transposición didáctica de ese concepto. En general, en el campo de la formación de docentes de ciencias para la

enseñanza de la física cuántica hay muy pocas investigaciones en nuestro país, por ello este es el momento clave para realizar diversas apuestas en pro del desarrollo y democratización del conocimiento científico actualizado, desde diferentes estrategias educativas teniendo presente la importancia que tienen las herramientas tecnológicas para la representación de los diferentes fenómenos a esta escala del universo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abell, S. K., & Cennamo, K. S. (2003). 5. Videocases in elementary science teacher preparation. In *Using video in teacher education* (Vol. 10, pp. 103-129). Emerald Group Publishing Limited.
- Abubakar, N. & Umaru, M. (2020). Integrating information and communication technology in teaching physics beyond covid-19. *Journal of Educational Assessment and Pedagogical Process (JEAPP) an official publication of League of Educational Researchers International*. Vol. 1: Issue 1, Article 03.
- Acher, A., Arcà, M., & Sanmartí, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science education*, 91(3), 398-418.
- Acín, A., Bloch, I., Buhrman, H., Calarco, T., Eichler, C., Eisert, J., ... & Wilhelm, F. K. (2018). The quantum technologies roadmap: a European community view. *New Journal of Physics*, 20(8), 080201.
- Aczel, A. D. (2002). *Entanglement: the greatest mystery in physics*. Raincoast Books.
- Adúriz-Bravo, A. (1999). La didáctica de las ciencias como disciplina. *Enseñanza & Teaching: Revista interuniversitaria de didáctica*, 17.
- Aduriz-Bravo, A. (2001). Integración de la epistemología en la formación del profesorado deficiencias. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Adúriz-Bravo, A. (2005). Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica, 2005.
- Adúriz-Bravo, A., & Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales A model of scientific model for science teaching.
- Adúriz-Bravo, A. (2010). Concepto de modelo científico: una mirada epistemológica de su evolución. *Didáctica de las ciencias naturales: El caso de los modelos científicos*, 141-161.
- Adúriz-Bravo, A. (2013). Características epistemológicas clave de los modelos científicos relevantes para la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, (Extra), 22-26.
- Alonso, M. & Finn, E. (1995). *Physics*. Addison -Wesley Publishing Company, Inc., Reading Massachusetts. U.S.A.
- Allende, M. (2019). *La promesa de una nueva era tecnológica: la era cuántica*. Washington. BID.

- Amabile, A., Annunziata, A., Artiano, G., & Balzano, E. (2022). Experimentation and Research in the Physics Course for the Preparation of Primary School Teachers in Naples. *Education Sciences*, 12(4), 241.
- Amador, R. et al. (2005). La producción de modelos mentales explicativos en profesores en formación: una experiencia didáctica en la enseñanza de la Química. En: Encuentro Internacional De Enseñanza Y Aprendizaje De Las Ciencias Y Las Tecnologías, 2. Instituto Universitario de la Paz.
- Toaquiza, M. F. A., Toapanta, L. C. G., Chasi, A. M. C., & Lema, E. O. M. (2020). La Implementación de herramientas cognitivas en la Educación General Básica y Educación Básica Superior. *Dominio de las Ciencias*, 6(4), 1267-1278.
- Angeli, C. (2005). Transforming a teacher education method course through technology: Effects on preservice teachers' technology competency. *Computers & Education*, 45(4), 383-398.
- Angeli, C., & Valanides, N. (2005). Preservice elementary teachers as information and communication technology designers: An instructional systems design model based on an expanded view of pedagogical content knowledge. *Journal of computer assisted learning*, 21(4), 292-302.
- Angeli, C., & Valanides, N. (2008, March). TPCK in pre-service teacher education: Preparing primary education students to teach with technology. In AERA annual conference, New York.
- Angeli, C., & Valanides, N. (2009). Epistemological and methodological issues for the conceptualization, development, and assessment of ICT-TPCK: Advances in technological pedagogical content knowledge (TPCK). *Computers & education*, 52(1), 154-168.
- Aparicio Gómez, Ó. Y. (2015). Las TIC como herramienta cognitiva para la investigación escolar.
- Aparicio, O. & Ostos, O. (2018). Las TIC como herramientas cognitivas para la investigación. *Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía, RIIEP*. Universidad Santo Tomas. Colombia.
- Aquino, S. & Sena, A. (2021). Lives interdisciplinares em tempos de pandemia: uma utilização das TICS como recurso didático no ensino de ciencias. *Brazilian Journal of Development*. Curitiba, v.7, n.2, p. 13245-13249. Brazil.
- Artamónova, I., Mosquera, J. C., & Artamanov, J. D. M. (2017). Aplicación de force concept inventory en América Latina para la evaluación de la comprensión de los conceptos básicos de mecánica a nivel universitario. *Revista Educación en Ingeniería*, 12(23), 56-63.
- Azevedo, S. R. J. (2014). La composición histórica de la educación religiosa como componente curricular. *Revista Interamericana de Investigación Educación y Pedagogía RIIEP*, 7(1).

- Balzano, E. (2022). Pensamiento espacial, geométrico y física. Enfoque fenomenológico y formalización geométrica. Ejemplos de enseñanza y formación del profesorado. 11 Congreso nacional de enseñanza de la física y de la astronomía. Medellín. Colombia.
- Bonacci, E. (2021). On teaching quantum physics at high school. arXiv preprint arXiv:2109.00887.
- Borges, A. T. (1997). Um estudo de modelos mentais. *Investigações em ensino de ciências*, 2(3), 207-266.
- Bouchée, T., Thurlings, M., de Putter-Smits, L., & Pepin, B. (2021). Investigating teachers' and students' experiences of quantum physics lessons: Opportunities and challenges. *Research in Science & Technological Education*, 41(2), 777-799.
- Brahambhatt, R. (2021). How Albert Einstein's Quantum Theory of Light Transformed Physics: Never underestimate the power of light. interesting engineering.
- Britannica. (2021). Article: light in physics. Quantum theory of light. Encyclopaedia Britannica Group, Inc. Recuperado el 20 de octubre de: <https://www.britannica.com/science/light/Quantum-theory-of-light>.
- Bunge, M. (1974). Os conceitos de modelo. Modelos na ciência teórica. Bunge M. Teoria e realidade. São Paulo: Perspectiva, 11-40.
- Cala Vitery, F., & Eslava Castañeda, É. G. (2011). Mecánica cuántica. Sobre su interpretación, historia y filosofía. Editorial Tadeo Lozano.
- Candela, B. F. (2023). La ciencia del diseño educativo. Universidad del Valle.
- Candela, B. F. (2017). Adaptación del instrumento metodológico de la representación del contenido (ReCo) al marco teórico del CTPC. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias: Góndola, Ens Aprend Cienc*, 12(2), 158-172.
- Candela, B. F. (2018). Desarrollo del conocimiento tecnológico y pedagógico del contenido de la química, de profesores en formación a través de la reflexión de los PaP-eRs y videos. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias: Góndola, Ens Aprend Cienc*, 13(1), 101-119.
- Candela, B. F. (2020). *Integrando las TIC a la escuela de la sociedad del conocimiento: Formación y desarrollo profesional docente*. Universidad del Valle.
- Carroll, J. M., & Olson, J. R. (1987). Mental Models in Human-Computer Interaction. Research Issues about What the User of Software Knows. Workshop on Software Human Factors: Users' Mental Models (Washington, District of Columbia, May 15-16, 1984).

- Cassinello, A & Sanchez, J. (2012). (2013). La realidad cuántica. Grupo Planeta (GBS).
- Castiblanco, O. & Nardi, R. (2014) (b). Una caracterización de la didáctica de la física. Memorias del Segundo y Tercer Foro de Experiencias Didácticas sobre CSC y Primer Encuentro de grupo Alternaciencias. MaDoQuim: Maestría en Docencia de la Química.
- Cennamo, K. S. (1996). The development of integrated media cases for use in elementary science teacher education. *Journal of Technology and Teacher Education*, 4(1), 19-36.
- Cepillo, T. & Saye, J. (2009). Estrategias para la Elaboración de Estudios Sociales de futuros profesores para integrar la tecnología con eficacia: modelos y prácticas de temas de actualidad en la tecnología y la formación del profesorado, No. 9 (1). Recuperado de <http://www.citejournal.org/vol9/iss1/socialstudies/article1.cfm>.
- Chamizo, J. (2010). Los modelos en la enseñanza de las ciencias. En F. Martínez (Ed), Modelos y Modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales (13-18). México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chamizo, J. & Franco, A. (2010). Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales. México: Universidad Nacional Autónoma de México. p. 13-19, 51-63.
- Chang, C. R., Lin, Y. C., Chiu, K. L., & Huang, T. W. (2020). The Second Quantum Revolution with Quantum Computers. *AAPPS Bulletin*, 30(1).
- Coll, C., Mauri, T., & Onrubia, J. (2008). Los entornos virtuales de aprendizaje basados en el análisis de casos y la resolución de problemas. *Los entornos virtuales de aprendizaje basados en el análisis de casos y la resolución de problemas*, 213-232.
- Compton, A. H. (1923). A quantum theory of the scattering of X-rays by light elements. *Physical review*, 21(5), 483.
- Covián R., E. & Celemin M., M. C. (2008). Diez años de evaluación de la enseñanza-aprendizaje de la mecánica de Newton en escuelas de ingeniería españolas. Rendimiento académico y presencia de preconceptos. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(1), 23-42.
- Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1379-1401.
- Cuellar, A. (2016). Informática Cuántica: Un acercamiento a sus métodos, desarrollos y aplicaciones. Trabajo de grado: Maestría en Informática. Universidad Santiago de Cali. Colombia.
- Cuellar, A. (2020). Informática cuántica. Un acercamiento a sus métodos, desarrollos y aplicaciones en el campo de la Ingeniería. Libro publicado por la Editorial Académica Española: OmniScriptum Publishing Group. ISBN 978-620-2-80961-0

- Cuellar, 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*, 2 (1), 40 – 56. Universidad del Valle
- Cuellar, A. (2021B). Informática Cuántica: Un acercamiento a sus métodos, desarrollos y aplicaciones. *Revista Caja de Herramientas* 2 (2), 46 – 59. Universidad del Valle.
- Cuellar, A. (2022). Formación de profesores para la enseñanza de la física cuántica en el colegio. 11 congreso nacional de enseñanza de la física y de la astronomía. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia.
- Cuesta, Y & Mosquera, C. (2016). Algunas reflexiones en torno a las implicaciones de la NdC en educación en ciencias: el caso de la enseñanza de la mecánica cuántica. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*.
- Cuesta-Beltrán, Y. J. (2018). Estado da arte: tendências do ensino da física quântica entre 1986 e 2016. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (44), 147-166.
- De-Broglie, L. (1926). Ondes et Mouvements (Waves and Motions).
- De-Broglie, L. (1928). La Mécanique Ondulatoire (Wave Mechanics).
- De-Broglie, L. (1939). Matter and Light: The New Physics.
- Torre, A. C. D. L. (2011). *Física cuántica para filo-sofos*. Fondo de Cultura Económica.
- de Medeiros, E. A., & Amorim, G. C. C. (2017). Análise textual discursiva: dispositivo analítico de dados qualitativos para a pesquisa em educação. *Laplage em revista*, 3(3), 247-260.
- Dirac, P. (1928). “Über die Quantentheorie des Elektrons”. *Phys. Zeits.*, 29. pp. 561-563
- Disessa, A. A. (2004). Metarepresentation: Native competence and targets for instruction. *Cognition and instruction*, 22(3), 293-331.
- Dodge, B. (1997). Building blocks of a WebQuest. *Recuperado de: <http://projects.edtech.sandi.net/staffdev/buildingblocks/p-index.htm>*.
- Dowling, J. P., & Milburn, G. J. (2022). Quantum technology: the second quantum revolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 361(1809), 1655-1674.
- Einstein, A. (1905). Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt [AdP 17, 132 (1905)]. *Annalen der Physik*, 517, 164-181.
- Eisberg, R., & Resnick, R. (1985). *Quantum physics of atoms, molecules, solids, nuclei, and particles* (p. 864).

- Eisberg, R. & Resnick R. (2000). Física cuántica. Átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas. Limusa Wiley.
- Escalada, L. T., Rebello, N. S., & Zollman, D. A. (2004). Student explorations of quantum effects in LEDs and luminescent devices. *The Physics Teacher*, 42(3), 173-179.
- Fanaro, M., Otero, M. & Arlego, M. (2007). (2007). Software de simulación y reconstrucción de fundamentos de la mecánica cuántica en la escuela. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, (2), 4-12.
- Fanaro, M. (2009). La enseñanza de la mecánica cuántica en la Escuela Media (tesis de doctorado). *Universidad de Burgos, Burgos, España*.
- Fanaro, M. D. L. Á., & Otero, M. R. (2011). Enseñanza de la mecánica cuántica en la escuela media: análisis de los aspectos afectivos de los estudiantes. *Revista de investigación*, 35(73), 85-118.
- Faúndez, C. A., Rojas, Y. G., Pinto, A. A., & Astudillo, H. F. (2015). Taller de física cuántica: un método para introducir conceptos fundamentales en una actividad extracurricular. *Formación universitaria*, 8(2), 53-62.
- Fernández, I., Gil-Pérez, D., Valdés, P., & Vilches, A. (2005). ¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos. *Cómo promover el interés por la cultura científica*, 29-62.
- Fernández, P. (2014). Teorías y modelos en la enseñanza -aprendizaje de la Física Moderna. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Argentina.
- Fernandez, C. (2015). Revisitando a base de conhecimentos e o conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK) de professores de ciências. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 17, 500-528.
- Ferreira de Oliveira, F., Miranda, D & Scofano, R. (2007). Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29, 447-454.
- Ferreyra, H. (2014). Mesas Socioeducativas para la Inclusión y la Igualdad. Un programa “De todos con todos”. Una experiencia en construcción. *Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía, RIIEP*, 7(2).
- Feynman R. (1966). *The Feynman lectures on physics: volume III: quantum mechanics*.
- Feynman R. (1995). *Six easy pieces: Essentials of physics explained by its most brilliant teacher*. Basic Books.

- Feynman, R. (1996). Feynman lectures on computing. Addison Wesley. New York. U.S.A.
- Figuerola, A. & Orjuela, J. (2015). La enseñanza de la física moderna en la educación media una aproximación. Universidad Distrital Francisco José de caldas. Facultad de Ciencias y Educación proyecto curricular de licenciatura en física. Colombia.
- Fleck, L. (1986). Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache: Einf. in d. Lehre von Denkstil u. Denkkollektiv.
- Flórez, P. & Gonzales, M. (2021). Diseño de unidades didácticas mediante el aprendizaje basado en problemas para la enseñanza de las ciencias. *Revista científica*, (41), 134-149.
- Freedman, Y. & Zemansky, S. (2009). *Física Universitaria con física moderna. Volumen 2*. Decimosegunda edición. Pearson Educación.
- Galagovsky, L. (2010). Didáctica de las ciencias naturales: el caso de los modelos científicos. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- García, E. (2009). Historia de las ciencias en textos para la enseñanza neumática e hidrostática. Programa Editorial Universidad del Valle.
- García, E. et al. (2017). Practicas experimentales en textos universitarios. Implicaciones en la enseñanza de las ciencias naturales. Programa editorial Universidad del Valle.
- Garcia, M., Ortells, J. S., de la Calle, F. M., & De la Sen Fernández, M. L. (2011). La rúbrica de evaluación como herramienta de evaluación formativa y sumativa. *IX Jornades de xarxes d'investigació en docència universitària: Disseny de bones pràctiques docents en el context actual*, 144.
- Garritz, A. et al. (2014). El conocimiento pedagógico del contenido. *Educación Química*, v. 15, n. 2, 2004. Disponible em: . Acceso em: 15 jan.
- Giannelli, A. & Tarsitani, C. (2004). TEACHING QUANTUM PHYSICS TO FUTURE SCHOOL TEACHERS. *Quality Development in Teacher Education and Training*, 441.
- Giere, R. (1988). Introduction to cognitive models of science. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Giere, R. (1992). La explicación de la ciencia: un acercamiento cognoscitivo. México: Consejo nacional de ciencia y tecnología.
- Giere, R. (1999). Using models to represent reality. In: MAGNANI, L.; NERSESSIAN, N. J.; THAGARD, P. (Ed.). *Model-based reasoning in scientific discovery*. New York: Kluwer, 1999. p. 41-57.
- Gilbert, J. & Boulter, C. (2000). Developing models in science education. Dordrecht: Kluwer.

- Giraldo, Y. (2017) La Fascinación de la Mecánica Cuántica. *In: Ciclo de Conferencias Encuentro con la Ciencia, 26 Abr 2017*. Universidad de Nariño. Colombia.
- Godoy, O. (2018). Modelos y Modelización en ciencias: una alternativa didáctica para los profesores para la enseñanza de las ciencias en el aula. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis. Memorias, Octavo Congreso Internacional de formación de Profesores de Ciencias para la Construcción de Sociedades Sustentables*. Octubre 10, 11 Y 12 de 2018, Bogotá.
- Gómez, D. H. A., & Puentes, E. T. (2017). Unidades didácticas. Herramientas de la enseñanza. *NORIA investigación educativa*, 1(1), 41-47.
- Gonzales, P. (2018). La naturaleza de la luz. Universitat do Valencia.
- Gonzales, E., Muñoz, Z. & Solbes, J. (2020). La enseñanza de la física cuántica: Una comparativa de tres países. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 15(2), 239-250.
- Grajales, H. (2017). La enseñanza de la Física Moderna en la educación básica: una aproximación desde el principio de incertidumbre. Tesis de pregrado. Universidad Pedagógica Nacional. Facultad De Ciencias Y Tecnología. Departamento de Física. Colombia.
- Gratton, J. (2004). Introducción a la Mecánica Cuántica. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Greca, I. (1996). Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de física general, estudiantes de postgrado y físicos profesionales. *Revista Investigações em Ensino de Ciências*, V1 (1), 95-108.
- Greca, I. & Moreira, M. (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, n. 15, v. 2, p. 107-120.
- Gros, B. (2013). La educación más allá de la escuela: del espacio-lugar al espacio- nodo. En Rodríguez Illera, J. L. (Comp.) (2013). *Aprendizaje y educación en la sociedad digital*. Barcelona: Universitat de Barcelona. DOI: 10.1344/106.000002060
- Guevara, N. (2017). Modelos y modelización como estrategia de producción de conocimiento en la enseñanza de la mecánica cuántica. *Ponencia: Mesa - Pedagogías Contemporáneas y Didácticas*. Universidad Santo Tomás. Colombia.
- Gutiérrez, J. (2000). Fundamentos pedagógicos y didácticos. *En: Palacios, F. J. P.; Cañal De Leon, P. (Ed.). Didáctica de las ciencias experimentales: teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, Alcoy: Marfil. p. 109-139.
- Gutierrez, R. (2005). Polisemia actual del concepto “modelo mental”. Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10 n. 2, p. 209-226.
- Heisenberg, W. (1932). *The physical principles of the quantum theory*. Courier Corporation.

- Henriksen, E., et al. (2014). Relativity, quantum physics and philosophy in the upper secondary curriculum: challenges, opportunities and proposed approaches, *Phys. Educ.* 49, 678.
- Hernández, X. (2002). Didáctica de las ciencias sociales, geografía e historia. Barcelona: Graó.
- Hestenes, D. (1996). Modeling methodology for physics teachers. In *AIP conference proceedings* (Vol. 399, No. 1, pp. 935-958). American Institute of Physics.
- Hewitt, P. (2007). Física Conceptual. Editorial Pearson. Addison Wesley. Décima Edición.
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, n. 14, v. 5, p. 541-566.
- Hoekzema, D., et al. (2007). The particle/wave-in-a-box model in Dutch secondary schools. *Phys. Educ.* 42, 391.
- ICESI. (2019). Licenciatura en Ciencias Naturales. Syllabus del curso: física moderna y contemporánea.
- ICESI (2022). Syllabus, micro-currículos, estructura de programas y planes de estudio. Recuperado de <https://www.icesi.edu.co/es/>
- Islas, S. & Pesa, M. (2004). Estudio comparativo sobre concepciones de modelo científico detectadas en física. *Ciencia, docencia y tecnología*, XV, 117-144.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. & Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. In *Didáctica de las ciencias experimentales: teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 35-64). Editorial Marfil.
- Izquierdo, M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modernizar. In *Anales de la Asociación Química Argentina* (Vol. 92, No. 4-6, pp. 115-136). Asociación Química Argentina.
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar Ciencias: una nueva ciencia. *Enseñanza de las ciencias sociales*.
- Jaeger, L. (2018). The Second Quantum Revolution. From Entanglement to Quantum Computing and Other Super-Technologies. *Springer Nature Switzerland*.
- Jarpa, M., Haas, V. & Collao D. (2017). Escritura para la reflexión pedagógica: rol y función del Diario del Profesor en Formación en las Prácticas Iniciales. *Estudios pedagógicos (Valdivia)*, 43(2), 163-178.

- Jiménez, C. (2014). Propuesta pedagógica para el uso de laboratorios virtuales como actividad complementaria en las asignaturas teórico-prácticas. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 16
- Johnson, P. (1983). Mental models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness. *Cambridge: Harvard University Press*.
- Jonassen, D. Reeves, T. (1996). Learning with technology: using computers as cognitive tools. *Handbook of research for educational communications and technology* (PP 693-719). New York. Macmillan.
- Jonassen, D., Carr, C. & Yueh, H. (1998). Computers as Mindtools for engaging learners in critical thinking. *TechTrends*, 43(2), 24-32.
- Jonassen, D. (2000). Computers as Mindtools for Schools: Engaging Critical Thinking. *New Jersey: Prentice – Hall*.
- Joshua, S. & Dupin, J. (2005). *Introducción a la didáctica de las ciencias y la matemática*. Ediciones Colihue SRL.
- Justi, R. & 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, p. 369-387.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 2, n. 24, p. 173-184.
- Justi, R., et al. (2011). Experiencias de formación de profesores de ciencias latinoamericanos sobre modelos y modelaje. *Revista enseñanza de las ciencias*, 2011, 29(3), 413-426. *Investigación didáctica*.
- Kaur, T. et al. (2017). Teaching Einsteinian Physics at Schools: Part 1, Models and Analogies for Relativity. *Physics Education, Volume 52, Number 6*. The University of Western Australia. Australia
- Kemmis, S. & McTaggart, R. (1988). ¿Cómo planificar la investigación-acción?. *Barcelona: Laertes*.
- Koehler, J., & 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.
- Koehler, J., Shin, S., y Mishra, P. (2011). How do we measure CTPC? Let me count the ways. In R. N. Ronau, C. R. Rakes, & M. L. Niess (Eds.), *Educational technology, teacher*

knowledge, and classroom impact: A research handbook on frameworks and approaches (pp.16-31). Information Science Reference, Hershey, PA

- Kozma, R. & Rusell, J. (1997). Multimedia and understanding expert and novices responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 117- 129.
- Kriegel, G., Miclniezuk, F., & Martínez, M. (2020). Formación de base en física moderna en una muestra de estudiantes de profesorado de educación secundaria de física, en concurrence con su título de base, de la provincia de córdoba. Instituto Superior de Estudios Pedagógicos. Argentina.
- Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A., & Van Joolingen, W. R. (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Physical review physics education research*, 13(1), 010109.
- Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A., & Van Joolingen, W. R. (2018). Key topics for quantum mechanics at secondary schools: a Delphi study into expert opinions. *International journal of science education*, 41(3), 349-366.
- Kuhn, T. S. (1972). La estructura de las revoluciones científicas. Mexico City.
- Lamas, P., & Vargas, C. J. (2016). Los niveles de reflexión en los portafolios de la Práctica Pre Profesional Docente. *REDU: revista de docencia universitaria*.
- Lautesse, P., Vila Valls, A., Ferlin, F., Héraud, J. L., & Chabot, H. (2015). Teaching Quantum Physics in Upper Secondary School in France: ‘Quanton’Versus ‘Wave–Particle’Duality, Two Approaches of the Problem of Reference. *Science & Education*, 24, 937-955.
- Leal, A. (2021). El papel de los instrumentos científicos en la enseñanza de las ciencias: Un estudio histórico filosófico asociado a la radioactividad. Tesis de Doctorado. Doctorado en Educación énfasis en Ciencias. Universidad del Valle.
- Lenin, F., Morán, F. & Albán, J. (2017). Formación del docente y su adaptación al modelo TPACK. *Revista Ciencias Pedagógicas e Innovación*. Vol. 5, N° 1, pp.51-60. Ecuador.
- Le´vy-Leblond, J. (2003). On the nature of quantons. *Science & Education*, 12(5–6), 495–502.
- Linares, O. (2008). Evaluación de una Unidad Didáctica orientada a la Enseñanza y el Aprendizaje del Teorema de Pitágoras en un ambiente de Geometría Dinámica. Trabajo de grado de maestría. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Maracay "Rafael Alberto Escobar Lara", Maracay.
- Lombardi, O. (1998). La noción de modelo en ciencias. *Educación en Ciencias*, 2(4), 5-13.

- Lopes, J. & Costa, N. (2007). The evaluation of modelling Competences: difficulties and potentials for the learning of the sciences. *International Journal of Science Education*, 29(7), 811-851.
- López, G. (2014). Enseñanza de la mecánica cuántica en la escuela media a partir del concepto de superposición. Trabajo de Grado. Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- 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, p. 370-391.
- Loughran, J. et al. (2014). 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*, 73rd, 2000. New Orleans.
- Maeng, J. et al. (2013). Preservice Teachers CTPC: Using Technology to support Inquiry instruction. *Journal of science Education and Technology*. 22 (6). Pp 838-857
- Magnusson, S. et al. (1999). Nature, source and development of pedagogical content knowledge. In: Gess-Newsome, J.; Lederman, N. G. *Examining pedagogical content knowledge: the construct and its implications for science education*. Dordrecht: Kluwer. p. 95-132.
- Maldonado, L. & Maldonado, P. (2000). Nuevas tecnologías aplicadas a la educación. Estado del arte de la investigación 1990-1999. Nuevas tecnologías aplicadas a la educación. *Estado del arte de la investigación*. 1990-1999 (pp. 143-203). Bogotá: ICFES.
- Maldonado, L. et al. (2008). Comunidades de aprendizaje mediadas por redes informáticas (U. d. Sabana, ed.). *Revista educ.educ. Facultad de Educación. Universidad de la Sabana*, 11 (1), pp. 199-224.
- Maldonado L. & Serrano, E. (2008). Construcción de una red de aprendizaje. *Nomadas*, pp. 211-222.
- Mansoor, D. (2010). Evolución de los modelos científicos: ¿Experimentos, paradigmas o controversias? El caso del modelo atómico. En *Didáctica de las ciencias naturales. El caso de los modelos científicos. Colección "Nuevos paradigmas"*.
- Marhuenda, P. (2018). La naturaleza de la luz. Breve historia bibliográfica. Universitat de valència. España.
- Matos, J. et al. (2019). Aprendizagem Significativa por meio do Uso de TICs: Levantamento das Produções da Área de Ensino de 2016 a 2018. *RENOTE-Revista Novas Tecnologias na Educação*, 17(1), 466-475.

- MEN. (2004). Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales. Proyecto Ministerio de Educación Nacional - Ascofade (Asociación Colombiana de Facultades de Educación) para la formulación de los estándares en competencias básicas. 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. Proyecto de Candidatura Doctoral. Doctorado Interinstitucional en Educación. Santafé de Bogotá. Colombia.
- Michellini, M., Ragazzon, R., Santi, L., & Stefanel, A. (2000). Proposal for quantum physics in secondary school. *Physics Education*, 35(6), 406.
- Michellini, M., Ragazzon, R., Santi, L. & Stefanel, A. (2004) Implementing a formative module on quantum physics for preservice. Teacher training: Quality Development in Teacher Education and Training. *Girep book of Selected contributions of the Second International Girep Seminar, 1-6 September 2003*, Udine. Italy
- Mirete, A. (2010). Formación docente en tics. ¿Están los docentes preparados para la (r)evolución TIC?. *International Journal of Developmental and Educational Psychology*, vol. 4, núm. 1, 2010, pp. 35-44 Asociación Nacional de Psicología Evolutiva y Educativa de la Infancia, Adolescencia y Mayores Badajoz, España
- Mishra, p. & Koehler, M. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teacher college record*, 108 (6), 1017-1054.
- Moraes, R. (2003). Uma Tempestade de Luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. *Ciência & Educação, São Paulo*, v.9, n.2, p. 191 – 211.
- Moraes, R. & Galiazzi, M. (2006). Análise Textual Discursiva: processo constitutivo de múltiplas faces. *Ciência & Educação, São Paulo*, v.12, n.1, p. 117-128, abr.
- Moreira, M. (1996) Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 3, n. 1, p. 193-232.
- Moreno-Rodríguez, A., Brandão, E. & Galiazzi, M. (2021). Análise textual discursiva: compreensões, movimentos e aplicações na pesquisa. *Campo Abierto*, v. 40, n. 1, p. 139-154.
- Morrison, R. (2023). Didactic unit: what it is for, elements and examples. In: *warbletoncouncil for education*.
- Mott, F. (1929). “The Scattering of Fast Electrons by Atomic Nuclei”. *Proc. Roy. Soc. (London)*. “Über die Streuung von Strahlung durch freie Elektronen nach der neuen relativistischen Quantendynamik von Dirac”. *Zs. f Phys.*

- Michellini, M., Ragazzon, R., Santi, L., & Stefanel, A. (2002). Proposal for quantum physics in secondary school. *Physics Education*, 35(6), 406.
- 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*, 11(27), e10754.
- Muñoz, L. & Obando, N. (2022). Enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz a través de la modelización como estrategia didáctica y el uso de las TIC en el aula. Un estudio de caso con estudiantes de la educación media. Tesis de Pregrado. Licenciatura en ciencias naturales. Escuela de Ciencias de la Educación. Universidad ICESI.
- Navarro, J. (2017). El principio de incertidumbre de Heisenberg. *Colección National Geographic. Ciencia*.
- Negret, J. (2020). Curso virtual: Física cuántica y sus derivados tecnológicos. Física para viajar las estrellas. *Astronomía Didáctica*.
- Nicolaou, C. & Constantinou, C. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52-73.
- Nielsen, M. & Chuang, I. (2010). Quantum Computation and Quantum Information, 10th Anniversary Edition. Cambridge University Press. Cambridge, U.S.A.
- Niess, M., Van, E., y Gillow, H. (2010). Knowledge Grow in Teaching Mathematics/Science with spreadsheets. *Journal of digital Learning in Teacher Education*, 27 (2), 42-52.
- Norma. (2006). Física 2: Con estándares y competencias. Grupo Editorial Norma.
- Norman, D. (1983) Some observations on mental models. In: GENTNER, D.; STEVENS, A. L. (Ed.). *Mental models*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- NTI. (2003). Programaciones, unidades didácticas y técnicas de comunicación. Grupo NTI - La gran Canaria. España.
- Oliva, J., Aragón, M. & Cuesta, J. (2015). The competence of modelling in learning chemical change: a study with secondary school students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13, 751-791
- Oliva, J. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. Different definitions for the idea of modeling in science education. *Enseñanza de las ciencias*, 37(2), 5-24.
- Olsen, R. (2002). Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: a study in Norway. *International Journal of Science Education ISSN 0950-0693 print/ISSN 1464-5289*. Taylor & Francis Ltd.

- Oppenheimer, T. (1997). The computer delusion. *The Atlantic Monthly*, 280(1), 45-62.
- Ortiz, H. (2007). Fundamentos de criptografía cuántica. Tesis de grado. Universidad EAFIT. Departamento de informática y sistemas. Medellín. Colombia.
- Otero, M. (1999). Psicología cognitiva, representaciones mentales e investigación en enseñanza de las ciencias. *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), 99-119
- Papaevripidou, M., Nicolaou, C. & Constantinou, C. (2014). On Defining and Assessing Learners' Modeling Competence in Science Teaching and Learning. Paper to be presented at the annual meeting of American Educational Research Association (aera) 2014, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- Peñata, A. et al. (2016). Implementación de simulaciones virtuales en la enseñanza de física y química para la educación media en la subregión de Urabá, Antioquia. Universidad Pontificia Bolivariana Escuela De Ingenierías. Maestría En Ciencias Naturales Y Matemática. Medellín, Colombia.
- Perafán, G., Badillo, E. & Bravo, A. (2016). Conocimiento y emociones del profesorado. Editorial Aula de Humanidades.
- Perafan, G. & Tinjacá, F. (2016). Aspectos generales y primeros avances para el encuadre de una investigación sobre el Conocimiento Profesional Especifico del profesorado de química asociado a la noción de nomenclatura química. Conocimiento y emociones del profesorado. Editorial aula de humanidades.
- Perez, A. (2017). La revolución cuántica de Max Planck. Colección National Geographic.
- Planck, M. (1901). Über des gesetzes der energieverteilung in normal spectrum. *Annalen der Physik*, 309(3), 564-566.
- 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. Tesis de Investigación. Maestría en Educación énfasis en Enseñanza de las Ciencias Naturales. Universidad del Valle. Santiago de Cali. Colombia.
- Porlán, R., & Rivero, A. (1998). *El conocimiento de los profesores: una propuesta formativa en el área de ciências* (No. Sirsi) i9788487118753).
- Purwaningsih, E. et al. (2019). TPACK development of prospective physics teachers to ease the achievement of learning objectives: A case study at the State University of Malang, Indonesia. The 2018 International Conference on Research and Learning of Physics. IOP Conf. Series: *Journal of Physics: Conf. Series* 1185 (2019) 012042.
- Putri, S. et al. (2021). Fostering TPACK in pre-service physics teachers during the covid-19 pandemic. *Journal of Physics: Conference Series*. 2104 012006.

- Raviolo, A., Ramírez, P., & López, A. E. (2010). Enseñanza y aprendizaje del concepto de modelo científico a través de analogías.
- Resnick R. (1972). Basic concepts in early quantum theory. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A.
- Ríos, G. (2019). El uso de simuladores como estrategia para mejorar la actitud hacia la ciencia: caso movimiento parabólico. Instituto de Educación y Pedagogía. Maestría en Educación Matemática y Ciencias Experimentales. Universidad del Valle.
- Rist, R. C. (1977). On the relations among educational research paradigms: From disdain to detente. *Anthropology & Education Quarterly*, 8(2), 42-49.
- Redondo, M. (2005). Solución Europea en física y química. La vanguardia. 31 de Marzo. España.
- Robitaille, P. M. (2007). Max Karl Ernst Ludwig Planck:(1858–1947). *Progr. Phys*, 4, 117-120.
- Rocha, H. (2018). Procesos de modelación generados por estudiantes de educación media alrededor del fenómeno de dilatación térmica. Maestría En Educación. Facultad De Ciencias Y Educación. Universidad Distrital Francisco José de Caldas
- Rodríguez-Gallego, M. R. (2018). Evidenciar competencias con rúbricas de evaluación. *EA, Escuela Abierta*, 17, 117-134.
- Roldan, J.; Ben-Dov, Y. & Guerrero, G. (2004). La Complementariedad: una Filosofía para el siglo XXI. Programa Editorial. Universidad del Valle.
- Santillana. (2014). Física II. Los caminos del saber. Editorial Santillana S.A.
- Salvat, M. (1973). La nueva física. Biblioteca Salvat de grandes temas. España.
- Saye, J., & Brush, T. (2007). Strategies for Preparing Pre-Service Social Studies Teachers to Effectively Integrate Technology: Models and Practices. Indiana University School of Education.
- Schmidt, D; Baran, E; Thompson, A; Mishra, P; Koehler, M; Shin, T. (2009). Technological pedagogical content knowledge (CTPC): The development and validation of an assessment instrument for preservice teachers. *Journal of Research on Technology in Education*, volume 42, número 2, pp 123–149.
- Schober, J. (2019). Modeling Instruction in High School Physics. John Burroughs School, St. Louis Missouri. U.S.A.
- Schwarz, C. (2002). Is there a connection? The role of meta-modeling knowledge in learning with models. In the Proceedings of International Conference of Learning Sciences. Seattle, WA

- SEM. (2014). Diplomado Formación docente en pedagogía mediada con Tecnologías de la Información y la Comunicación. Proyecto Cali Vive Digital Tit@ Educación Digital Para Todos.
- Serrano, G. (1998). Investigación cualitativa: retos e interrogantes. Madrid: La Muralla.
- Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15 (2), 4-14.
- Sinarcas, V. & Solbes, J. (2013) Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la Física Cuántica en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias* 31 (3), pp. 9-25
- Solbes, J., Muñoz, Z. y Ramos, G. (2019). Enseñanza de la estructura atómica de la materia en Colombia. *Rev. His. Educ. Colomb.* 22(22), 117-140. <https://doi.org/10.22267/rhec.192222.54>
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J., & Coulson, R. L. (1991). Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. In *Constructivism in education* (pp. 85-107). Routledge.
- Srisawasdi, N. (2012). The role of TPACK in physics classroom: case studies of preservice physics teachers. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 46 (2012) 3235 – 3243.
- Staderman H., van den Berg, E. & Goedhart, M. (2019). Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries: Different perspectives on a challenging topic. *Phys. Rev. Phys. Educ.*
- Starman, A. (2013). The case study as a type of qualitative research. *Journal of contemporary educational studies*. Pp 28–43.
- Stenhouse, L. (1985). Action research and teacher's responsibility for educational process. In research as a basis for teaching. Eds. Rudduks, J. and Hopkins, D. London: Heinemann.
- Summers, J. et al. (2021). The Importance of Mental Models in Implementation Science. CONCEPTUAL ANALYSIS article. *Sec. Public Mental Health*.
- Tamayo, O. (2006). Representaciones Semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. *Revista Educación y Pedagogía*, XVIII (45), 37-49.
- Taylor, G. (1909). Interference fringes with feeble light. In *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* (Vol. 15, No. 1, pp. 114-115).
- Taylor, S. & Bogdan, R. (1996). Introduction to qualitative research methods: the search for meanings.

- Tony, S. et al. (2021). Higher education's response to the covid-19 pandemic Building a more sustainable and democratic future. *Council of Europe Higher Education Series No. 25*.
- Tuay, R. & Céspedes, N. (2017). Modelos y modelización como estrategia didáctica para abordar la dualidad-onda partícula. X congreso internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias. ISSN (DIGITAL): 2174-6486. Sevilla. España.
- Tuay, R. & Céspedes, N. (2018). Modelización en mecánica cuántica desde la contextualización. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis. Número Extraordinario. ISSN impreso: 0121-3814, ISSN web: 2323-0126* Memorias, Octavo Congreso Internacional de formación de Profesores de Ciencias para la Construcción de Sociedades Sustentables. Octubre 10, 11 Y 12 de 2018, Bogotá. Colombia.
- Urban, M. & Ramos de Freitas, L. (2006). Física moderna na escola. Dep. de Física Aplicada, Inst. de Física "Gleb Wataghin", Unicamp, Campinas, São Paulo & Esc. Estadual "Prof. Aníbal de Freitas", Campinas, São Paulo. Brasil.
- Urban, H. (2012). Integrating technology into pre-service Physics teachers' pedagogical content Knowledge. University of Vienna
- Uribe, C. & Solarte, C. (2017). Educar mentes para pensar. Desarrollo del pensamiento científico en el aula. Programa editorial: Universidad del Valle. Colombia.
- Usto (2023). S.U. Umarov Physical – Technical Institute. Nobel prize in physics 2022. Tayikistán.
- Valanides, N. & Angeli, C. (2006). Preparing preservice elementary teachers to teach science through computer models. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education - Science*, 6(1), 87-98.
- Valanides, N. & Angeli, C. (2008a). Learning and teaching about scientific models with a computer modeling tool. *Computers in Human Behavior*, 24, 220-233.
- Valanides, N. & Angeli, C. (2008b). Professional development for computer-enhanced learning: A case study with science teachers. *Research in Science and Technological Education*, 26(1), 3-12.
- Valanides, N. & Angeli, C. (2008c). Distributed cognition in a sixth-grade classroom: An attempt to overcome alternative conceptions about light and color. *Journal of Research on Technology in Education*, 40(3), 309-336.
- Valcárcel, M. & Sánchez, G. (2000). La formación del profesorado en ejercicio: in: palacios, f. J. P.; cañal de leon, p. (ed.). *Didáctica de las ciencias experimentales: teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, alcoy: marfil. P. 557-581.

- Valverde-Berrocoso, J., Garrido, M. & Fernandez, M. (2014). Enseñar y aprender con tecnologías: un modelo teórico para las buenas prácticas con TIC. Teoría de la educación: educación y cultura en la sociedad de la información. Universidad de Salamanca.
- Van Driel, J., Verloop, N. & De Vos, W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, p. 673-695.
- Van Driel, J. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21, pp. 1141-1153
- Velasco, J. J., & Buteler, L. M. (2017). Simulaciones computacionales en la enseñanza de la física: una revisión crítica de los últimos años.
- Vera, L. (2008) La Rúbrica y la Lista de Cotejo, Departamento de Educación y Ciencias Sociales. Universidad Interamericana de Puerto Rico
- Viafara, R. (2015). La relación de las tecnologías de la información y la comunicación, los medios didácticos tecnológicos y la enseñanza de las ciencias naturales. Estatuto epistemológico de la investigación en educación en ciencias periodo 2000-2011. Programa Editorial Universidad del Valle. Capítulo 15.
- Villalustre, L. & Del Moral, E. (2010). E-portafolios y rúbricas de evaluación en ruralnet. *Pixel-Bit: Revista de medios y educación*.
- Zambrano, A. (2003). Educación y formación del pensamiento científico: Cátedra ICFES Agustín Nieto Caballero. Bogotá: Icfes.
- Zambrano, A. C. (2015). *Estatuto epistemológico de la investigación en Educación en Ciencias periodo 2000-2011*. Programa Editorial de la Universidad del Valle.
- 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.

ANEXOS

1. Análisis malla curricular – Licenciatura en ciencias naturales y Licenciatura en física

Universidad	Programa	Curso (s)	Semestre	Ciudad
ICESI	Licenciatura en ciencias naturales.	Restos en la enseñanza de la física moderna	VII	Santiago de Cali
Universidad del Valle	Licenciatura en ciencias naturales y educación ambiental	No ofertado	No ofertado	Santiago de Cali
Universidad Santiago de Cali	Licenciatura en ciencias naturales y educación ambiental	No ofertado	No ofertado	Santiago de Cali
Universidad del Cauca	Licenciatura en ciencias naturales y educación ambiental	No ofertado	No ofertado	Popayán
Universidad del Quindío	Licenciatura en ciencias naturales y educación ambiental	No ofertado	No ofertado	Armenia
Universidad de Nariño	Licenciatura en Educación Básica con énfasis en Ciencias naturales y Educación ambiental	No ofertado	No ofertado	Pasto
Universidad del Tolima	Licenciatura en ciencias naturales y educación ambiental	Física Moderna	IX	Ibagué
Universidad Sur Colombiana	Licenciatura en ciencias naturales y educación ambiental	Física Moderna	VI	Neiva
Universidad Católica de Manizales	Licenciatura en ciencias naturales y educación ambiental	No ofertado	No ofertado	Manizales
Universidad de Caldas	Licenciatura en ciencias naturales.	Modelado y Simulación en Física y Nano ciencia	VIII	Manizales
Universidad de Antioquia	Licenciatura en ciencias naturales.	No ofertado	No ofertado	Medellín
Universidad del Atlántico	Licenciatura en ciencias naturales.	No ofertado	No ofertado	Barraquilla
Universidad Pedagógica Nacional	Licenciatura en ciencias naturales y educación ambiental	No ofertado	No ofertado	Santafé de Bogotá
Universidad del Valle	Licenciatura en Física	Laboratorio de física moderna	VII	Santiago de Cali
Universidad Pedagógica Nacional	Licenciatura en física	Mecánica Cuántica Laboratorio de Física Moderna	V V	Santafé de Bogotá
Universidad Distrital	Licenciatura en física	Física Moderna Mecánica cuántica I Mecánica cuántica II	VI VIII IX	Santafé de Bogotá
Universidad de los Andes	Licenciatura en física	Electiva: física moderna	VI	Santafé de Bogotá

Universidad de Antioquia	Licenciatura en física	Mecánica cuántica	VIII	Medellín
Universidad de Sucre	Licenciatura en física	Introducción a la física moderna	VII	Sincelejo
TOTAL				
Licenciatura en ciencias naturales		Porcentaje de programas que ofertan cursos a fines en física cuántica		
4 de 13		30,77%		
Licenciatura en física		Porcentaje de programas que ofertan cursos a fines en física cuántica		
6 de 6		100 %		

Tabla No 24: Cursos de formación en física cuántica o afines en Plan de estudios – No electivas. Universidades de Colombia. Consulta propia en línea (Febrero del 2023).

2. Consentimiento Informado – sujetos participantes de la investigación Doctoral

CONSENTIMIENTO INFORMADO
PARTICIPANTE

Investigación Doctoral: El CTPC del profesor de ciencias naturales en formación inicial y su desarrollo acerca de la naturaleza cuántica de la luz mediante la modelización en la enseñanza de las ciencias.

Participante 02 - N

La estamos invitando a participar en una investigación que tiene como objetivo el 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, en la cual participarán 02 personas incluida usted; le garantizamos que su nombre ni datos personales serán expuestos ya que de aquí en adelante solo se identificará con el código a usted asignado en la parte superior.

Su intervención en el estudio es totalmente voluntaria y consiste en participar en el proceso de formación de profesores de ciencias para la enseñanza de la física cuántica en la secundaria, con un tiempo aproximado de duración de 12 meses (máximo), es importante aclarar que en caso de no darse completamente los pasos aquí explicados se retirará del estudio sin tener ninguna repercusión en la atención que se le brinda; otro forma de retirarse del proyecto es de manera voluntaria para lo cual solo debe expresar su deseo sin que esto ocasione ningún problema para usted.

Su participación puede ocasionarle algunos riesgos en el momento de desplazarse a la Institución educativa Oficial (IETC Santa Cecilia) en la cual implementará el producto que surja del proceso de formación. Por lo cual debe cumplir con los horarios y sesiones pactados para ello para prevenir facilidad y cuidado en su respectivo desplazamiento.

Los beneficios que obtendrá será la asesoría en el desarrollo, implementación y culminación de sus tesis de pregrado, debe saber que no incurrirá en ningún gasto.

La información obtenida será guardada mediante un código que permitirá que nadie ajeno a la investigación acceda a su información privada.

Le informamos que en caso de obtener información nueva e importante se la estaremos dando a conocer una vez termine el estudio; usted conservará una copia de este documento.

En caso de solicitar información adicional puede comunicarse con el comité de ética institucional 5185677 o al correo eticasalud@correounivalle.edu.co

1

Autorizó la utilización de los datos recogidos y resultados obtenidos, en actividades con fines académicos en los cuales sea guardada mi identidad, Acepto SI ☒ NO ☐

Autorización la utilización de las muestras y datos recogidos, en futuros estudios previa aprobación de un comité de ética, Acepto SI ☒ NO ☐

Autorizo la grabación de la entrevista y/o video SI ☒ NO ☐

Autorizo la toma de fotografías guardando mi identidad SI ☒ NO ☐

Se entrega una copia de este documento a la participante.

Nombre del participante: *Nicole Obando Gutiérrez*
CC: *1006318659*

Firma: *Nicole Obando G.*

Nombre testigo 1

Dirección: *C13B # 70-74*
Parentesco: *Compañera*

Firma: *Liliana Jazmin M.*

Persona que presentó el consentimiento informado
Nombre: *Andrés Cuéllar García*
CC: *4.377.642 de Armenia (Quindío)*

Firma:

Relación con la investigación: *Asesor y Director de tesis de pregrado – Investigador principal tesis de Doctorado.*

Se firma en Cali, a los *02* del mes de *sept* del 2021.

2



CONSENTIMIENTO INFORMADO

PARTICIPANTE

Investigación Doctoral: El CTPC del profesor de ciencias naturales en formación inicial y su desarrollo acerca de la naturaleza cuántica de la luz mediante la modelización en la enseñanza de las ciencias.

Participante 01-L

La estamos invitando a participar en una investigación que tiene como objetivo el 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, en la cual participarán 02 personas incluida usted; le garantizamos que su nombre ni datos personales serán expuestos ya que de aquí en adelante solo se identificará con el código a usted asignado en la parte superior.

Su intervención en el estudio es totalmente voluntaria y consiste en participar en el proceso de formación de profesores de ciencias para la enseñanza de la física cuántica en la secundaria, con un tiempo aproximado de duración de 12 meses (máximo), es importante aclarar que en caso de no darse completamente los pasos aquí explicados se retirará del estudio sin tener ninguna repercusión en la atención que se le brinda; otro forma de retirarse del proyecto es de manera voluntaria para lo cual solo debe expresar su deseo sin que esto ocasione ningún problema para usted.

Su participación puede ocasionarle algunos riesgos en el momento de desplazarse a la Institución educativa Oficial (IETC Santa Cecilia) en la cual implementará el producto que surja del proceso de formación. Por lo cual debe cumplir con los horarios y sesiones pactados para ello para prevenir facilidad y cuidado en su respectivo desplazamiento.

Los beneficios que obtendrá será la asesoría en el desarrollo, implementación y culminación de sus tesis de pregrado, debe saber que no incurrirá en ningún gasto.

La información obtenida será guardada mediante un código que permitirá que nadie ajeno a la investigación acceda a su información privada.

Le informamos que en caso de obtener información nueva e importante se la estaremos dando a conocer una vez termine el estudio; usted conservará una copia de este documento.

En caso de solicitar información adicional puede comunicarse con el comité de ética institucional 5185677 o al correo eticasalud@correounivalle.edu.co



Autorizó la utilización de los datos recogidos y resultados obtenidos, en actividades con fines académicos en los cuales sea guardada mi identidad, Acepto SI ☒ NO ☐

Autorización la utilización de las muestras y datos recogidos, en futuros estudios previa aprobación de un comité de ética, Acepto SI ☒ NO ☐

Autorizo la grabación de la entrevista y/o video SI ☒ NO ☐

Autorizo la toma de fotografías guardando mi identidad SI ☒ NO ☐

Se entrega una copia de este documento a la participante.

Nombre del participante: Liliana Jazmin Muñoz Navia
CC: 405960166

Firma: Liliana Jazmin M.

Nombre testigo 1 Nicole Obando Gutierrez

Dirección: Cll 102 H 24B-36

Parentesco: Compañera

Firma: Nicole Obando G.

Persona que presentó el consentimiento informado

Nombre: Andrés Cuéllar García
CC: 4.377.642 de Armenia (Quindío)

Firma:

Relación con la investigación: Asesor y Director de tesis de pregrado – Investigador principal tesis de Doctorado.

Se firma en Cali, a los 09 del mes de Sept del 2021.



CONSENTIMIENTO INFORMADO

**Institución educativa – IETC Santa Cecilia.
S.E.D. de Santiago de Cali**

Investigación Doctoral: El CTPC del profesor de ciencias naturales en formación inicial y su desarrollo acerca de la naturaleza cuántica de la luz mediante la modelización en la enseñanza de las ciencias.

Cordial saludo estimado Rector de la IETC Santa Cecilia (Representante Legal), a través del presente le estamos invitando a la Institución Educativa que usted representa, a participar en una investigación que tiene como objetivo el 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, en la cual participarán estudiantes de grado once.

La intervención en el estudio es totalmente voluntaria y consiste en participar en el aprendizaje de la física cuántica en la educación media vocacional, con un tiempo aproximado de duración entre 1 y 2 meses (máximo).

Los beneficios que obtendrá la Institución son: la mención y el contexto educativo tanto dentro de la actual investigación Doctoral, como la investigación de pregrado la cual dirijo en la Universidad ICESI. A su vez, será la primera Institución Educativa Oficial del País en la cual se realizará la implementación de un proceso de formación de docentes de ciencias naturales – física para la enseñanza de la física cuántica en la educación media vocacional.

La información obtenida será guardada mediante un código que permitirá que nadie ajeno a la investigación acceda a su información privada.

Le informamos que en caso de obtener información nueva e importante se la estaremos dando a conocer una vez termine el estudio; usted conservará una copia de este documento.

En caso de solicitar información adicional puede comunicarse con el comité de ética institucional 5185677 o al correo eticasalud@correounivalle.edu.co

Autorizó la utilización de los datos recogidos y resultados obtenidos, en actividades con fines académicos en los cuales se implementará en la Institución Educativa que represento, Acepto SI ☒ NO ☐

Autorización la utilización de las muestras y datos recogidos, en futuros estudios, Acepto SI ☒ NO ☐



Autorizo la grabación de la entrevista y/o video la cuales se implementará en la Institución Educativa que represento SI ☒ NO ☐

Autorizo la toma de fotografías guardando la identidad de los integrantes de la Institución Educativa que represento SI ☒ NO ☐

Se entrega una copia de este documento al Representante legal de la Institución.

OLIVER JARA CANTOR

Nombre del representante legal:

CC: 16647319

Firma:

Nombre testigo 1 Tirsa Marcela Arias Quintero

Firma:

Persona que presentó el consentimiento informado

Nombre: Andrés Cuéllar García
CC: 4.377.642 de Armenia (Quindío)

Firma: Andrés Cuéllar G.
P: Prof. Educac.
E: Asesía Ciencia
M: Informática
D: Matemáticas

Relación con la investigación: Investigador principal tesis de Doctorado – Profesor de física de la Institución Educativa Oficial- IETC Santa Cecilia.

Se firma en Cali, a los 33 del mes de Sept del 2021.

3. Plan Curricular- Licenciatura en Ciencias Naturales - Universidad ICESI. 2022

Semestre I	Semestre II	Semestre III	Semestre IV	Semestre V	Semestre VI	Semestre VII	Semestre VIII	Semestre IX	Semestre X
Introducción a las Ciencias Naturales 2	Química General I y Laboratorio 4	Química General II y Laboratorio 4	Química Orgánica I y Laboratorio 4	Análisis Químico y Laboratorio 4	Ecología y Laboratorio 4	Proyecto Integrador 3	Profesional electiva I 3	Proyecto de grado I 4	Proyecto de grado II 4
Interacción en el aula I 3	Interacción en el aula II 3	Entornos culturales y tecnológicos Práctica 4	Diseño de ambientes de aprendizaje I Práctica 4	Entornos políticos Práctica 4	Diseño de ambientes de aprendizaje II 3	Diseño de ambientes de aprendizaje III Práctica 4	Diseño Curricular Práctica 4	Práctica profesional I 7	Práctica profesional II 7
Comunicación escrita I 3	Comunicación oral y escrita II 3	Biología General y Laboratorio 4	Biología de los organismos y Laboratorio 4	Biología celular y Laboratorio 4	Geociencia 3	Profesional electiva I 3	Electiva en Ciencia, tecnología y sociedad II 2	Profesional Electiva III 3	
Álgebra y Funciones 4	Cálculo una variable 4	Cálculo CN 4	Física Mecánica 4	Electromagnetismo 4	Física térmica y ondulatoria 4	Física moderna y contemporánea 3	Electiva en Humanidades y Ciencias sociales II 3	Electiva en Ética 2	
Lógica y argumentación 3	Entornos educativos Práctica 4	Fundamentos de Derecho Constitucional 3	Bioestadística 3	Principios de Economía 3	Estrategias de evaluación Práctica 4	Electiva en Ciencia, tecnología y sociedad I 2	Gestión escolar 3		
Organizaciones 2						Electiva en Humanidades y Ciencias sociales I 3	Electiva en Humanidades y Ciencias sociales III 3		

Líneas de formación

- Lenguajes
- Experiencia disciplinar
- Trabajo
- Artes, Ciencias y Humanidades
- Ciudadanía



Código SNIES No. 104275
 Título que otorga:
 Licenciado en Ciencias Naturales
 Duración del programa:
 5 años / 10 semestres
 Número total de créditos: 173

Plan curricular* Licenciatura en Ciencias Naturales

*La Universidad Icesi se reserva el derecho de actualización de los planes curriculares a través de las directrices y aprobaciones de su Consejo Académico.

4. Cuestionario previo y posterior al desarrollo de la Unidad didáctica (implementado a las profesoras en formación)

Consideraciones previas frente a la enseñanza de la física cuántica en la educación media.

Cordial saludo, adjunto encontrará una encuesta que permitirá evidenciar (en parte) consideraciones previas de su parte frente a la enseñanza de la física cuántica en la educación media. Es importante poder contar con sus apreciaciones para el proceso investigativo que se desarrollará en la Escuela de Educación de la Universidad ICESI. De antemano agradezco el tiempo y el interés en ello.

ATT:

- Profesor Andrés Cuéllar García. Departamento de Ciencias físicas. Universidad ICESI.

andres.cuellar2@correo.icesi.edu.co

- Estudiante Doctorado en Educación - Énfasis en ciencias - física

andres.cuellar.garcia@correounivalle.edu.co

* Indica que la pregunta es obligatoria

1. Nombre y Apellidos: *

2. Programa académico: *

Percepciones de modelos en el contexto científico:

5. - En la vida cotidiana utilizamos la palabra modelo para designar diferentes cosas, por ejemplo algún tipo de objeto (un auto), un patrón a seguir o una persona que luce su cuerpo, vestidos o accesorios. Sin embargo, dentro del contexto científico el término modelo tiene otros usos. ¿Dentro del contexto científico que es para usted un modelo? *

6. ¿En su futura labor como profesor de ciencias- física, enseñaría usted a sus estudiantes, el significado de un modelo y su importancia en el conocimiento científico? ¿Por qué? *

7. - Un fenómeno puede ser explicado en forma válida desde diferentes modelos, un ejemplo de ellos es la luz que puede ser explicada desde un modelo ondulatorio o desde un modelo de partículas, cada uno de estos atienden a diferentes características del fenómeno. ¿Cómo podrían abordarse estos modelos en un salón de clases de la educación media (11°)? Cite un ejemplo. *

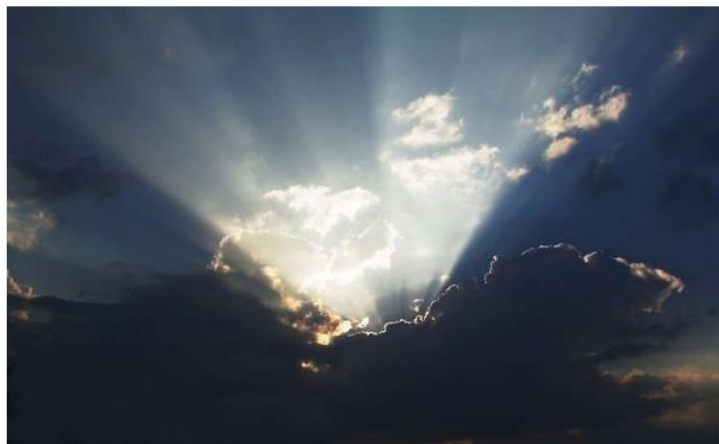
8. - ¿Considera usted que cada una de estas representaciones corresponde a un modelo?



Marca solo un óvalo.

- ☐ Si
- ☐ No

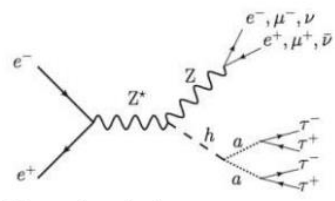
9. - ¿Considera usted que cada una de estas representaciones corresponde a un modelo?



Marca solo un óvalo.

- ☐ Si
- ☐ No

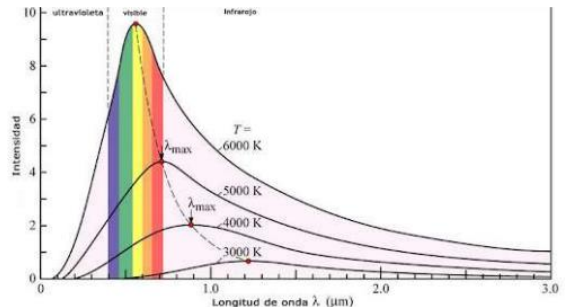
10. - ¿Considera usted que cada una de estas representaciones corresponde a un modelo?



Marca solo un óvalo.

- ☐ Si
- ☐ No

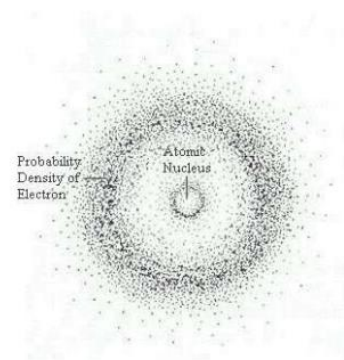
12. - ¿Considera usted que cada una de estas representaciones corresponde a un modelo?



Marca solo un óvalo.

- ☐ Si
- ☐ No

11. - ¿Considera usted que cada una de estas representaciones corresponde a un modelo?



Marca solo un óvalo.

- ☐ Si
- ☐ No

13. - ¿Los modelos científicos cambian? ¿Cuáles son las razones para que ocurra este cambio? ¿Considera necesario el conocimiento acerca de cómo han cambiado los modelos científicos en la historia para su enseñanza? *

14. - ¿Qué entiende usted por modelos mentales? ¿Qué relación existe entre los modelos mentales, los modelos científicos y los modelos enseñados en las clases de ciencias? *

15. Piense en algunos de los modelos que usted enseñaría en sus clases física cuántica. ¿Cuáles considera usted, son los principales aspectos que caracterizan estos modelos? *

16. ¿Elaboraría usted actividades de creación de modelos con sus futuros alumnos? ¿Qué tipo reactividades realizaría? *

17. - ¿Qué errores comúnmente se cometen actualmente en la enseñanza de las ciencias- física? *

18. - ¿Utilizarías el conocimiento de la historia de la física en el desarrollo y diseño de los procesos de enseñanza aprendizaje? ¿Cómo lo utilizarías? ¿O por el contrario, no es importante abordar el contexto histórico en una clase de física? *

Dificultades y oportunidades en la enseñanza de la física cuántica en la educación media:

19. - ¿Se podría enseñar física cuántica en la educación media? (¿De qué manera? ¿Cómo se abordaría?). *

20. - ¿Por qué sería importante la enseñanza física cuántica desde la educación media? *

21. - ¿Qué dificultades se podrían encontrar en la enseñanza de la física cuántica en la educación media? *

22. - ¿Qué conocimientos habilidades y actitudes son necesarias para el aprendizaje de la física cuántica en la educación media? *

23. - ¿Qué problemáticas, ejes temáticos o temas enseñarías en la educación media (11°) para abordar la física cuántica? *

24. - ¿Qué herramientas tecnológicas (programas, aplicaciones etc.) que conozcas, te permitirían enseñar la física cuántica de formas más didácticas? *

25. - ¿Qué oportunidades o beneficios aportarían estas herramientas Tecnológicas * en la enseñanza de la física cuántica en la educación media (11°)?

26. - ¿Cuál es la naturaleza cuántica de la luz? Características que la hacen cuántica. *

27. - ¿Qué elementos importantes de la historia de la concepción cuántica de la luz, tendrías en cuenta en un proceso de enseñanza en la educación media? *

28. - ¿Qué elementos importantes de la historia de la concepción cuántica de la luz, tendrías en cuenta en un proceso de enseñanza en la educación media? *

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

5. Unidad didáctica propuesta e implementada: Guía del estudiante (Desarrollado por las profesoras en formación)

**Enseñanza de la
naturaleza cuántica
de la luz a través de
la modelización como
estrategia didáctica
y el uso de las TIC en
el aula.**

OBJETIVOS GENERALES DE APRENDIZAJE

⚡ *Comprende estos fenómenos de la física cuántica: radiación de un cuerpo negro, la catástrofe ultravioleta, los cuantos de Planck, efecto fotoeléctrico y la luz como corpúsculo mediante el desarrollo de modelos virtuales, mentales y/o prácticos para generar conciencia acerca de cómo este campo de estudio ha permeado los avances tecnológicos que permiten procesos de comunicación, avances en medicina, entre otros.*

⚡ *Plantea modelos científicos a partir de un análisis crítico con el fin de simplificar, ejemplarizar y profundizar ciertos fenómenos que se presentan desde la física cuántica.*

Sesión 1:

Conocimientos de la luz desde lo clásico vs lo cuántico

**¿Me estoy
volviendo loco?**



CONOCIMIENTOS DE LA LUZ DESDE LO CLÁSICO VS LO CUÁNTICO

¿ME ESTOY VOLVIENDO LOCO?

**Objetivo de Aprendizaje de
la sesión:**

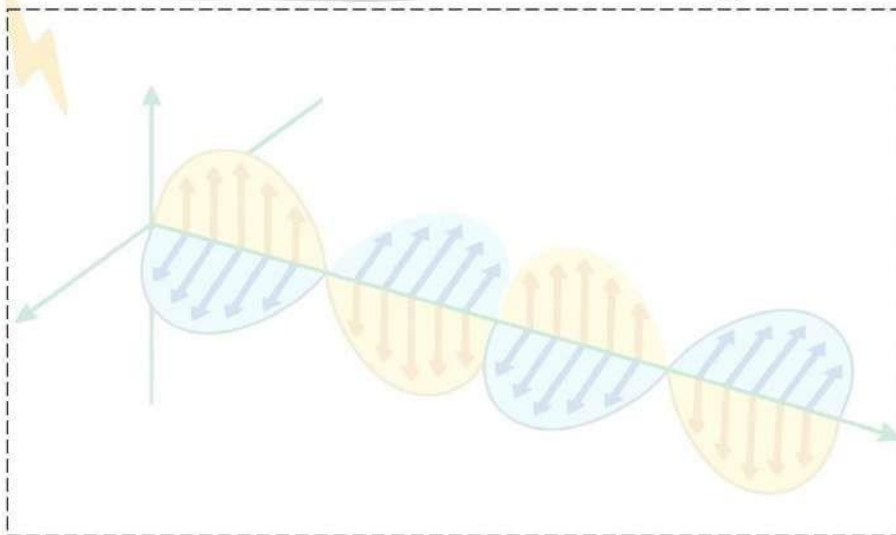
1. Interpretar el concepto de luz como onda electromagnética a través de diferentes modelos científicos usando herramientas tecnológicas, entre otros, con el fin de introducir la naturaleza cuántica de la luz en el salón de clases de grado once.

Actividad # 1:
Recordemos el concepto de luz
como onda electromagnética
(saberes previos)

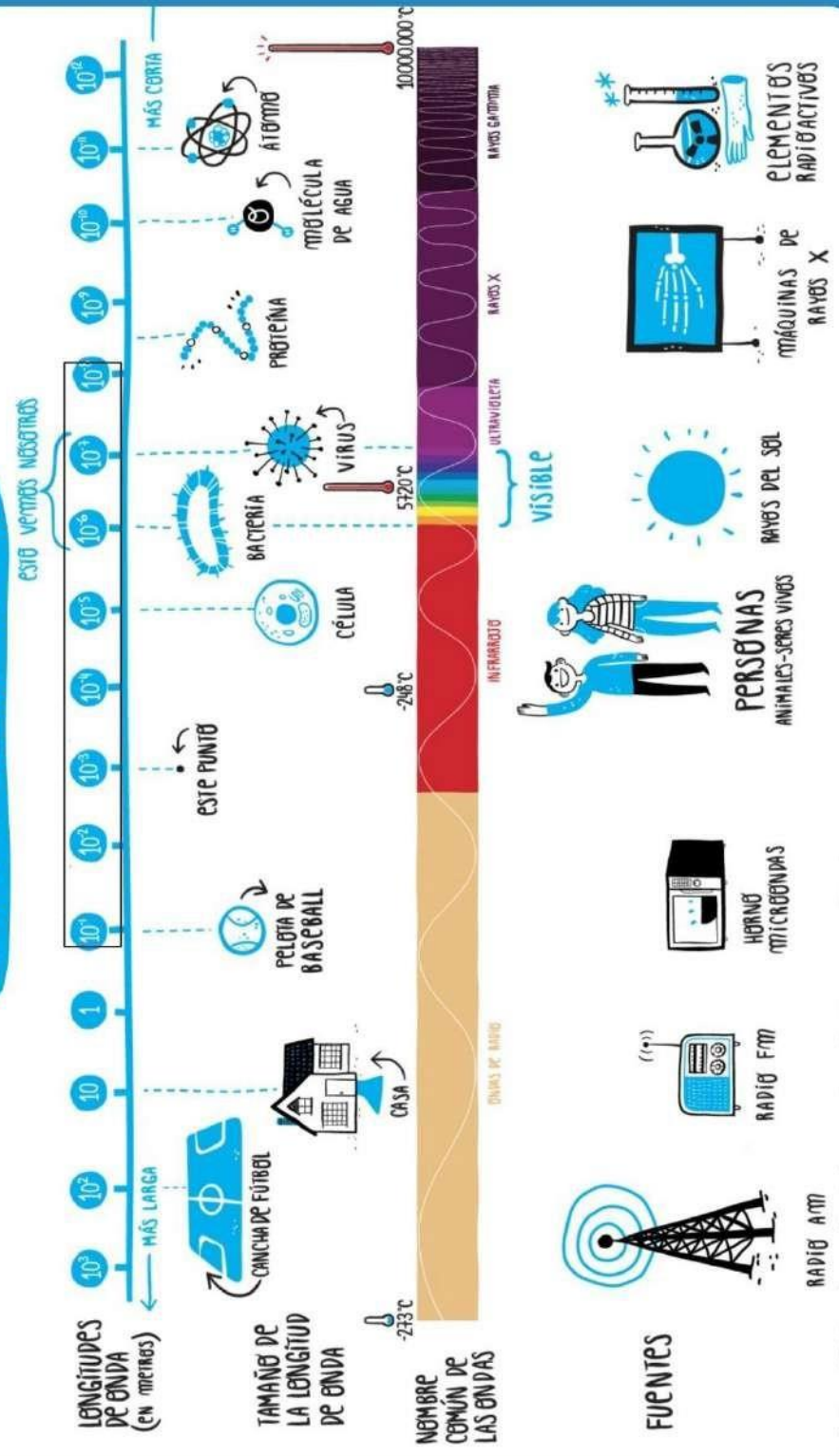
a) ¿Qué entiendes por luz electromagnética?



b) ¿Por qué crees que es importante conocer el espectro electromagnético?



el espectro electromagnético



<https://kids.alma.cl/es/el-espectro-electromagnetico/>

Actividad # 2:

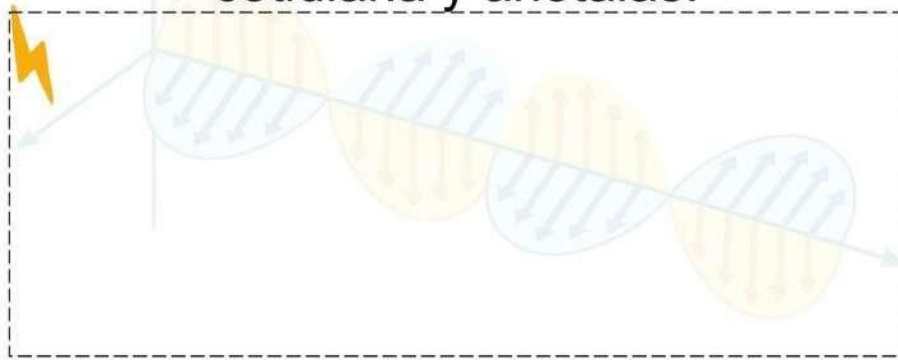
El espectro electromagnético en nuestra vida cotidiana

Ingresa al siguiente enlace:

https://viewspace.org/interactives/unveiling_invisible_universe/forms_of_light/electromagnetic_spectrum



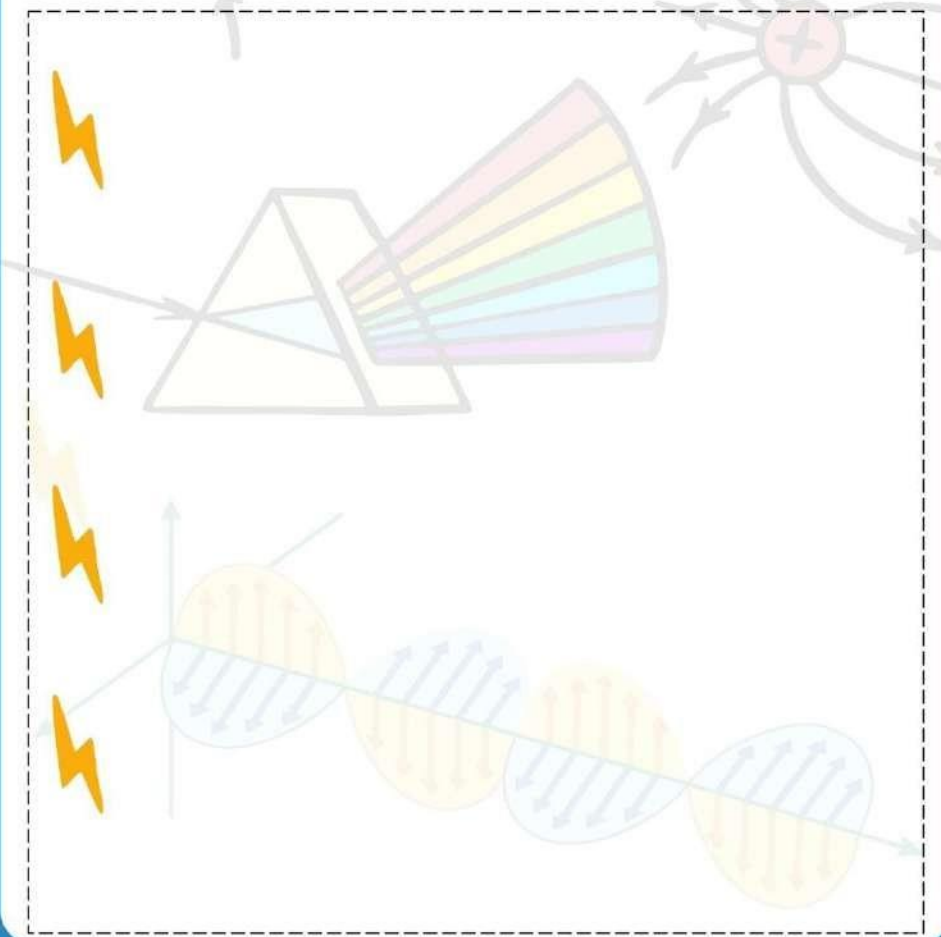
El espectro electromagnético ha contribuido al desarrollo tecnológico y al uso de aplicaciones en diferentes campos. Piensa en algunos de estas aplicaciones que utilizas en tu vida cotidiana y anótalas.



Actividad # 3: Recuento histórico sobre la física cuántica

Con ayuda de la siguiente línea de tiempo, anota los eventos históricos que te parecieron más relevantes y por qué

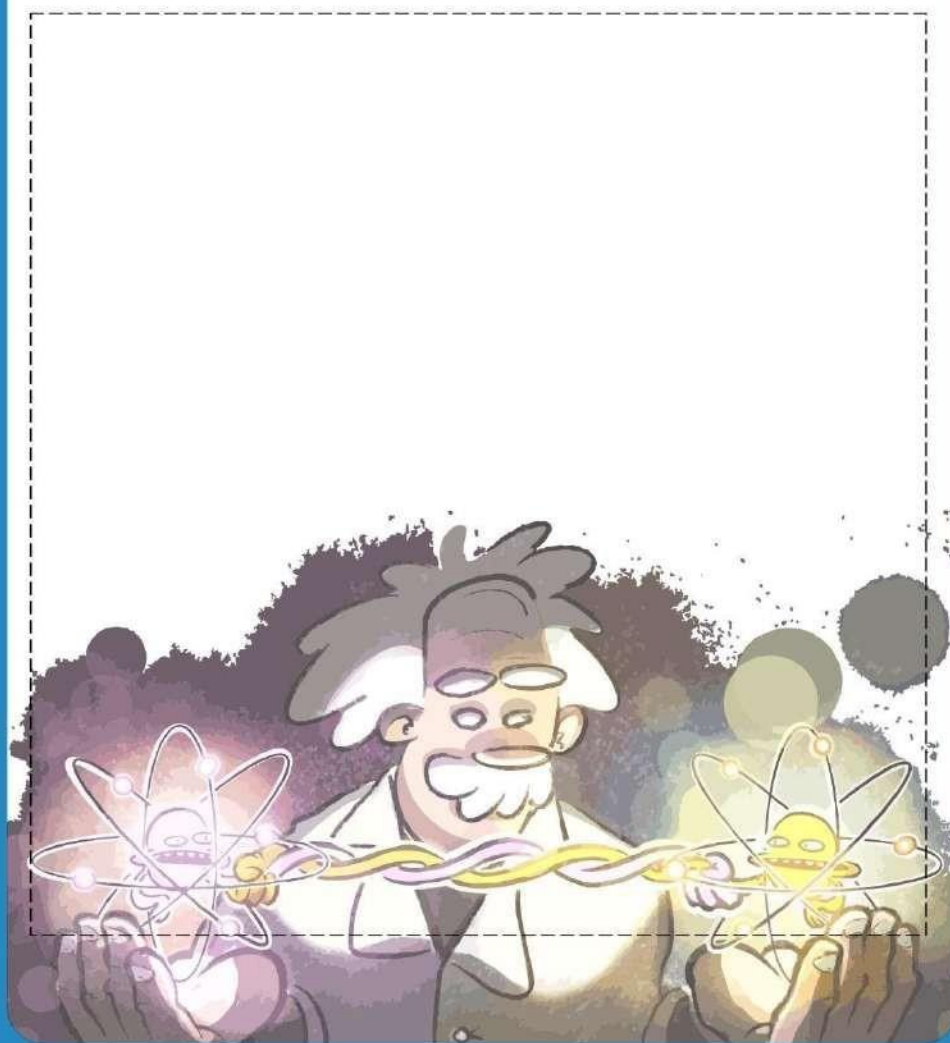
<https://www.timetoast.com/timelines/linea-de-tiempo-cientificos-naturaleza-de-la-luz>





Actividad # 4: *¿Qué es lo cuántico de* *la física cuántica?*

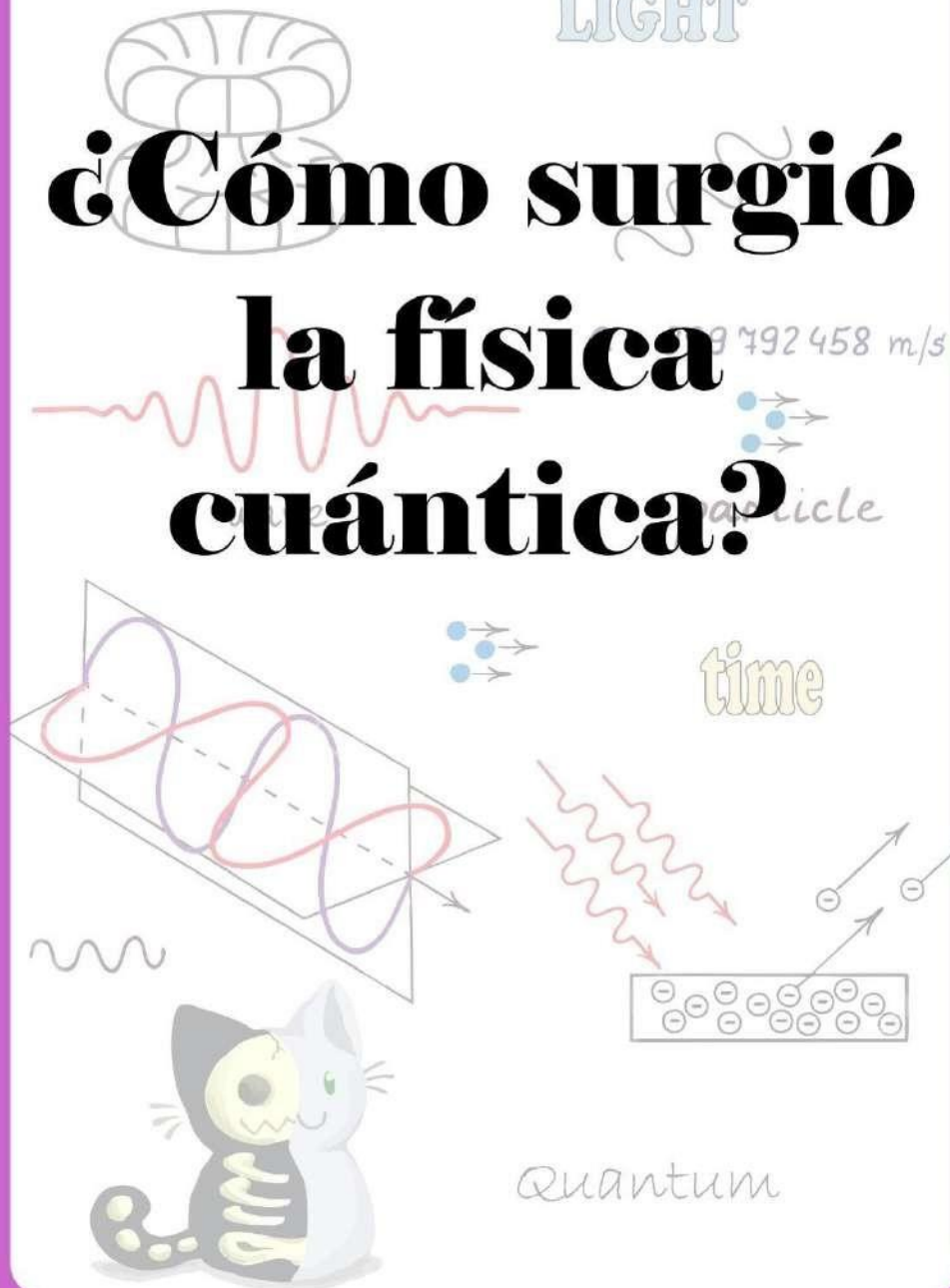
De acuerdo a los fenómenos vistos,
¿cuáles de ellos consideras que son
cuánticos y por qué?



Sesión 2:

LIGHT

¿Cómo surgió la física cuántica?



¿CÓMO SURGIÓ LA FÍSICA CUÁNTICA?



LIGHT

Objetivos de Aprendizaje de la sesión:

- 1. Analizar los diferentes fenómenos de la física cuántica (radiación de un cuerpo negro, la catástrofe ultravioleta, los cuantos de Planck, efecto fotoeléctrico & la luz como corpúsculo) teniendo en cuenta el impacto de los mismos en el desarrollo de la tecnología actual.*
- 2. Asociar los principales avances tecnológicos con sus respectivos fenómenos cuánticos.*

Actividad # 1: *Radiación de cuerpo negro*

a) Experimentación.

Para este experimento necesitaremos:
una linterna o lámpara, un termómetro,
y una tapa negra y otra de otro color.



Actividad de modelización:

Anota aquí tus hipótesis y los modelos
que puedan surgir de la experimentación:



Quantum

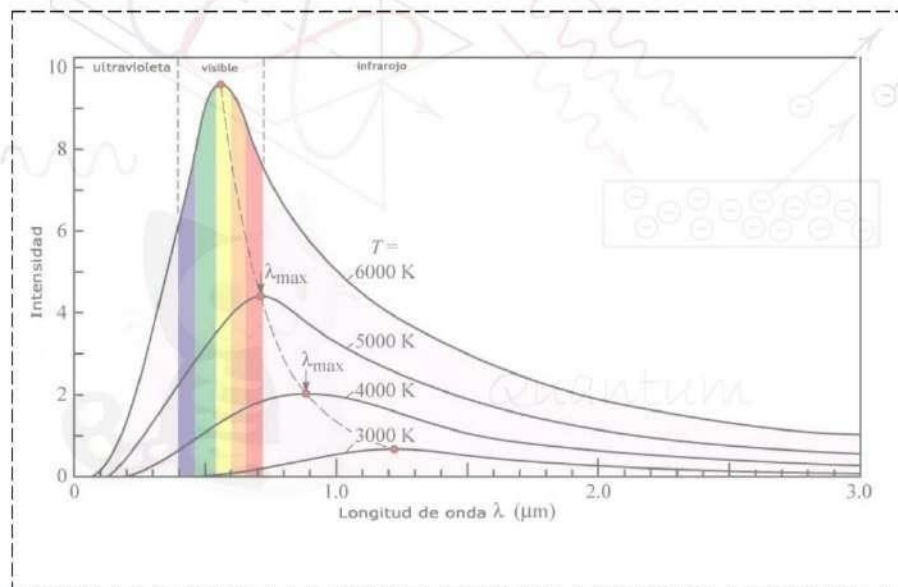
Actividad # 1: Radiación de cuerpo negro

b) Simulador.

Ingresa al siguiente simulador:

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_certeleso&l=es

¿Cuál es la relación de
frecuencia y longitud de onda
con la temperatura en un cuerpo
negro?



Actividad # 2: *Catástrofe Ultravioleta*

Ingresa al siguiente link:

https://www.youtube.com/watch?v=8YL_QIGtdOc&ab_channel=QuantumFracture



⚡ ¿De qué se trata la catástrofe ultravioleta?

⚡ ¿Por qué crees que fue tan importante resolver este misterio?

LOS "CUANTOS" DE PLANCK

En 1900 Planck formuló que la energía se radia en unidades pequeñas separadas denominadas cuantos.



Max Planck (1858 - 1947)

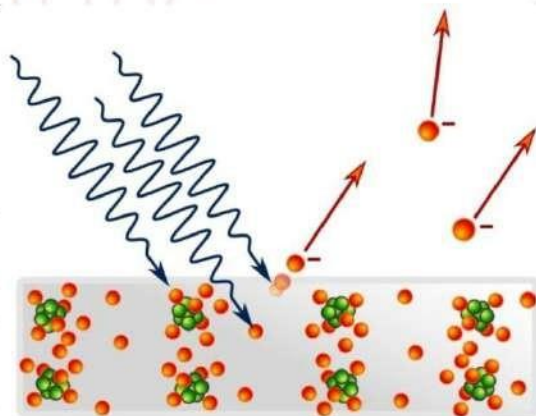
Avanzando en el desarrollo de esta teoría, descubrió una constante de naturaleza universal que se conoce como la constante de Planck.

Actividad # 3: *Efecto fotoeléctrico*

Ingresa al siguiente simulador:

<https://www.educaplus.org/game/efecto-fotoelectronico>

EFEECTO FOTOELÉCTRICO



⚡ ¿A qué se debe el efecto
fotoeléctrico?

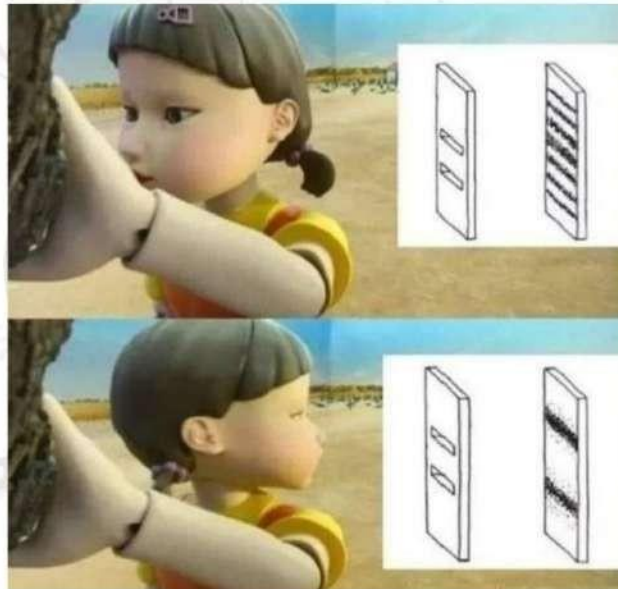
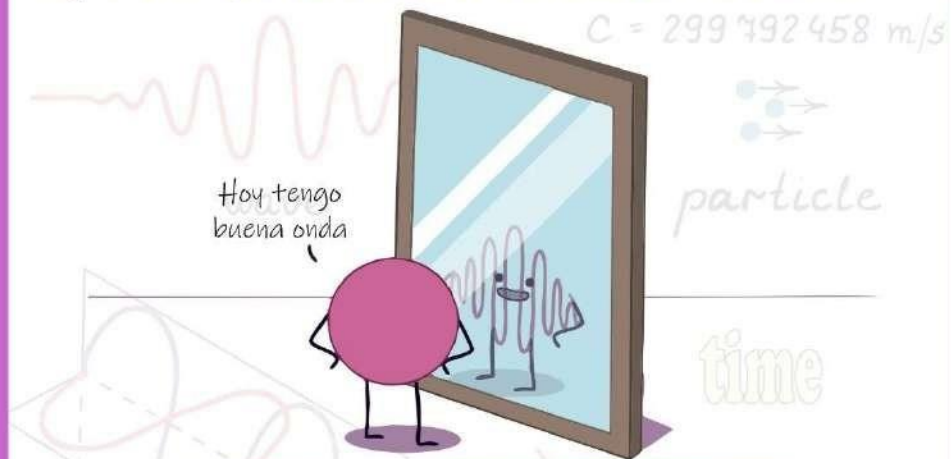


Quantum

Actividad # 4: Luz como corpúsculo

Observa el siguiente video:

<https://www.youtube.com/watch?v=SzX-R38dZQw>



★ *Actividad # 4:* *Luz como corpúsculo*

Observa el siguiente video:

<https://www.youtube.com/watch?v=SzX-R38dZQw>

¿Por qué crees que a nivel subatómico la materia se comporta de manera distinta a como lo hace a nivel macroscópico?



Tarea: Buscar la biografía de Louis de Broglie y contestar a la pregunta:

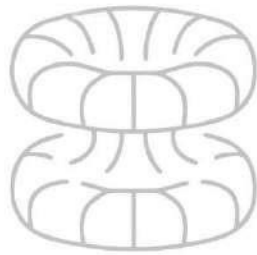
¿Qué propone De Broglie sobre la luz dese una visión cuántica?

Menciona 5 características que te llamen la atención de la biografía.

* Al inicio de esta actividad se realizó una analogía entre la definición y el comportamiento del electrón con el fotón.

Sesión 3:

LIGHT



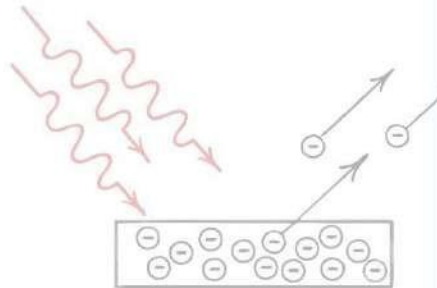
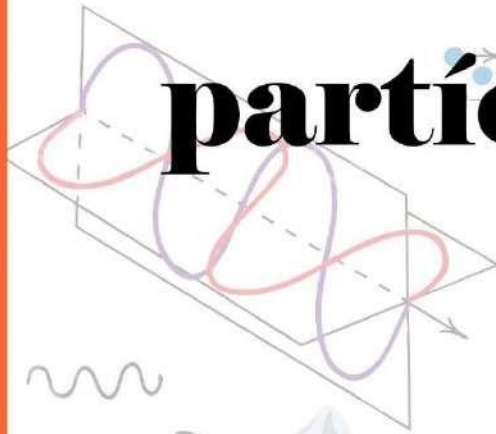
Luz

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$



¿Onda o

partícula?



Quantum

Luz

¿Onda o partícula?



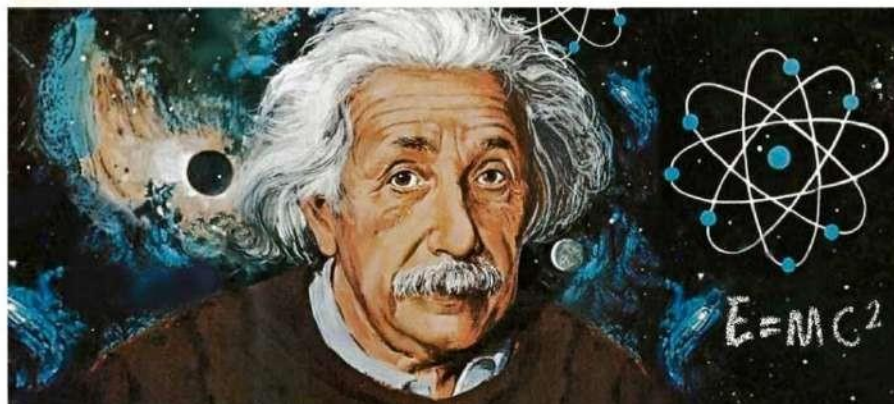
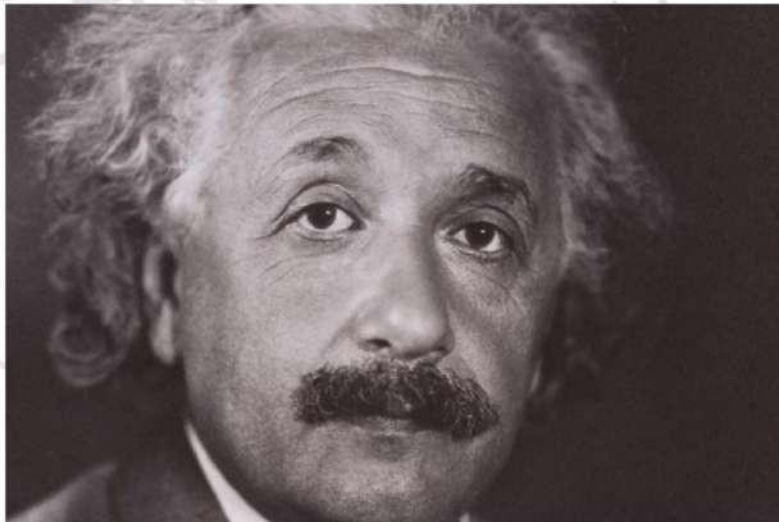
Objetivos de Aprendizaje de la sesión:

1. *Comprender el fenómeno de la luz como onda y partícula.*
2. *Explicar por qué se le ha llamado a lo anterior la naturaleza cuántica de la luz.*

Actividad # 1: *¿Quién fue Albert Einstein?*

Ingresa al siguiente link:

https://www.youtube.com/watch?v=hDpcDoxJuQo&ab_channel=DateUnVlog



Actividad # 2: *Experimento de Millikan*

Ingresa al siguiente link:

https://www.youtube.com/watch?v=s4fpMfry054&ab_channel=Udearoba



Actividad # 3:

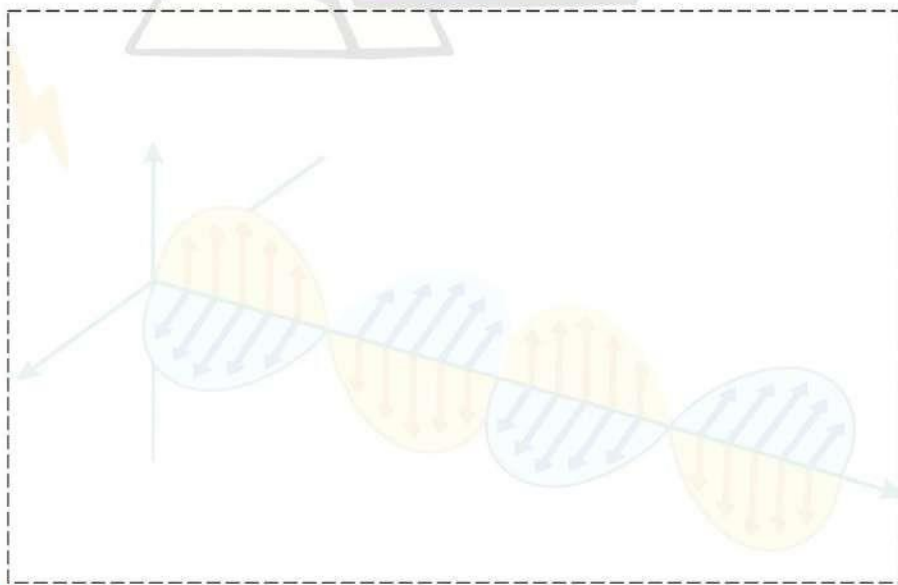
Experimentos del mundo de la luz, el color y la óptica

a) Experimentación.

Para este experimento necesitaremos:
Una moneda, un vaso y agua.



¿Qué sucede al llenar el vaso de agua?
Desde la visión como corpúsculo crea
un modelo con el cual expliques
este experimento



Actividad # 3:

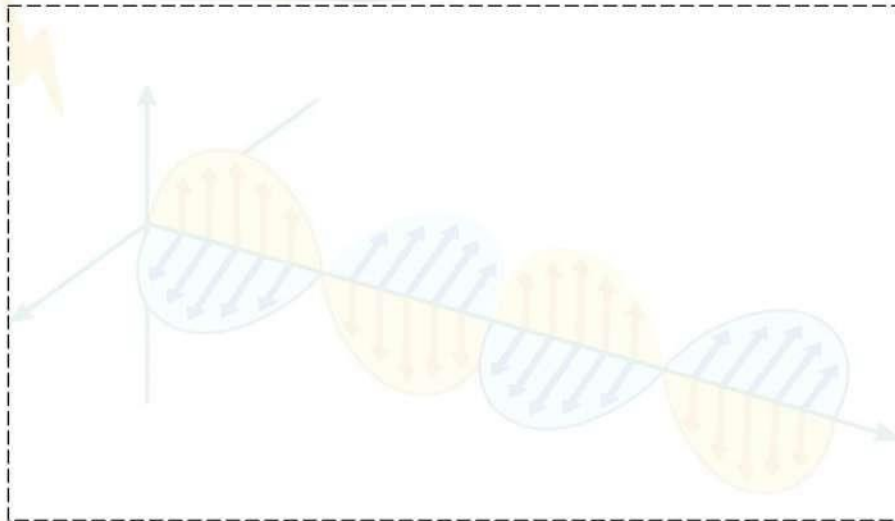
Experimentos del mundo de la luz, el color y la óptica

b) Experimentación.

Para este experimento necesitaremos:
Agua, una pared blanca, una linterna y
1 cucharadita de leche.



¿Qué sucede al agregar la leche?
Desde la visión como corpúsculo crea
un modelo con el cual expliques
este experimento



Sesión 4:

LIGHT



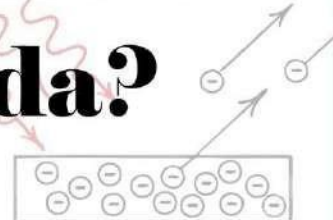
**¿Cuáles son los
fenómenos
cuánticos?**

$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$



time

**¿Cómo los asocio
con mi vida?**



Quantum

**¿CUÁLES SON LOS FENÓMENOS
CUÁNTICOS?**

 **¿CÓMO LOS ASOCIO CON MI
vida?**

LIGHT

Objetivo de Aprendizaje de la sesión:

1. *Explicar los fenómenos cuánticos ya antes señalados mediante modelos científicos que permitan una mejor comprensión de los mismos.*



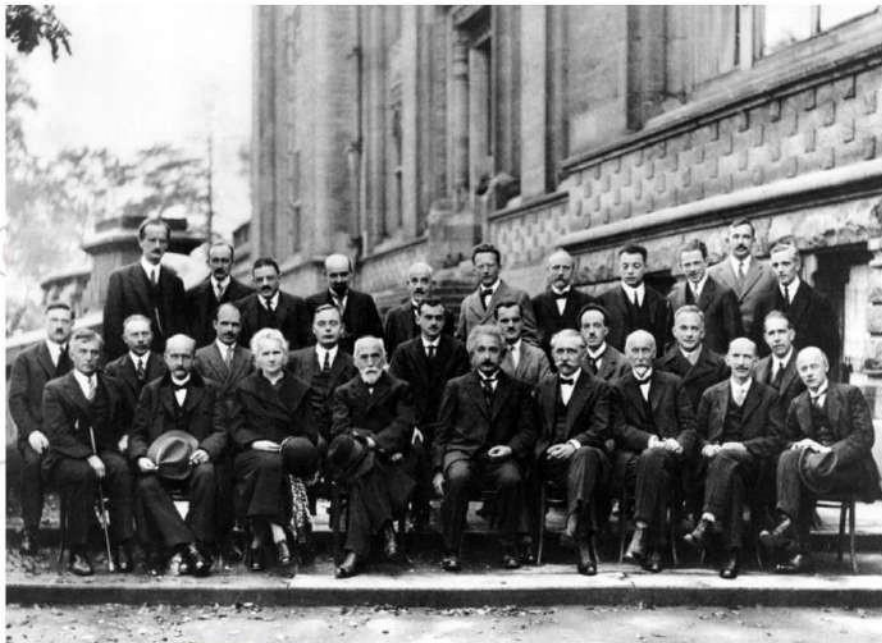
Actividad # 1:

¿Qué hay detrás de una foto?

Leer el siguiente apartado de:

<https://hipertextual.com/2018/01/solvay-1927>

$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$



Quantum

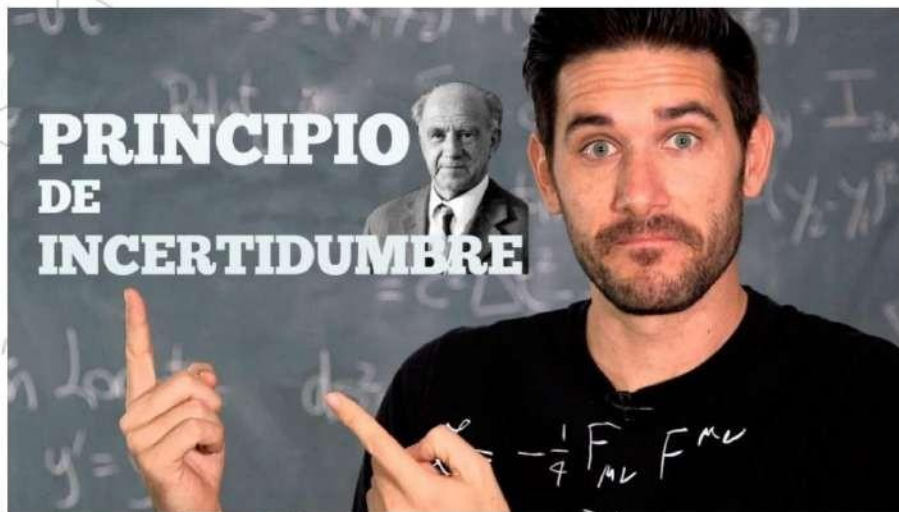
Actividad # 2:

*¿Por qué ver la luz
desde lo cuántico
como probabilística?*

Ver el siguiente video: $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$
https://www.youtube.com/watch?v=p9Ucf5LwWJM&ab_channel=DateunVoltio

wave

particle



Quantum

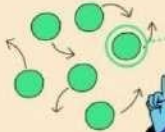
Actividad # 3:

¿Una metáfora o una crítica a analizar?

EL GATO DE SCHRÖDINGER

TODO EMPIEZA CON LA INTERPRETACIÓN DE COPENHAGUE SOBRE FÍSICA CUÁNTICA:

SEGÚN ESTA, UNA PARTICULA EXISTE EN VARIOS ESTADOS HASTA QUE ALGUIEN LA OBSERVA.



NIELS BOHR

ALGUNOS CIENTÍFICOS NO ESTABAN DE ACUERDO CON ESTA INTERPRETACIÓN. Y SCHRÖDINGER ERA UNO DE ELLOS.

PERO, ¡POR FAVOR!



PARA DEMOSTRAR EL PROBLEMA, SCHRÖDINGER IDEÓ SU FAMOSO EXPERIMENTO:

UN GATO ES COLOCADO EN UNA CAJA CON UNA MUESTRA RADIOACTIVA, UN CONTADOR GEIGER Y VENENO.



DIE LIVE
SI EL MATERIAL RADIOACTIVO DECAE, EL VENENO SE ACTIVA Y EL GATO MUERE.



SI LA INTERPRETACIÓN DE COPENHAGUE ERA CIERTA, EL MATERIAL RADIOACTIVO EXISTIRÍA EN TODOS LOS ESTADOS HASTA QUE ALGUIEN LO OBSERVARA.



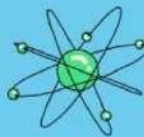
RESULTADO: EL GATO ESTARÍA VIVO Y MUERTO AL MISMO TIEMPO.

PERO SEGÚN SCHRÖDINGER...



ESTO ES RIDÍCULO

EL ESTADO CUÁNTICO DEL NIVEL ATÓMICO (MATERIAL RADIOACTIVO)



NO AFECTA EL ESTADO MACROSCÓPICO DEL GATO.



EL GATO ESTÁ VIVO O MUERTO, SIN IMPORTAR QUE ALGUIEN LO OBSERVE.

ASÍ ES: EL GATO DE SCHRÖDINGER NO SE PENSÓ COMO UNA METÁFORA DE LA FÍSICA CUÁNTICA, SINO COMO CRÍTICA DE UNA DE SUS INTERPRETACIONES.



FUENTE: "Schrödinger's Cat explained" - THE TELEGRAPH

TWITTER.COM/PICTOLINE

Actividad # 4:

Juego de roles- heisenberg y einstein

Plantea modelos en donde expliques con tus propias palabras los fenómenos:

Superposición cuántica y
Principio de Incertidumbre



Actividad # 5:

Física cuántica y la pseudo-ciencia

Escuchar el siguiente Podcast:

https://www.youtube.com/watch?v=UwSkL5iwEI&ab_channel=PaolaZurita



Quantum

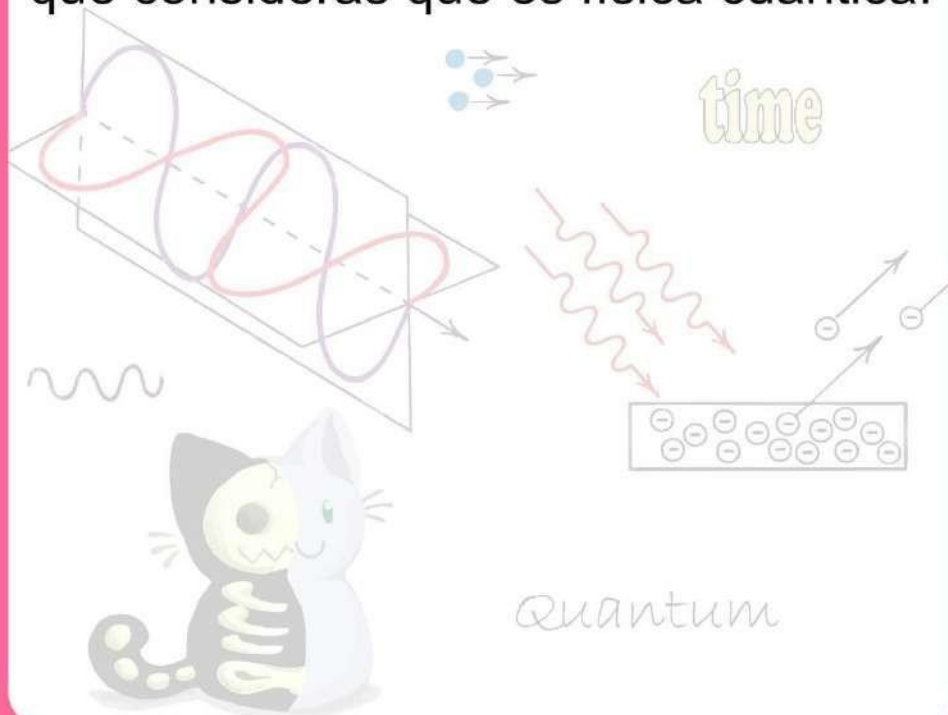
Actividad # 6:

*¿De qué se trata la
física probabilística?*

Leer el siguiente texto:

<https://wp.icmm.csic.es/superconductividad/fisica-cuantica-y-transiciones/fisica-cuantica/>

A partir de toda la información presentada anteriormente crea un mapa conceptual en grupo sobre lo que consideras que es física cuántica.

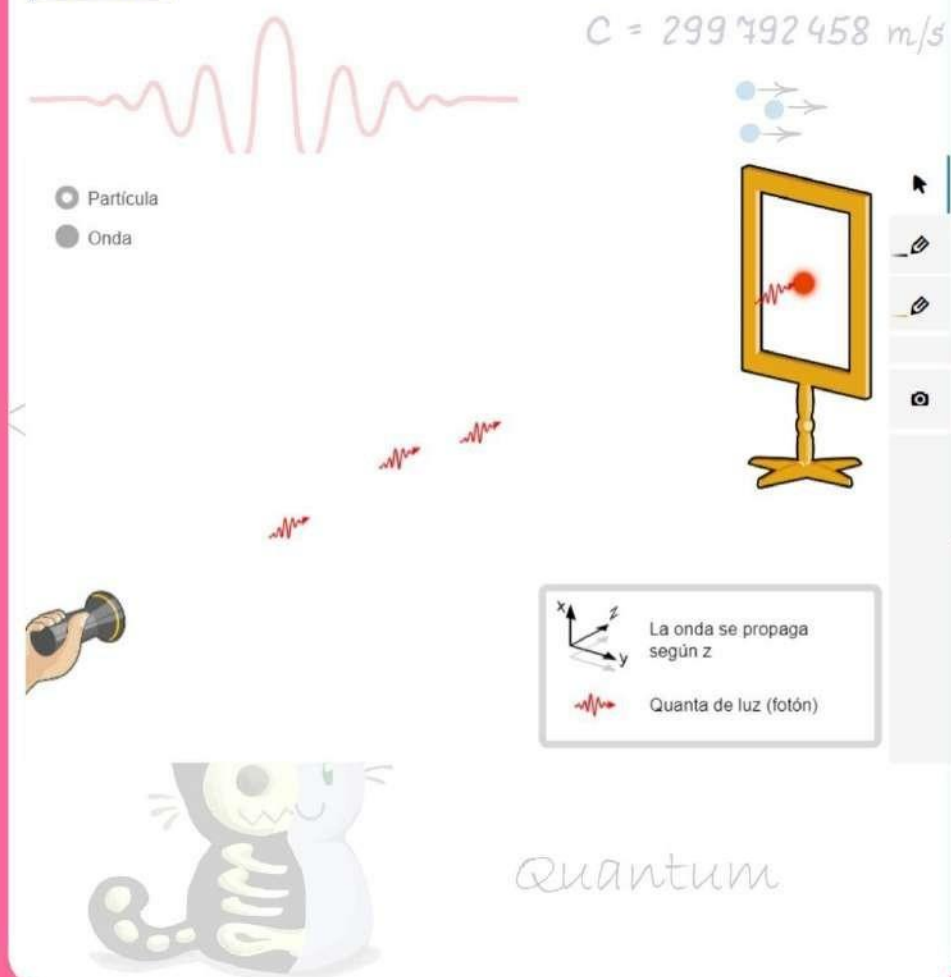


Actividad # 7:

Dualidad Onda - Partícula

Ingresa al siguiente simulador:

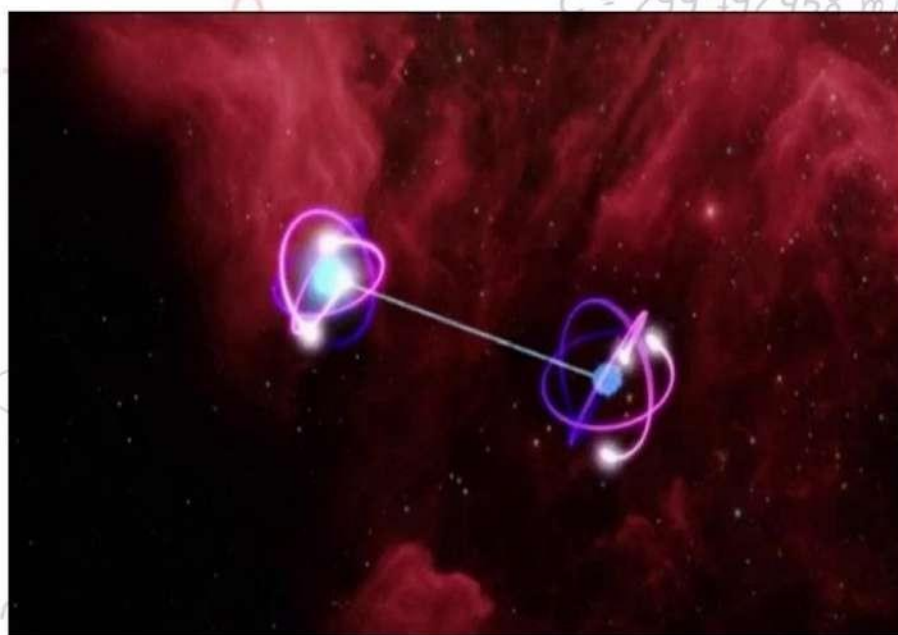
<https://www.edumedia-sciences.com/es/media/47-onda-particula>



Entrelazamiento Cuántico

Observa el siguiente video:

https://www.youtube.com/watch?v=iZ5l_P4XUWQ&ab_channel=DateunVoltio



Quantum

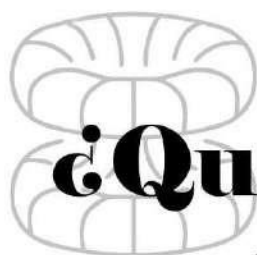
Entrelazamiento Cuántico

Con base en lo aprendido anteriormente formula un modelo en donde expliques con tus propias palabras el entrelazamiento cuántico.



Sesión 5:

LIGHT



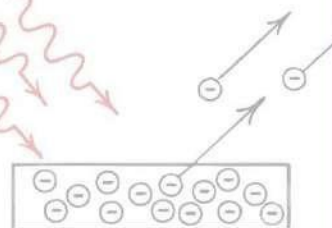
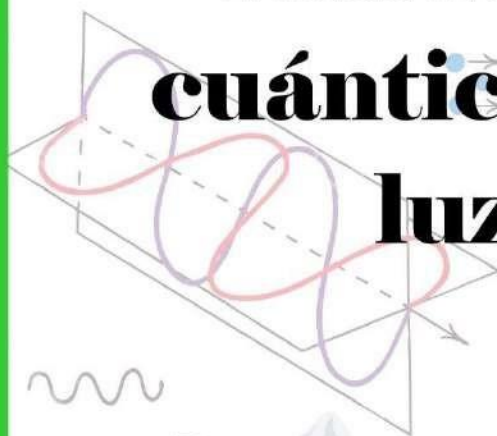
**¿Qué ventajas
trae el
aprendizaje de la
naturaleza
cuántica de la
luz?**

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

wave

particle

time



Quantum

¿QUÉ VENTAJAS TRAE EL APRENDIZAJE DE LA NATURALEZA CUÁNTICA DE LA LUZ?



LIGHT



Objetivo de Aprendizaje de la sesión:

1. *Propone y expone diferentes ventajas del conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz con el fin de mostrar la relación que existe entre los fenómenos de la física cuántica y los avances tecnológicos.*



Actividad # 1:

¿Cómo funciona la física cuántica en nuestra cotidianidad?

Leer el siguiente texto:

<https://www.portafolio.co/tendencias/fisica-cuantica-parte-diario-vivir-143834>

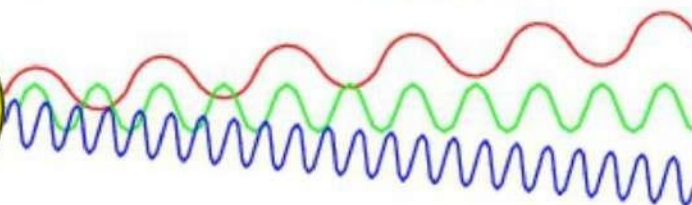


Computación Cuántica

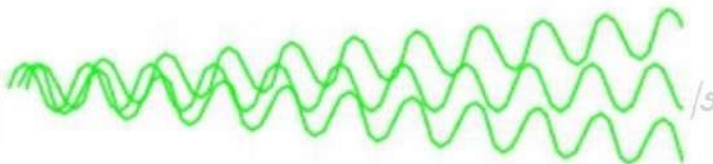


Láser

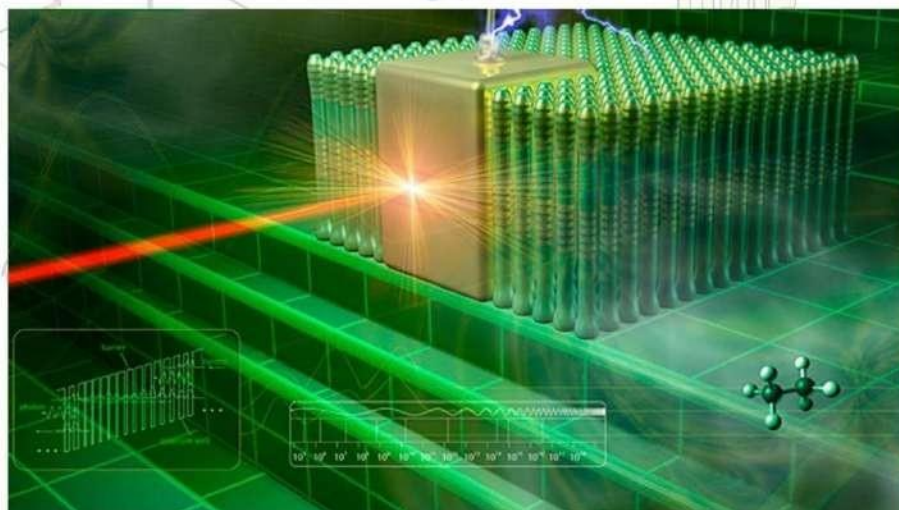
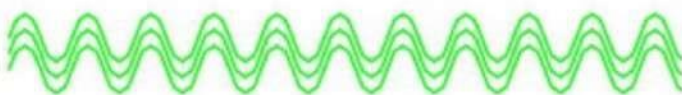
luz
blanca



luz mono-
cromática



luz
laser



Actividad # 2:

Kahoot! LIGHT

Ingresa a la siguiente página:

<https://kahoot.it/>

Escribe el código proyectado en el
tablero:

$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$

wave

particle

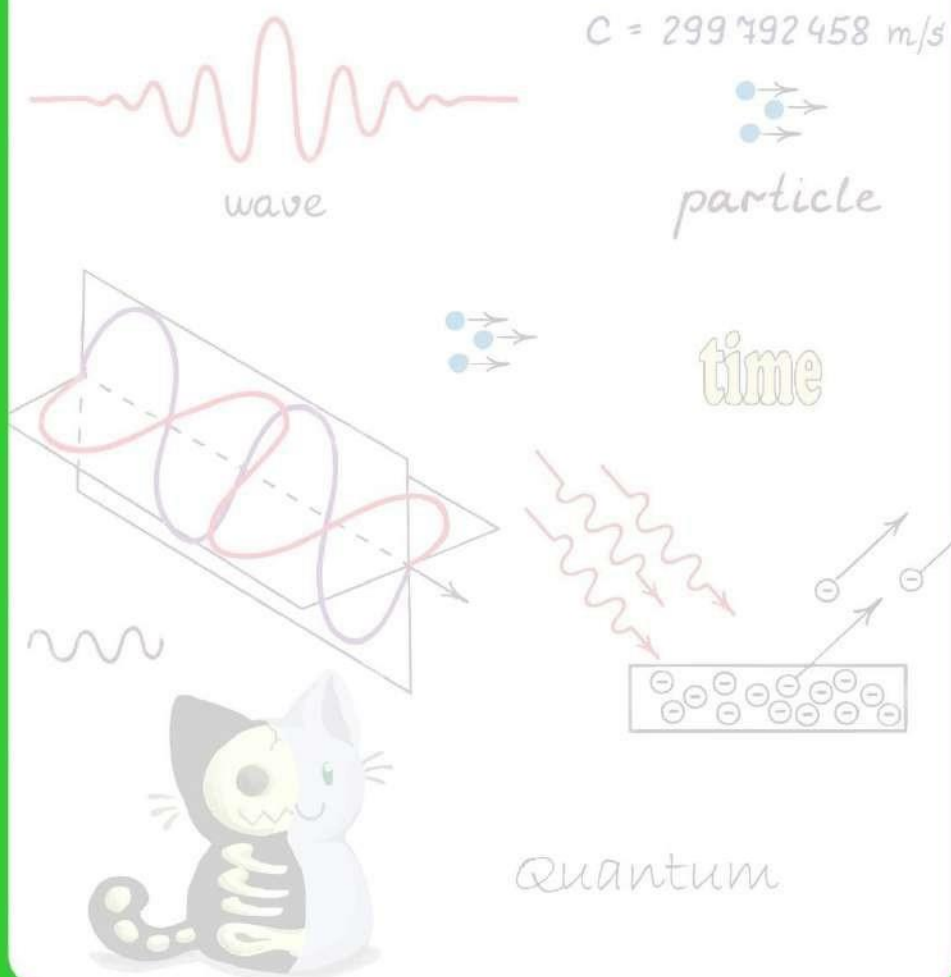
Kahoot!

PIN de juego

Ingresar

Aplicaciones de la Física Cuántica

De acuerdo a lo visto anteriormente, menciona algunas de las aplicaciones de la física cuántica en la vida cotidiana y explica por qué son importantes.



6. Unidad didáctica propuesta e implementada: Guía del profesor. (Desarrollado por las profesoras en formación)

El docente empieza con la introducción de la investigación en general presentando el nombre, objetivos de la unidad y luego, continúa con la lectura de los objetivos de la primera sesión y su respectivo título. Cabe decir que este procedimiento se realiza con cada sesión y que en la guía del docente se encuentran estos elementos como se ve a continuación:

OBJETIVOS GENERALES DE APRENDIZAJE PARA LA UNIDAD

*Comprende estos fenómenos de la física cuántica: radiación de un cuerpo negro, la catástrofe ultravioleta, los cuantos de Planck, efecto fotoeléctrico y la luz como corpúsculo mediante el desarrollo de modelos virtuales, mentales y/o prácticos para generar conciencia acerca de cómo este campo de estudio ha permeado los avances tecnológicos que permiten procesos de comunicación, avances en medicina, entre otros.

*Plantea modelos científicos a partir de un análisis crítico con el fin de simplificar, ejemplarizar y profundizar ciertos fenómenos que se presentan desde la física cuántica.

Sesión 1: Conocimientos de la luz desde lo clásico VS la cuántica ¿Me estoy volviendo loco?

Objetivo de Aprendizaje de la(s) sesión(es):

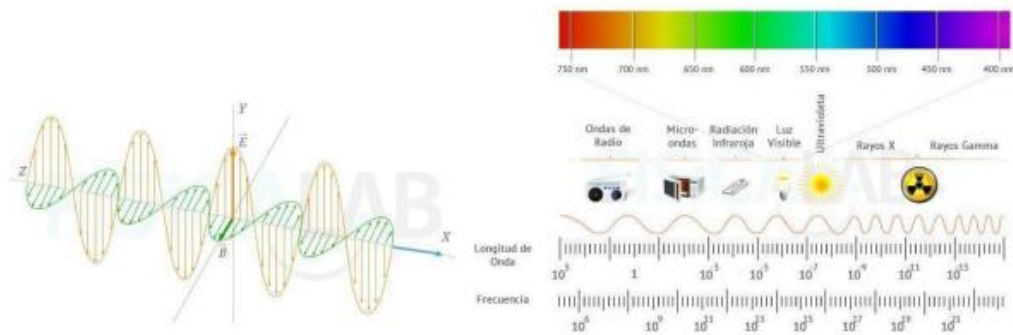
1. Interpretar el concepto de luz como onda electromagnética a través de diferentes modelos científicos usando herramientas tecnológicas, entre otros, con el fin de introducir la naturaleza cuántica de la luz en el salón de clases de grado once.

Posteriormente a través del método de indagación las docentes hacen preguntas guiadas en relación con el concepto de ondas electromagnéticas tales como:

- ¿Qué entiende por el concepto de luz electromagnética?
- ¿Por qué cree que es importante conocer el espectro electromagnético?

Recopilando las respuestas, inquietudes, aportes, etc. Se hace una conclusión guiada a través de la actividad 1 con el fin de analizar los saberes previos de los estudiantes y contrastarlos con los saberes adquiridos durante la implementación de la unidad didáctica. Esta está descrita de la siguiente manera:

Actividad 1- Recordemos el concepto de luz como onda electromagnética (saberes previos)



Cabe decir que esta actividad se encuentra en el anexo presentación y que se centrará este momento en los siguientes puntos tomados de [\(Fisicalab, 2021\)](#):

1. Una **onda electromagnética** es una perturbación periódica del campo eléctrico $E \rightarrow$ y del magnético $B \rightarrow$ que se propaga en el espacio a la velocidad constante de la luz. Se trata de ondas transversales en las que el campo eléctrico y el magnético, en fase, son perpendiculares entre sí y, a su vez, perpendiculares a la dirección de propagación.

1. Se producen ondas electromagnéticas cuando una partícula cargada se encuentra sometida a una aceleración o bien cuando existan corrientes variables. De esta manera la carga eléctrica, en movimiento da lugar a un campo eléctrico variable que, a su vez, crea un campo magnético también variable que, a su vez, crea un campo eléctrico variable y así sucesivamente. **Así se generan y propagan las ondas electromagnéticas.**

1. El espectro electromagnético es el conjunto ordenado de todas las frecuencias o longitudes de onda en que puede descomponerse la radiación electromagnética. Tradicionalmente se suelen establecer 7 zonas que son, de menor a mayor frecuencia: las ondas de radio, las microondas, los infrarrojos, la luz visible, los ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma.

Más adelante las investigadoras muestran algunas implicaciones sobre el espectro electromagnético como tema introductorio para dar paso a la actividad 2, la cual está descrita así:

Actividad 2- El espectro electromagnético en nuestra vida cotidiana

Los estudiantes ingresan a la página web:

https://viewspace.org/interactives/unveiling_invisible_universe/forms_of_light/electromagnetic_spectrum



El simulador les permite a los estudiantes navegar por el espectro electromagnético y al mismo tiempo visualizar cómo interactúa éste en la vida cotidiana, ya que las ondas electromagnéticas están presentes en una amplia gama de aplicaciones:

- Las ondas de radio se transmiten fácilmente a través del aire. No causan daño si son absorbidos por el cuerpo humano. Estas propiedades los hacen ideales para las telecomunicaciones como radio y televisión.
- Las microondas se utilizan ampliamente en aplicaciones que involucran la cocción de alimentos. Cuando las microondas de alta frecuencia son absorbidas por las moléculas de los alimentos, la energía interna de las moléculas aumenta, lo que provoca el calentamiento.
- Las radiaciones infrarrojas se utilizan en cocinas, calentadores eléctricos y cámaras infrarrojas.
- La luz visible se utiliza en la comunicación por fibra óptica.

- Las radiaciones ultravioletas se utilizan en la esterilización del agua.

Se les pedirá a los estudiantes que piensen en diversas aplicaciones del espectro electromagnético en su vida cotidiana.

Antes de pasar a la posterior actividad se les comenta a las estudiantes que por cuestiones de tiempo solo se explorarán algunos autores importantes. Sin embargo, ellas pueden ahondar en los demás en su casa si así lo desean.

Actividad 3- Recuento histórico sobre la física cuántica

Los estudiantes con ayuda de las docentes ven varios eventos históricos relacionados con la naturaleza cuántica de la luz mediante una [línea de tiempo interactiva](#)

Las investigadoras se encargaron de dar un poco más de análisis y mostrar la importancia de los autores seleccionados con el objetivo de hacer un relato más ameno y significativo, al igual, los estudiantes pueden aportar más ideas al respecto.

Actividad 4- ¿Qué es lo cuántico de la física cuántica?

Las docentes ponen en cartulina diferentes fenómenos físicos en el centro del tablero relacionados con la visión cuántica (o no) de la luz y les dan una pequeña explicación de cada uno de ellos. A partir de lo cual los estudiantes deben decir que consideran cuántico o no colocando cada papel en su respectivo espacio.

Nota: Un grupo organiza la respuestas y luego se pregunta a los equipos restantes si están de acuerdo o no con ello y que argumentaran el porque de esa decisión.

Lo que vemos a continuación es a lo que se quiere llegar:

Tabla 1. Fenómenos cuánticos y clásicos

Fenómenos cuánticos	Fenómenos clásicos
Superposición: Ocurre en la naturaleza cuando una partícula elemental posee simultáneamente dos o más estados, como pasa por ejemplo con los fotones, que pueden permanecer en dos lugares diferentes al mismo tiempo.	Radiación electromagnética: Se compone tanto de campos eléctricos como magnéticos. Surge de fuentes naturales o producidas por el hombre. La fuerza de la radiación electromagnética puede variar de energía baja a energía alta. Incluye las ondas de radio, las microondas, la luz infrarroja, la luz visible, la luz ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma. También se llama REM.
Entrelazamiento Cuántico: “Es un fenómeno físico que consiste en la existencia de correlaciones en las medidas de determinados sistemas cuánticos. El mecanismo por el cual se producen estas correlaciones fue objeto de debate desde que en 1935 Albert Einstein, Boris Podolsky y Nathan Rosen publicaron un artículo en el cual se utilizaba un sistema “entrelazado” para intentar demostrar que la mecánica cuántica es una teoría incompleta” (Física cuántica, s.f)	Refracción: Es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos.
Principio de Indeterminación:	Convección: Es el calor transmitido en un líquido o en un gas como consecuencia del

“Afirma que no se puede determinar, simultáneamente y con precisión arbitraria, ciertos pares de variables físicas, como son, por ejemplo, la posición y el momento lineal de un objeto dado” (Garcia, 2012)	movimiento real de las partículas calentadas en su seno
Efecto Túnel: El efecto túnel ocurre cuando un electrón puede atravesar una barrera de potencial. Esto es posible debido al carácter ondulatorio del electrón.	Caída Libre: caída vertical, cuyo trayecto se encuentra sujeto, apenas, a la fuerza de la gravedad.

Sesión 2 : ¿Cómo surgió la física cuántica?

Objetivo de Aprendizaje de la sesión:

1. Analizar los diferentes fenómenos de la física cuántica (radiación de un cuerpo negro, la catástrofe ultravioleta, los cuantos de Planck, efecto fotoeléctrico & la luz como corpúsculo) teniendo en cuenta el impacto de los mismos en el desarrollo de la tecnología actual.
2. Asociar los principales avances tecnológicos con sus respectivos fenómenos cuánticos.

Luego, se pasa a la parte experimental como se describe a continuación:

Actividad 1- Radiación de cuerpo negro- Parte a. Experimento

Los estudiantes tienen una tapa negra y otra de cualquier color, una linterna y un termómetro. Estos elementos son para comprobar que el color negro adquiere una mayor temperatura y a partir de allí

explicar lo que es un cuerpo negro. Cabe decir que se espera con esto es que las estudiantes puedan llegar a las siguientes hipótesis:

- 1. El cuerpo negro absorbe mejor la luz radiada por la linterna que la otra de diferente color.*

Con el fin de complementar y contrastar el concepto se realiza el siguiente simulador web:

Actividad 1- Radiación de cuerpo negro- Parte b. Simulador

Estudiantes podrán crear hipótesis y hallar conclusiones a partir de su observación e interacción con el simulador:

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_certeleso&l=es

Cabe destacar que la pregunta eje de esta actividad es ¿Cuál es la relación de frecuencia y longitud de onda con la temperatura en un cuerpo negro?

Ahora bien, con lo visto se concluye que:

El cuerpo negro es una representación ideal que permite superar la catástrofe ultravioleta, dado que Ley de Rayleigh Jeans se ajustaba muy bien a grandes longitudes de onda, pero predice una producción de energía infinita a longitudes de onda muy pequeñas. Teniendo esto en claro, se introdujo a Lewis, quién propone que la energía radiativa por intervalo de longitud de onda, tiene un máximo a una cierta longitud de onda y que este se desplaza a longitudes de onda más cortas a medida que aumenta la temperatura.

Actividad 2- Catástrofe ultravioleta

Las investigadoras realizan una breve introducción al concepto “catastrofe” mediante el video

https://www.youtube.com/watch?v=8YL_QIGtdOc y a partir de ello, se les pregunta. ¿Qué aspectos

te parecieron relevantes del video? ¿De que se trata la catástrofe ultravioleta? ¿Por qué catástrofe? Lo anterior, se hace para que las estudiantes se contextualizan y analicen este concepto en función de mostrar como inicio la física cuántica.

Actividad 3- Efecto fotoeléctrico

Tanto docentes como estudiantes explorarán de manera conjunta el simulador, posteriormente se elaborarán hipótesis y conclusiones sobre el fenómeno correspondiente.

Nota: El docente explora como guía e instructor.

<https://www.educaplanet.org/game/efecto-fotoelectronico>

Se explora el simulador teniendo en cuenta estos puntos claves:

A. Varía la intensidad ¿Hay cambios? ¿Cuáles?

Respuesta esperada: Si hay variación en la intensidad hay cambios en la cantidad de electrones que produce el material

B. Varía la longitud ¿Qué sucede?

Respuesta esperada: Si hay variación en la longitud hay cambios en la velocidad con que se mueven los electrones después de que salgan del material

C. Varía el voltaje ¿Qué observas?

Respuesta esperada: El voltaje no se puede cambiar manualmente, ya que este varía dependiendo de los otros elementos del simulador-

D. ¿Qué sucede si varías el elemento químico?

Respuesta esperada: Hay un cambio en todas las otras variables anteriores.

Luego se realiza una asociación de la definición online de efecto fotoeléctrico con lo visto previamente guiado a través de la pregunta ¿Es muy diferente la definición que encontraron online en lo visto en el simulador? Y se les propone a las estudiantes esta pregunta ¿Cuál fue el contexto de Einstein para llegar a ese concepto? La cual será retomada en una sesión posterior.

Más adelante se muestra la conclusión sobre este aspecto, esta es: Según los modelos científicos planteados anteriormente, la luz se comporta como una “partícula” y no como una onda (electromagnética)

Actividad 4- Luz como corpúsculo “partícula”

<https://www.youtube.com/watch?v=SzX-R38dZQw>

¿Por qué la luz se comporta de manera diferente a nivel microscópico que en el macroscópico?

Respuesta esperada: porque a nivel microscópico hay probabilidad en sus estados y esto no sucede a nivel macroscópico

¿Al fin que la luz es una partícula o es una onda?

No se tiene una respuesta esperada en este apartado

y se les deja como tarea buscar la biografía de Louis de Broglie y contestar a la pregunta

★ ¿Qué propone De Broglie sobre la luz desde una visión cuántica?

Menciona 5 características que te llamen la atención de la biografía

* Recordar que la propuesta de De Broglie se enfoca en el comportamiento y representación del electrón a nivel cuántico, a partir de esta representación se podría hacer la analogía de este comportamiento con el de la luz a escalas subatómicas.

Sesión 3: Luz: ¿Onda o partícula?

Objetivo de Aprendizaje de la(s) sesión(es):

1. Comprender el fenómeno de la luz como onda y partícula. Además, de explicar por qué se le ha llamado a lo anterior la naturaleza cuántica de la luz.

Actividad 1- ¿Quién fue Albert Einstein?

Las investigadoras introducen un poco sobre la biografía de Einstein y muestra a las estudiantes el siguiente video:

https://www.youtube.com/watch?v=hDpcDoxJuQo&ab_channel=DateUnVlog

Nota: La docente hace pausas a lo largo del video para profundizar acerca de aspectos que a las chicas les puede interesar tales como: ¿Por qué Einstein decidió desafiar las leyes de Newton con su propuesta de la relatividad?

Lo anterior, con el fin de conocer la biografía de Albert Einstein, quien nació el 14 de marzo de 1879 en Ulm, Württemberg, Alemania y murió el 18 de abril de 1955 en Princeton, Nueva Jersey, EE. UU. Albert Einstein desarrolló las teorías especiales y generales de la relatividad. Además, ganó el Premio Nobel de Física en 1921 por su explicación del efecto fotoeléctrico.

✿ **Actividad 2- Experimento de Millikan**

Los estudiantes ven el video:

https://www.youtube.com/watch?v=IYdUM-6qOc0&ab_channel=%22Ahombrosdegigantes.CienciayTecnolog%C3%ADa%22

Con este video se busca que el docente:

1. *Reafirme la parte corpuscular.*
2. *Aborde la luz nuevamente como una onda en esa época*
3. *Experimente de lo que se trata la óptica.*
4. *Realice una actividad de modelización con sus estudiantes*

Más adelante se realizan experimentos de óptica conectados con lo previo como se describe a continuación:

Actividad 3- Experimentos del mundo de la luz, el color y la óptica

Experimento número 1: La moneda que desaparece

Las investigadoras pasan a los estudiantes los siguientes materiales: una moneda, un vaso con agua y otro vacío.

Después les explica a las jóvenes el montaje, donde el primer paso es colocar la moneda en el fondo del vaso vacío tal. Luego, ponerle el vaso con agua encima. Y posteriormente anotar sus observaciones. Las respuestas que se esperan en este apartado es que cuando el rayo de luz que proviene de la moneda llega a la superficie que separa el agua del aire, se produce un cambio en la dirección en que se propaga. Como consecuencia de este cambio de dirección, se vuelve a ver la moneda. Este fenómeno se llama refracción de la luz.

149

* El objetivo principal del experimento fue medir la carga eléctrica elemental (la carga eléctrica más pequeña que un electrón puede llevar) y verificar la naturaleza discreta de la carga eléctrica. Este experimento proporcionó una evidencia experimental sólida de la cuantización de la carga eléctrica y confirmó la naturaleza discreta de las cargas eléctricas.

Experimento número 2: Atardeceres caseros.

Haciendo uso de los vasos utilizados en el previo experimento, las investigadoras llenan el vaso vacío con leche y se deja el vaso con agua. Más adelante se les pide a las estudiantes que coloquen ambos vasos al frente de un papel blanco. Una de sus integrantes va a tomar la linterna y dirigir el foco de luz a través de los vasos. Anota lo que observas y responde a la pregunta ¿De qué color se ve la luz que llega a la pared?

Ahora agréguele la leche al agua. Mezcle bien y vuelva a dirigir el foco de luz a través de este líquido. ¿Qué color observa en la pared ahora? ¿Qué está pasando?

La respuesta a la que se quiere llegar es que las estudiantes ven la leche como un filtro que no permite pasar a todos los colores presentes en la luz blanca, sólo los anaranjados y rojos llegan a la pared. De manera semejante, la atmósfera de la tierra, con sus humos y partículas de polvo filtra la luz del sol, cuando esta entra de manera inclinada, al atardecer. Esto permite que se vean los celajes.

Sesión 4: ¿Cuáles son los fenómenos cuánticos? ¿Cómo los asocio con mi vida?

Objetivo de Aprendizaje de la(s) sesión(es):

1. Explicar los fenómenos cuánticos ya antes señalados mediante modelos científicos que permitan una mejor comprensión de los mismos.

A continuación, las estudiantes deben leer un texto en donde se aborda la discusión entre Einstein y Bohr durante el quinto congreso de Solvay. Al finalizar, el docente le pedirá a las estudiantes que socialicen lo que les llamó la atención de la lectura.

Actividad 1- ¿Qué hay detrás de una foto?

Leer el siguiente apartado de: <https://hipertextual.com/2018/01/solvay-1927>

Si bien el quinto Congreso Solvay llevó a Bruselas a casi una treintena de titanes de la ciencia, el duelo que marcó la cita fue el protagonizado por Einstein y Bohr. Ambos genios se enzarzaron en un debate que traspasaba la sala de actos del Instituto de Fisiología para proseguir en el Hotel Metropole en el que se alojaban los sabios. Durante el desayuno y a la hora de la cena ambos próceres continuaban su duelo de ideas entre las paredes del elegante comedor art déco. Fue en ese contexto -mientras discutían sobre el principio de incertidumbre de Heisenberg- en el que se produjo el agudo intercambio de comentarios entre Einstein y Bohr, uno de los más célebres también de la historia de la Ciencia... Una especie de juego de ajedrez dialéctico de la más alta categoría.

“Dios no juega a los dados”, objetó el alemán.

“Einstein, deja de decirle a Dios lo que debe hacer”, le replicó su colega danés.

La fotografía de Couprie nos invita a adentrarnos en ese ambiente febril, efervescente de ideas. En ella vemos a un Einstein que rompe la postura hierática de sus compañeros. Sentado, con el brazo derecho caído y la mano izquierda cerrada en un puño que se apoya sobre la pierna, el genio alemán mira de frente a la cámara casi con gesto derrengado. A pocos metros, en el extremo derecho del encuadre, también sentado pero en segunda fila, la espalda erguida y la cabeza ligeramente ladeada, Niels Bohr sondea con sus penetrantes ojos al observador.

La instantánea tomada por Couprie es uno de esos regalos que dejó el espíritu filantrópico de Solvay “Einstein no parece estar muy cómodo” –precisa Kumar en su libro- “¿Pero era el cuello de la camisa y la corbata lo que le incomodaba o lo que llevaba escuchando toda la semana?” Bohr, a su vez, continúa el autor de *Quántum*, parece relajado y luce “una sonrisa un tanto enigmática”. “Pero la verdad es que, por más satisfecho que parezca, Bohr regresaría a Dinamarca decepcionado por no haber

podido convencer a Einstein para que adoptara las revelaciones que, sobre la naturaleza de la realidad, hacía la ‘interpretación de Copenhague’”. Dos titanes entre una veintena larga de genios. Una foto irrepetible que 90 años después sigue inspirando y azuza la inteligencia y la imaginación. La instantánea tomada por Coupré en aquel lejano 1927 es uno de esos regalos que dejó el espíritu filantrópico de Solvay.

Actividad 2- ¿Por qué ver la luz desde lo cuántico como probabilística?

Principio de incertidumbre video: <https://www.youtube.com/watch?v=p9Ucf5LwWJM>

En la siguiente actividad, los estudiantes deberán ver un video de Javier Santaolalla en donde se aborda el principio de incertidumbre de Heisenberg.

Entre los aspectos a resaltar del video se encuentran:

- 1. La idea de De Broglie de que los electrones no son solo partículas, sino ondas que se propagan en el espacio y el tiempo.*
- 2. La fórmula es una inequación.*
- 3. Momentum y posición.*
- 4. Entender que no es una imitación sino una restricción el conocer tanto la posición como la velocidad de un fotón (o de cualquier partícula elemental) desde lo cuántico.*

Al finalizar de ver el video, el docente le preguntará a los estudiantes ¿por qué creen que es importante ver la física cuántica desde lo probabilístico?

Actividad 3- ¿Una metáfora o una crítica a analizar?

Posteriormente, se muestra el gato de Schrödinger, se explica que es una crítica hacia la física cuántica por parte de este autor y se retoma lo que es superposición desde lo cuántico.



Actividad 4- Juego de roles- heisenberg y einstein---Act de modelización

Las estudiantes en parejas en cada uno de los equipos conformados con anterioridad deberán adoptar una posición de acuerdo a un juego al azar hecho con anterioridad.

roles:

1. **Heisenberg** : Ver la física cuántica desde la probabilidad
2. **Einstein**: Ver la física cuántica desde algo incompleto

Los ejes temáticos a tratar desde estos roles son: superposición y principio de incertidumbre

Dados estos ejes temáticos y posiciones la idea es que ellos investiguen al respecto y representen mediante un modelo cada concepto.

Actividad 5- Física cuántica y la pseudo-ciencia

Los estudiantes escucharán el siguiente Podcast:

https://www.youtube.com/watch?v=UwSkL5i_wEI&t=553s&ab_channel=PaolaZurita

Con el fin de diferenciar la física cuántica de pseudociencias se muestra un podcast, donde se le hace una breve introducción a la experta; quién comienza hablando de partículas subatómicas y finaliza explicando lo que son las vibraciones de onda. Además, se relata una experiencia personal a modo de anécdota sobre las supersticiones o creencias no científicas acerca de la física cuántica.

Actividad 6- ¿De qué se trata la física probabilística?

Los estudiantes leerán el siguiente texto.

<https://wp.icmm.csic.es/superconductividad/fisica-cuantica-y-transiciones/fisica-cuantica/>

La física cuántica es uno de los grandes logros del intelecto humano y es la base de la comprensión de los fenómenos naturales. La física clásica es un límite de la física cuántica. La física cuántica explica el átomo, el enlace químico, las moléculas, la interacción de la luz con las partículas, la materia... Aunque la física cuántica describe el mundo a escala atómica podemos observar sus consecuencias a escala macroscópica en las propiedades térmicas (como la radiación), ópticas (como los colores), eléctricas (como la clasificación entre aislantes, metales y semiconductores en los sólidos cristalinos) y magnéticas (como el ferromagnetismo, antiferromagnetismo y otros órdenes magnéticos de la materia). La física cuántica tiene a su vez importantes aplicaciones tecnológicas como la invención del transistor y por lo tanto del ordenador y es la base de la mayoría de la alta tecnología electrónica que utilizamos hoy en día.

La idea principal es que las partículas son también ondas y las ondas son también partículas. La intuición de que las partículas sean también ondas se la debemos a De Broglie que propuso que la velocidad por la masa (denominado momento en física $p=mv$) de una partícula es inversamente proporcional a la longitud de onda ($p=h/\lambda$). El factor proporcional h es la constante de Planck. La hipótesis ondulatoria de las partículas ha sido confirmada numerosas veces en fenómenos de interferencia.

El electrón, por ejemplo, es entonces onda y partícula a la vez y se describe por una función de onda que tiene una amplitud y una fase. El cuadrado de la función de onda nos da la probabilidad de encontrar el electrón y su fase se puede observar porque produce fenómenos de interferencia. La física cuántica es entonces esencialmente probabilística en contraste con la física clásica que es determinista.

A partir de toda la información presentada anteriormente, se les pide a los estudiantes que creen un mapa conceptual en grupo sobre lo que consideran es física cuántica..

Actividad 7- Dualidad - Onda Partícula

Los estudiantes ingresarán al siguiente simulador:

<https://www.edumedia-sciences.com/es/media/47-onda-particula>

En esta actividad, se busca que los estudiantes puedan observar de manera gráfica el comportamiento de la luz como onda y como partícula. Se recuerdan también las ideas de De Broglie sobre la materia.

Sesión 5: ¿Qué ventajas trae el aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz? ¿Cómo evalúo mi conocimiento adquirido en esta propuesta didáctica?

Objetivo de Aprendizaje de la(s) sesión(es):

1. Propone y expone diferentes ventajas del conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz con el fin de mostrar la relación que existe entre los fenómenos de la física cuántica y los avances tecnológicos con los que actualmente cuentan

Actividad 1: ¿Cómo funciona la física cuántica en nuestra cotidianidad?

Los estudiantes leerán el siguiente texto:

Aplicaciones física cuántica

<https://www.portafolio.co/tendencias/fisica-cuantica-parte-diario-vivir-143834>

¿Qué tienen en común una máquina de resonancia y el mecanismo de apertura automática de una puerta? Ambas son fruto de la física cuántica, un universo que se rige por sus propias normas y que está viviendo su segunda revolución tecnológica.

Aunque para la mayoría de la gente el concepto física cuántica es algo totalmente esotérico, que suena complicadísimo, propio de sesudos y aburridos científicos ajenos a nuestra vida cotidiana, resulta que un tercio de nuestra economía está basada en ella.

Así de categórica es la física Sonia Fernández-Vidal, autora de *La puerta de los tres cerrojos*, una trepidante aventura en un universo con normas propias donde los muros se pueden atravesar, la teleportación es un medio común de transporte, dos hermanos gemelos se sacan años de diferencia y un gato, el de Schrödinger, está vivo y muerto a la vez.

Pero nada de ello es ciencia ficción, sino realidad concreta o, mejor dicho, realidad cuántica.

“En el mundo cuántico todo lo que es posible está sucediendo al mismo tiempo”, asegura Fernández-Vidal, doctora en física de 33 años que, con este libro, quiere acercar a los adultos –aunque su protagonista sea un adolescente– los conceptos elementales de la física cuántica, la que describe y estudia el comportamiento de las partículas fundamentales (las que no están formadas por otras más pequeñas): los bosones, los quarks y los leptones, capaces de hacer cosas que parecen mágicas.

Actividad 1- Parte 2: ¿Cómo funciona la física cuántica en nuestra cotidianidad?

El láser de los reproductores DVD, las células fotoeléctricas de las puertas automáticas, los transistores de los computadores, la televisión digital, el microondas, los rayos X, los aparatos de resonancias...

Fernández-Vidal casi pierde la cuenta y el aliento para enumerar algunas de las cosas que existen gracias a la física cuántica.

Pero lo mejor está por venir, pues “ahora está llegando una segunda revolución tecnológica de la física cuántica” que tiene su punta de lanza en los computadores cuánticos, con los que ya se está trabajando en algunas universidades.

“Ya han conseguido hacer computación con 12 qubits (bits cuánticos), con una capacidad de cálculo similar a un computador de los años 50; cuando se pase a 60, su capacidad será mucho mayor que la de todos los computadores que hay hoy puestos a calcular en paralelo”.

Otra aplicación que ya se comercializa es la criptografía cuántica, que permite transmitir informaciones a las que sólo puede acceder su destinatario gracias a las peculiaridades cuánticas de los fotones y al conocido como principio de incertidumbre de Heisenberg.

Pero la física cuántica abre otras muchas posibilidades que, “aunque aún están muy lejos, podrían tener una aplicación práctica en el futuro, pues teóricamente no hay ningún impedimento”, explica Fernández-Vidal, que ha trabajado en el Cern (Suiza) y en Los Álamos (EE. UU.), dos de los cuatro grandes centros de investigación sobre el tema.

Entre ellas cita la teleportación –que no es teletransportación– de un objeto, que ya se ha experimentado con éxito con partículas muy pequeñas, como las que se teleportaron a través del Danubio o en Ginebra, e incluso la telepatía estaría dando sus primeros pasos, pues en Estados Unidos

se está trabajando “en una especie de chip que se pone en el cerebro y permite controlar el ratón del ordenador”.

Un cambio de paradigma

El modelo cuántico y la teoría de la relatividad supusieron un cambio de paradigma en el mundo de la física. “Había muchos conceptos que tomábamos como verdad a finales del XIX que cambiaron drásticamente”. La física cuántica, “que describe el comportamiento de cosas muy pequeñas, como son las partículas subatómicas, ha sido un paso gigante en el modo de pensar de los científicos”.

El universo ya no es como una gran maquinaria en la que “todo está determinado”, la física cuántica “envuelve al observador en lo que está observando, el determinismo desaparece y da una visión completamente diferente del mundo que nos rodea”, asegura Vidal-Fernández.

Al finalizar la lectura, se le pide a los estudiantes que compartan las ideas que le llamaron la atención de la lectura. Al final se retoman las ideas que socializaron las estudiantes.

Actividad 2 Kahoot!

Las estudiantes ingresarán a la siguiente página:

<https://kahoot.it/>

Se les mostrará un código que deben ingresar para entrar al Kahoot, una vez allí, responderán las siguientes preguntas:

1. La Superposición cuántica plantea que un sistema físico tal como un fotón, puede existir en todos sus teóricamente posibles estados de forma simultánea.

- a. **Verdadero**
- b. Falso

2. Selecciona algunas de las aplicaciones de la física cuántica

- a. bluetooth, gafas y satélites
- b. bombilla, carro y satélites
- c. **láser, satélites y bluetooth**
- d. cama, láser y espejo

3. ¿Cuáles de estas son aplicaciones del espectro electromagnético? Puedes seleccionar más de una.

- a. **Wifi**
- b. **Radiación ultravioleta**
- c. Lupa
- d. **Rayos x**

4. ¿Las radiaciones emitidas por el microondas son dañinas para el ser humano?

- a. Sí
- b. **No**

★ 5. El principio de incertidumbre nos permite conocer:

- a. El momentum y la posición.
- b. **Sólo una magnitud física (momentum o posición).**
- c. Ninguna de las anteriores.

160

* Es importante mencionar que la pregunta hace referencia a la medición o información que se podría obtener en el preciso momento de interactuar con el ente cuántico (Principio de incertidumbre o indeterminación de Heisenberg).

RÚBRICA DE EVALUACIÓN

La presente rubrica busca orientar los aspectos a evaluar de acuerdo al nivel de desempeño de la implementación del proceso formativo.

ASPECTO A EVALUAR (destrezas, capacidades)		Desempeño SUPERIOR	Desempeño ALTO	Desempeño PARCIAL	Desempeño INSATISFACTORIO
Comprender los fenómenos de la física cuántica.		El estudiante comprende de manera satisfactoria los fenómenos de la física cuántica, tales como: radiación de un cuerpo negro, la catástrofe ultravioleta, los cuantos de Planck, efecto fotoeléctrico & la luz como corpúsculo.	El estudiante comprende la mayoría de los fenómenos de la física cuántica, tales como: radiación de un cuerpo negro, la catástrofe ultravioleta, los cuantos de Planck, efecto fotoeléctrico & la luz como corpúsculo.	El estudiante comprende de manera vaga los fenómenos de la física cuántica, tales como: radiación de un cuerpo negro, la catástrofe ultravioleta, los cuantos de Planck, efecto fotoeléctrico & la luz como corpúsculo. O en su defecto conoce muy bien	El estudiante no comprende de manera satisfactoria los fenómenos de la física cuántica, tales como: radiación de un cuerpo negro, la catástrofe ultravioleta, los cuantos de Planck, efecto fotoeléctrico & la luz como corpúsculo.
Interacción efectiva con trabajo colaborativo		Interactúa eficientemente con sus compañeros, escucha atentamente a los demás y da ideas para resolver problemas.	Interactúa eficientemente con sus compañeros, escucha atentamente a los demás y da ideas para resolver problemas.	Interactúa pocas veces con sus compañeros, no escucha atentamente a los demás y da pocas ideas para resolver problemas.	No interactúa con sus compañeros, no escucha atentamente a los demás y no da ideas para resolver problemas.
Identificar y relacionar lo cuántico de la luz con su entorno diario		Identifica y relaciona lo cuántico de la luz con su entorno diario	Identifica lo cuántico de la luz, pero en parte le cuesta relacionar los fenómenos naturales en las diferentes actividades.	Tiene una leve noción de lo que es lo cuántico o no de la luz, se le dificulta relacionar los conceptos en las diferentes actividades.	No identifica lo que es cuántico o no de la luz y no es capaz de relacionar los conceptos en las diferentes actividades

Planteamiento de modelos científicos a partir de un análisis crítico.	Las estudiantes demuestran gran habilidad para plantear modelos científicos a partir de un análisis crítico con el fin de simplificar, ejemplarizar y profundizar ciertos fenómenos que se presentan desde la física cuántica	El estudiante demuestra buena habilidad en el planteamiento de modelos científicos a partir de un análisis crítico con el fin de simplificar, ejemplarizar y profundizar ciertos fenómenos que se presentan.	El estudiante demuestra poca habilidad para plantear modelos científicos a partir de un análisis crítico con el fin de simplificar, ejemplarizar y profundizar ciertos fenómenos que se presentan desde la física cuántica	El estudiante demuestra un bajo nivel de habilidad para plantear modelos científicos a partir de un análisis crítico con el fin de simplificar, ejemplarizar y profundizar ciertos fenómenos que se presentan desde la física cuántica
Propuesta y exposición sobre las diferentes ventajas del conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz	Las estudiantes en la mayoría de las ocasiones son capaces de proponer y exponer diferentes ventajas del conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz.	Las estudiantes en la mayoría de los casos son capaces de proponer y exponer diferentes ventajas del conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz.	Las estudiantes en pocas ocasiones son capaces de proponer y exponer diferentes ventajas del conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz.	Las estudiantes no son capaces de proponer y exponer diferentes ventajas del conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz.

CUESTIONARIO DIAGNOSTICO – NATURALEZA CUÁNTICA DE LA LUZ

Instrumento comparativo – antes y después de la implementación de la Unidad Didáctica

El objetivo del presente cuestionario es poder realizar un comparativo de los posibles conocimientos adquiridos por parte de los estudiantes antes y después de la implementación de la Unidad Didáctica.

Para ello, inicialmente los estudiantes participantes conformarán grupos de cuatro integrantes cada uno, posteriormente ingresarán al link del cuestionario, buscando responder cada pregunta previamente discutida de forma cooperativa - colaborativa. Se recomienda que los grupos conformados se mantengan durante todo el proceso de formación enfocado en la naturaleza cuántica de la luz. Aunque se deja la metodología de realización a libertad del docente según el contexto del salón de clases.

Al finalizar la implementación se recomienda realizar un comparativo de respuestas permitiendo indicar a través de la anterior rubrica los alcances de la unidad didáctica en cuanto a los aprendizajes por parte de los estudiantes participantes, según los resultados obtenidos.

Cabe enfatizar que este cuestionario es uno de varios instrumentos que permiten evaluar los alcances de los aprendizajes por parte de los participantes: <https://forms.gle/cASAhSx136kiHkdQA>

Cuestionario: Naturaleza cuántica de la luz

Realizar el presente cuestionario en los grupos conformados previamente, marcar la respuesta que consideran verdadera dada la discusión generada de forma cooperativa.

* Indica que la pregunta es obligatoria

1. Numero del grupo *

Marca solo un óvalo.

- ☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ 5
☐ 6
☐ 7

2. 1- La luz es un fenómeno natural que ha atraído a los científicos durante siglos, se representa como una forma de energía que se transmite en partículas llamadas fotones, pero también tiene un comportamiento ondulatorio describiéndose como una onda que se propaga a través del espacio. * 1 punto

La teoría científica que describe la naturaleza de la luz como una onda, se conoce como la:

Marca solo un óvalo.

- ☐ a) Teoría de la relatividad de Einstein
☐ b) Teoría de la mecánica cuántica
☐ c) Teoría electromagnética de Maxwell
☐ d) Teoría de la gravedad de Newton

5. 4- La catástrofe ultravioleta es un término utilizado en la física para describir un fenómeno particular que se observa en la emisión de radiación por un cuerpo negro. Un cuerpo negro es un objeto que absorbe toda la radiación que recibe y la emite nuevamente como radiación térmica, y su emisión de radiación es un fenómeno importante en la física cuántica. * 1 punto

Se conoce como "catástrofe ultravioleta", al:

Marca solo un óvalo.

- ☐ a) El aumento de la radiación ultravioleta que llega a la Tierra debido al agujero en la capa de ozono generada por un cuerpo negro
☐ b) El fenómeno por el cual la teoría clásica de la física predice una emisión infinita de radiación en el espectro ultravioleta por un cuerpo negro.
☐ c) El cambio climático causado por la exposición excesiva a la radiación ultravioleta del cuerpo negro.
☐ d) El fenómeno por el cual la teoría cuántica de la física predice una emisión finita de radiación en el espectro ultravioleta por un cuerpo negro.

6. 5- El principio de incertidumbre de Heisenberg es un concepto fundamental de la física cuántica, aportando a la descripción indeterminada y probabilística de la naturaleza a escalas subatómicas. El principio de incertidumbre de Heisenberg, presenta la: * 1 punto

Marca solo un óvalo.

- ☐ a) imposibilidad de conocer con precisión la posición y el momento de una partícula subatómica al mismo tiempo
☐ b) idea de que las partículas subatómicas pueden existir en múltiples lugares al mismo tiempo
☐ c) capacidad de las partículas subatómicas para influir en la posición de otras partículas subatómicas a distancia
☐ d) capacidad de las partículas subatómicas para tener múltiples valores de espín al mismo tiempo

3. 2- La luz es una forma de energía electromagnética que se mueve a través del espacio a una velocidad extremadamente alta. A pesar de que la luz es una onda electromagnética, tiene propiedades que la distinguen de otras ondas, como la capacidad de polarización. * 1 punto

La polarización de la luz se conoce como:

Marca solo un óvalo.

- ☐ a) La orientación de la luz para refractarse al pasar a través de un medio transparente
☐ b) La capacidad de la luz para reflejarse al chocar con una superficie
☐ c) La orientación de la oscilación eléctrica de la onda de luz
☐ d) La capacidad de la luz para viajar a través del espacio vacío

4. 3- El espectro electromagnético es un concepto físico que permite describir el rango completo de ondas electromagnéticas que se propagan a través del espacio. Las ondas electromagnéticas son una forma de energía que se mueve a través del vacío a una velocidad constante, caracterizándose por su frecuencia y longitud de onda. * 1 punto

El espectro electromagnético, se conoce como:

Marca solo un óvalo.

- ☐ a) Una representación gráfica de la propagación de las ondas electromagnéticas.
☐ b) Un conjunto de ondas electromagnéticas con diferentes frecuencias y longitudes de onda.
☐ c) La cantidad de energía que transporta una onda electromagnética.
☐ d) La velocidad a la que se propaga una onda electromagnética.

7. 6- El entrelazamiento cuántico es un fenómeno fundamental de la física cuántica en el que dos partículas subatómicas se relacionan de tal manera que su estado cuántico se vuelve interdependiente. Esto significa que las propiedades de una partícula están estrechamente relacionadas con las propiedades de la otra, incluso si están separadas por grandes distancias. El entrelazamiento cuántico representa: * 1 punto

Marca solo un óvalo.

- ☐ a) La capacidad de las partículas subatómicas para estar en múltiples lugares al mismo tiempo
☐ b) La conexión de las partículas subatómicas para influir en la posición de otras partículas subatómicas a distancia
☐ c) La capacidad de las partículas subatómicas para tener múltiples valores de espín al mismo tiempo sin importar la distancia
☐ d) La conexión instantánea entre partículas subatómicas que han interactuado en el pasado, sin importar la distancia entre ellas en el presente.

8. 7- La naturaleza cuántica de la luz se basa en la idea de que la luz es tanto una onda como una partícula, lo que significa que puede ser descrita tanto en términos de sus propiedades ondulatorias como de sus propiedades corpusculares. Los fotones son partículas elementales de luz que se comportan como partículas cuánticas, lo que significa que su movimiento y su comportamiento están sujetos a las leyes de la mecánica cuántica. * 1 punto

¿Qué significa que la luz es tanto una onda como una partícula?

Marca solo un óvalo.

- ☐ a) Que la luz se representa como una onda en algunos contextos y una partícula en otros
☐ b) Que la luz siempre se comporta como una onda según la representación de la física cuántica
☐ c) Que la luz siempre se comporta como una partícula según la representación de la física cuántica
☐ d) Que la luz es un tipo de materia

9. 8- El efecto fotoeléctrico es un fenómeno que ocurre cuando la luz incide sobre una superficie y hace que los electrones en la superficie sean expulsados. Este fenómeno se puede explicar mediante la naturaleza cuántica de la luz, que demuestra que la luz se compone de partículas cuánticas llamadas fotones. * 1 punto

¿Cómo se puede explicar el efecto fotoeléctrico mediante la naturaleza cuántica de la luz?

Marca solo un óvalo.

☐ a) La luz es refractada por los electrones en la superficie, generando un comportamiento cuántico de la luz

☐ b) La luz es reflejada por los electrones en la superficie, generando una conexión inmediata entre estos elementos.

☐ c) La luz es absorbida por los electrones en la superficie, permitiendo su interacción instantánea.

☐ d) La luz se compone de partículas cuánticas llamadas fotones, que pueden interactuar con los electrones en la superficie para expulsarlos

10. 9- En la física cuántica, la función de onda es una herramienta probabilística utilizada para describir el comportamiento de las partículas subatómicas, es decir, la función de onda proporciona información sobre la distribución de probabilidad de las posibles mediciones que se pueden hacer en una partícula subatómica. * 1 punto

La función de onda describe:

Marca solo un óvalo.

☐ a) La posición exacta de una partícula subatómica en un momento dado siendo inexacto su energía

☐ b) La velocidad de una partícula subatómica en un momento dado.

☐ c) La probabilidad de encontrar una partícula subatómica en una posición y momento dados.

☐ d) La probabilidad de encontrar la energía total de una molécula en un momento dado.

11. 10- A diferencia de los bits clásicos, que solo pueden tener valores de 0 o 1, un qubit puede estar en un estado superpuesto que es una combinación de 0 y 1 al mismo tiempo. Al aprovechar las propiedades únicas de los qubits, como el entrelazamiento cuántico, las computadoras cuánticas tienen el potencial de realizar ciertos cálculos exponencialmente más rápido que las computadoras clásicas. Los qubits son: * 1 punto

Marca solo un óvalo.

☐ a) Bits clásicos que se usan en computadoras cuánticas.

☐ b) Partículas subatómicas que se usan para almacenar y procesar información en sistemas cuánticos.

☐ c) Una forma de medir la posición y el momento de una partícula con precisión absoluta.

☐ d) Partículas subatómicas que permiten calcular con precisión el comportamiento cuántico de la luz

12. ¿Certifico el envío de la realización del cuestionario por parte del grupo mencionado anteriormente? *

Marca solo un óvalo.

☐ SI

☐ No

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

El cuestionario se propone cerrado de selección múltiple, dado que en la mayoría de los casos los estudiantes participantes están o estuvieron en el proceso de presentación de las pruebas estandarizadas (pruebas Saber 11) evaluadas por el Ministerio de Educación Nacional (MEN). Cada pregunta procura enfocarse en una de las tres competencias evaluadas en estas pruebas: El uso comprensivo del conocimiento científico, la explicación de fenómenos y la indagación.

Sin embargo se recomienda registrar la información generada en las discusiones y aportes por cada grupo de trabajo en el momento de su desarrollo, buscando obtener mayor información frente a los conocimientos alcanzados por los estudiantes. Las preguntas están orientadas de la siguiente forma:

1-3: Enfocadas en el conocimiento de la representación de la luz como onda electromagnética (conocimientos previos a la implementación de la unidad didáctica)

4-10: Enfocadas en los conocimientos adquiridos relacionados con algunos fenómenos cuánticos durante la implementación de la unidad didáctica de la naturaleza cuántica de la luz.

Clave de respuestas:

1	c	2	c	3	b	4	b	5	a
6	d	7	a	8	d	9	c	10	b

7. Criterios y Hallazgos de la implementación de la Unidad didáctica (Análisis de las participantes)

6.2 Criterios y hallazgos

6.2.1 Resultados de la sesión #1: “Conocimientos de la luz desde lo clásico vs lo cuántico ¿Me estoy volviendo loco?”

Esta primera sesión consistía en que las estudiantes interpretaran el concepto de luz como onda electromagnética a través de diferentes modelos científicos estudiados y utilizando recursos tecnológicos; todo esto con el fin de introducirse en la naturaleza cuántica de la luz.

Lo que se esperaba de esta sesión, la cual incluía cuatro actividades, es que las estudiantes recordaran el espectro electromagnético, que identificaran y compararan algunas de sus características, tales como: la longitud de onda y la frecuencia. Se esperaba, además, que las estudiantes identificaran los usos y aplicaciones de las ondas electromagnéticas en su vida cotidiana.

A continuación, se describe lo ocurrido en esta sesión, teniendo como foco de discusión a los criterios de investigación.



Figura 2. Trabajo de las estudiantes sesión # 1 “Conocimientos de la luz desde lo clásico vs lo cuántico ¿Me estoy volviendo loco?”.

Tabla 4. Resultados de la sesión #1: “Conocimientos de la luz desde lo clásico vs lo cuántico ¿Me estoy volviendo loco?”

CRITERIOS DE ANÁLISIS	HALLAZGOS
Estrategias de los estudiantes	Se les pidió a las estudiantes que pensar en aplicaciones del espectro electromagnético en la vida cotidiana. El primer grupo respondió que por luz electromagnética tenían un concepto errado, que, gracias a las explicaciones, pudieron comprender mejor. Respondieron también que es importante conocer el espectro electromagnético porque es un elemento clave para las telecomunicaciones, en algunas aplicaciones mencionan: el microondas, el aire acondicionado, la radio, el control remoto, el eco, al enviar mensajes, entre otros.

Actividad # 2:
El espectro electromagnético en nuestra vida cotidiana

Ingresar al siguiente enlace:
https://viewspace.org/interactives/unveiling_invisible_universe/forms_of_light/electromagnetic_spectrum



El espectro electromagnético ha contribuido al desarrollo tecnológico y al uso de aplicaciones en diferentes campos. Piensa en algunos de estas aplicaciones que utilizas en tu vida cotidiana y anótalas.

- /Despertador
- /Microondas
- /Al enviar un mensaje
- /Aire acondicionado
- /El eco
- /La radio
- /El control
- /Comunicación con las personas
- /Wifi

Las estudiantes mencionaron que, gracias al simulador utilizado en la actividad número dos, pudieron comprender que hay tipos de radiación electromagnética que los ojos humanos no pueden ver, además, se les facilitó

relacionar las diferentes longitudes de onda con diversas aplicaciones.

Actividad # 2:
El espectro electromagnético en nuestra vida cotidiana

Ingresar al siguiente enlace:
https://viewspace.org/interactives/unveiling_invisible_universe/forms_of_light/electromagnetic_spectrum



El espectro electromagnético ha contribuido al desarrollo tecnológico y al uso de aplicaciones en diferentes campos. Piensa en algunos de estas aplicaciones que utilizas en tu vida cotidiana y anótalas.

El espectro de radio con elementos móviles que son ondas de radio que son invisibles para nuestros ojos. Las ondas infrarrojas como el calor de nuestros cuerpos. La luz visible como el reflejo de los colores que permite ver todo lo que nos rodea. Ondas ultravioletas en las estrellas.

Aportes de las TIC como herramientas cognitivas	Para acceder a la guía, las estudiantes debieron escanear un código “QR” que les permitió descargar un documento en formato PDF con todas las actividades planteadas para la sesión. Esto facilitó la interacción de las estudiantes con las TIC como herramientas cognitivas, ya que sólo debían dar clic en los enlaces para realizar las actividades. En esta sesión, se utilizó un simulador en donde las estudiantes podían visualizar las diferentes aplicaciones del espectro electromagnético navegando por las diferentes longitudes de onda. Esto facilitó que las estudiantes identificaran más aplicaciones del espectro en su vida cotidiana. Se utilizó también una línea del tiempo interactiva que permitía ver los eventos y personajes históricos más relevantes relacionados con la naturaleza de la luz. Además, se utilizaron recursos audiovisuales como presentación de PowerPoint y videos que facilitaron la comprensión de los conceptos vistos durante la sesión.	Gestión didáctica del profesor-investigador	Las profesoras utilizaron la socialización de respuestas para conocer los conceptos previos que se tenían sobre las ondas electromagnéticas y la importancia del espectro electromagnético. A su vez, la socialización permitió que hubiera más interacción entre los diferentes grupos de la clase, movilizand así diferentes puntos de vista sobre aplicaciones. Adicional a lo anterior, también plantearon una actividad de relación de conceptos. En ella, las profesoras ponen diferentes fenómenos físicos en el centro del tablero relacionados con la visión cuántica (o no) de la luz y les daban una explicación de cada uno de ellos. A partir de esto, las estudiantes definieron qué considerar cuántico o no, colocando cada papel en su respectivo espacio. Esta actividad permitió conocer las nociones que tienen las estudiantes sobre física cuántica y sus respectivos fenómenos.



Figura 3. Trabajo de las estudiantes sesión # 1 “Conocimientos de la luz desde lo clásico vs lo cuántico ¿Me estoy volviendo loco?”.



Figura 4. Trabajo de las estudiantes sesión # 1 “Conocimientos de la luz desde lo clásico vs lo cuántico ¿Me estoy volviendo loco?”.

6.2.2 Resultados de la sesión #2: “¿Cómo surgió la física cuántica?”

Esta segunda sesión consistía en que las estudiantes analizaran los diferentes fenómenos de la física cuántica (radiación de un cuerpo negro, la catástrofe ultravioleta, los cuantos de Planck, efecto

fotoeléctrico y la luz como corpúsculo), teniendo en cuenta el impacto de estos en el desarrollo de la tecnología actual.



Figura 5. Trabajo de las estudiantes sesión #2: “¿Cómo surgió la física cuántica?”

Lo que se esperaba de esta sesión, la cual incluye cuatro actividades, era que las estudiantes se familiarizaran con el concepto de “Cuerpo negro” y conocieran el contexto histórico de la física cuántica, empezando por la catástrofe ultravioleta y la solución que propuso Max Planck. Se esperaba, también, reafirmar la naturaleza corpuscular de la luz mediante el efecto fotoeléctrico de Albert Einstein y el experimento de la doble rendija.

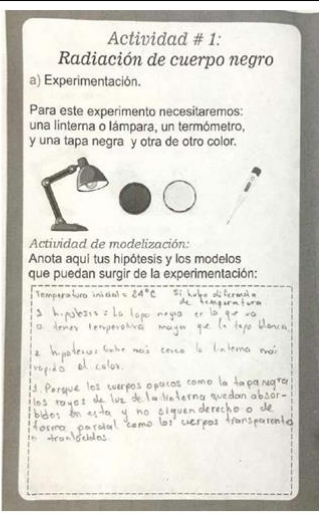
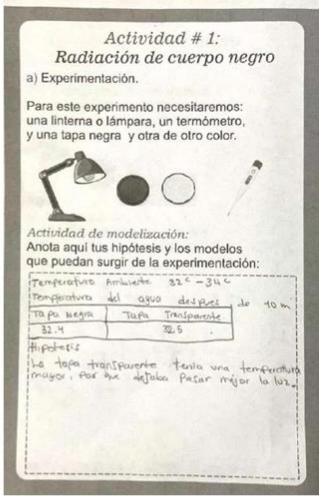
A continuación, se describe lo ocurrido en esta sesión, teniendo como foco de discusión a los criterios de investigación.



Figura 6. Trabajo de las estudiantes sesión #2: “¿Cómo surgió la física cuántica?”

Tabla 5. Resultados de la sesión #2: “¿Cómo surgió la física cuántica?”

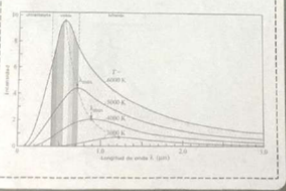
CRITERIOS DE ANÁLISIS	HALLAZGOS
Estrategias de los estudiantes	Para esta segunda sesión, las estudiantes plantearon modelos en donde representaban las hipótesis que pueden surgir de la experimentación. Dos de los cuatro grupos plantearon modelos que no correspondieron a los resultados de la experimentación, lo que permitió reformular sus conocimientos previos.



La actividad de modelización les permitió a las estudiantes relacionar las tapas negras con el concepto de “cuerpo negro”. Al finalizar el experimento, algunas estudiantes relacionaron este concepto con situaciones de la vida real, por ejemplo, cuando se usa ropa negra.

Aportes de las TIC como herramientas cognitivas

En esta sesión, las estudiantes utilizaron un simulador de radiación de cuerpo negro que les facilitó relacionar la frecuencia y la longitud de onda con la temperatura del cuerpo negro. Esto también les permitió visualizar la ley de desplazamiento de Wien y comprender cómo la ley de Rayleigh-Jeans falla en modelar adecuadamente la radiación del cuerpo negro en la región ultravioleta.

	Actividad # 1: Radiación de cuerpo negro b) Simulador. Ingresa al siguiente simulador: https://www.vascak.cz/data/android/physicschool/template.php?z=opt_corteleso&l=es ¿Cuál es la relación de frecuencia y longitud de onda con la temperatura en un cuerpo negro? Es proporcional ya que a medida que va aumentando la frecuencia y la longitud de onda también aumenta la temperatura del cuerpo negro.  Durante la sesión, se utilizaron recursos audiovisuales como presentación de PowerPoint y videos que facilitaron la comprensión de la catástrofe ultravioleta y por qué fue tan importante resolverla; así como el experimento de doble rendija y la demostración de que la luz y la materia pueden presentar características tanto	Gestión didáctica del profesor-investigador	de ondas, como de partículas clásicamente definidas. Por último, se utilizó un simulador del efecto fotoeléctrico, en donde las estudiantes pudieron comprobar que la luz se comporta como una partícula cuando interactúa con la materia, como los electrones en una superficie metálica. Las profesoras utilizaron la socialización de respuestas para conocer los diferentes modelos que se plantearon en la actividad de experimentación, en donde las estudiantes debían medir la temperatura del agua dentro de las tapas de plástico de diferente color. Además, las profesoras utilizaron el discurso para profundizar en la biografía de Max Planck y en la Catástrofe Ultravioleta. Por otro lado, invitaron a la reflexión mediante preguntas como: ¿Por qué crees que a nivel subatómico la materia se comporta de manera distinta a como lo hace a nivel macroscópico?, lo que permitió que las estudiantes enriquezcan entre sí los conocimientos adquiridos durante la sesión.

6.2.3 Resultados sesión #3: “Luz ¿Onda o partícula?”

Esta tercera sesión consistía en que las estudiantes comprendieran el fenómeno de la luz como onda-partícula y explicaran por qué se le ha llamado, a lo visto en las sesiones uno y dos, como la naturaleza cuántica de la luz.



Figura 7. Trabajo de las estudiantes sesión #3: “Luz ¿Onda o partícula?”

Lo que se esperaba de esta sesión, la cual incluye tres actividades, es que las estudiantes explicaran qué se entiende por dualidad onda-partícula y describieran los puntos principales de la hipótesis de De Broglie, de que las partículas de materia también tienen una naturaleza ondulatoria. Por último, que identificaran fenómenos en los que las ondas electromagnéticas se comportan como un haz de fotones y las partículas se comportan como ondas.

A continuación, se describe lo ocurrido en esta sesión, teniendo como foco de discusión a los criterios de investigación.



Figura 8. Trabajo de las estudiantes sesión #3: “Luz ¿Onda o partícula?”



Figura 9. Trabajo de las estudiantes sesión #3: “Luz ¿Onda o partícula?”

Tabla 6. Resultados sesión #3: “Luz ¿Onda o partícula?”

CRITERIOS DE ANÁLISIS	HALLAZGOS

Estrategias de los estudiantes	Para esta tercera sesión, las estudiantes plantearon modelos en donde explicaban lo que sucede en los experimentos. Para el primer experimento, las estudiantes necesitaron una moneda, un vaso y agua, debieron colocar la moneda bajo el vaso y, después, llenarlo de agua. Las estudiantes observaron que la moneda desaparecía. Todos los grupos plantearon que el efecto se debía a la refracción por el cambio de medio.

Actividad # 3:
Experimentos del mundo de la luz, el color y la óptica

a) Experimentación.
 Para este experimento necesitaremos:
 Una moneda, un vaso y agua.



¿Qué sucede al llenar el vaso de agua?
 Desde la visión como corpúsculo crea un modelo con el cual expliques este experimento

Lo que sucede en el experimento es una refracción en la cual al colocar el vaso con agua se cambia de medio y por ende no se puede ver la moneda desde los costados.

Se planteó otra actividad en donde las estudiantes también debía experimentar con un vaso de agua, una linterna y una caja de leche. Las estudiantes relacionaron conceptos como la umbra y el comportamiento ondulatorio de la luz.

Actividad # 3: Experimentos del mundo de la luz, el color y la óptica b) Experimentación. Para este experimento necesitaremos: Agua, una pared blanca, una linterna y 1 cucharadita de leche.  ¿Qué sucede al agregar la leche? Desde la visión como corpúsculo crea un modelo con el cual expliques este experimento Cuando al agua que se vierte en la linterna se le agrega la leche, ésta se ilumina por un efecto que se llama <u>dispersión de la luz</u>. Algo que notamos es que cuando el agua solo contiene agua el rayo de luz que se emite es un haz muy fino cuando le agregamos leche el rayo de luz se ilumina doble y su color es blanco. Si al agua de leche le la queda absorbida ya que no refleja ni se refleja, así como un cuerpo opaco como es la luz que al estar en un cuerpo opaco se refleja.	Aportes de las TIC como herramientas cognitivas	En esta sesión, los estudiantes utilizaron recursos audiovisuales como presentación de PowerPoint y videos que mostraban la vida de Albert Einstein, físico nacido en Alemania que desarrolló las teorías especiales y generales de la relatividad; ganador del Premio Nobel de Física en 1921, por su explicación del efecto fotoeléctrico. También, se observó la explicación del experimento de <u>Millikan</u>, el cual demostró que la carga eléctrica está cuantificada. Este experimento reafirmó la naturaleza cuántica de la luz.
	Gestión didáctica del profesor-investigador	Las profesoras actuaron como orientadoras a la hora de realizar los experimentos y utilizaron la socialización para dar a conocer las opiniones de las estudiantes con respecto a la vida de Albert Einstein y su primera esposa; así como de la polémica detrás del experimento de <u>Millikan</u>.

6.2.4 Resultados sesión #4: “¿Cuáles son los fenómenos cuánticos? ¿Cómo los asocio con mi vida?”

Esta cuarta sesión consistía en que las estudiantes explicaran los fenómenos cuánticos mediante modelos científicos que permitían una mejor comprensión de estos. Lo que se esperaba de esta sesión,

la cual incluye siete actividades, era que las estudiantes comprendieran la importancia de ver la luz desde lo cuántico mediante la probabilística. Se esperaba, además, que entendieran de qué trata el principio de incertidumbre de Heisenberg, la superposición y el entrelazamiento cuántico. Era importante también que conocieran la pseudociencia detrás del “misticismo cuántico”.

A continuación, se describe lo ocurrido en esta sesión, teniendo como foco de discusión a los criterios de investigación.



Figura 10. Trabajo de las estudiantes sesión #4: “¿Cuáles son los fenómenos cuánticos? ¿Cómo los asocio con mi vida?”



Figura 11. Trabajo de las estudiantes sesión #4: “¿Cuáles son los fenómenos cuánticos? ¿Cómo los asocio con mi vida?”



Figura 12. Trabajo de las estudiantes sesión #4: “¿Cuáles son los fenómenos cuánticos? ¿Cómo los asocio con mi vida?”

Tabla 7. Resultados sesión #4: “¿Cuáles son los fenómenos cuánticos? ¿Cómo los asocio con mi vida?”

CRITERIOS DE ANÁLISIS	HALLAZGOS

Estrategias de los estudiantes	Para esta cuarta sesión, las estudiantes participaron en un juego de roles en donde debían adoptar la posición de <u>Heisenberg</u> o <u>Einstein</u> para explicar los fenómenos de Superposición Cuántica y Principio de Incertidumbre. Aquí se logró que las estudiantes contextualizaran o atenizaran su realidad como se ve a continuación: Estudiante 2: “El principio de incertidumbre, viéndolo desde Einstein, no existe, dado que por ejemplo mi mano se está moviendo o se está quieta, pero no ambas a la vez”. Una integrante de cada grupo salió al frente a representar su fenómeno de superposición o principio de incertidumbre, desde la posición de Einstein (determinista) o <u>Heisenberg</u> (Probabilística).

Actividad # 4:

Juego de roles

Actividad de modelización

Plantea modelos en donde expliques con tus propias palabras los fenómenos:

Superposición cuántica y Principio de Incertidumbre

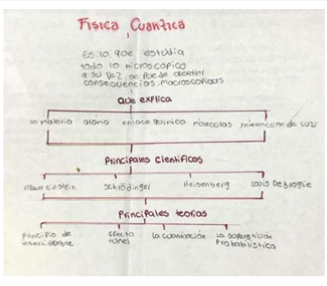
Superposición cuántica es la explicación del principio. Ocurre cuando un objeto posee simultáneamente, dos o más

El principio de incertidumbre es, entonces, el principio en la cuántica para conocer al mismo tiempo dos cantidades, estas son la ubicación de la partícula y su momento con total precisión.

Ejemplo: la mano nunca está quieta, no cabe la posibilidad, siempre hay una oscilación

 **Quantum**

Cada grupo diseñó un mapa conceptual sobre la física cuántica, en donde pudieron representar los conocimientos que tenían hasta el momento.

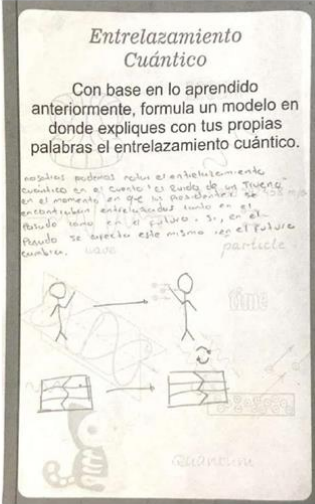
		Aportes de las TIC como herramientas cognitivas	En esta sesión, las estudiantes utilizaron recursos audiovisuales como presentación de PowerPoint, simulador, videos y podcast. Las investigadoras utilizaron un video para complementar lo visto sobre el principio de incertidumbre de Heisenberg. También utilizaron una viñeta para explicar el origen de la crítica del “gato de Schrödinger”, se les pide a las estudiantes que ingresen a un simulador de edu.media, donde se buscaba que ellas pudieran observar de manera gráfica el comportamiento de la luz como onda y como partícula. Por último, se utilizó un podcast con el fin de diferenciar la física cuántica de pseudociencias, donde se hablaba sobre partículas subatómicas, la enseñanza que se daba en los colegios sobre la física, donde agregaba que estos no profundizan tanto en esta área y finalizaba explicando lo que son las vibraciones de onda. Además, se relató una experiencia personal a modo de anécdota sobre las supersticiones o creencias no científicas acerca de la física cuántica.

Gestión didáctica del profesor-investigador	Las profesoras utilizaron la socialización y la indagación dirigida para motivar a las estudiantes a dar respuestas a las diferentes preguntas planteadas en la clase tales como: “¿Qué les llamó la atención de la lectura sobre el congreso de Solvay?”. A lo que las estudiantes respondieron que les llamaba mucho la atención que sólo participara una mujer, las investigadoras hicieron énfasis en el papel relevante de la mujer en la ciencia. Las profesoras también plantearon un juego de roles en donde las estudiantes debían explicar los fenómenos de Superposición Cuántica y Principio de Incertidumbre, bajo las perspectivas de Heisenberg y Einstein.	 Figura 13. Trabajo de las estudiantes sesión #5: “¿Qué ventajas trae el aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz?”  Figura 14. Trabajo de las estudiantes sesión #5: “¿Qué ventajas trae el aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz?”

6.2.5 Resultados sesión #5: “¿Qué ventajas trae el aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz?”

Esta quinta sesión consistía en la realización de cuatro actividades, en las cuales se buscaba las estudiantes propusieran y/o expusieran diferentes ventajas del conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz; esto con el fin de mostrar la relación que existe entre los fenómenos de la física cuántica y los avances tecnológicos. Cabe mencionar que los elementos claves de esta sesión fueron el láser y los transistores. A continuación, se describe lo ocurrido en esta sesión, teniendo como foco de discusión a los criterios de investigación.

Tabla 8. Resultados sesión #5: “¿Qué ventajas trae el aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz?”

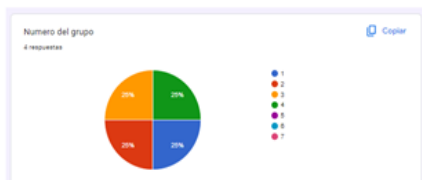
CRITERIOS DE ANÁLISIS	HALLAZGOS		
Estrategias de los estudiantes	Para esta quinta sesión, las estudiantes participaron, en un inicio, de manera individual leyendo un artículo enfocado en la pregunta “¿Cómo funciona la física cuántica en nuestra cotidianidad?”. Posteriormente, se habló sobre el entrelazamiento cuántico, donde las estudiantes debían crear un modelo. Entendiendo esto mismo como una representación del fenómeno. Aquí se logró que las estudiantes contextualizaran o aterrizaran su realidad, tal y como se ve a continuación:	Aportes de las TIC como herramientas cognitivas	En esta sesión, las estudiantes utilizaron recursos audiovisuales como presentación de PowerPoint, videos y lecturas de artículos desde el celular. Las estudiantes observaron un video sobre los transistores y su relación con la física cuántica. Allí se explicaba que el transistor de efecto de campo de túnel (TFET), es un tipo de transistor experimental, y aunque su estructura es

muy similar a la de un transistor de efecto de campo semiconductor de óxido de metal (MOSFET), el mecanismo de conmutación fundamental es diferente, lo que convierte a este dispositivo en un candidato prometedor para la electrónica de baja potencia. También se abordan que los TFET cambian modulando el túnel cuántico a través de una barrera en lugar de modular la emisión termoiónica sobre una barrera como en los MOSFET tradicionales. Después de esto, se observó un video sobre el LASER, en donde se explica que la palabra láser vienen de <u>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</u>. Luz amplificada por emisión de radiación estimulada en español y que es un dispositivo que utiliza un efecto de la física cuántica, la emisión inducida o estimulada, para generar un haz de luz coherente tanto espacial como temporalmente. A continuación se habla de las diferentes aplicaciones del láser en la vida cotidiana, las cuales pueden ser en medicina, industrias, armas, tecnología, comunicaciones, entre otras.		Gestión didáctica del profesor-investigador	Las profesoras utilizaron la socialización y la indagación dirigida para motivar a las estudiantes a dar respuestas a las diferentes preguntas planteadas en la clase, como por ejemplo: “¿Qué les llamó la atención de la lectura?”. A lo que alguna de las estudiantes dijo que le llamó la atención que la mayoría de las personas veían a la física como un campo muy complejo, pero que no se dan cuenta de que todas las cosas que utilizan a diario están relacionadas con la física cuántica. También se planteó una actividad de relación de conceptos, en donde las profesoras ponían diferentes fenómenos físicos en el centro del tablero, relacionados con la visión cuántica (o no) de la luz y les daban una explicación de cada uno de ellos. A partir de esto, las estudiantes definieron qué consideraban cuántico o no, colocando cada papel en su respectivo espacio.

Análisis de los resultados del cuestionario comparativo

A partir de la aplicación del cuestionario diagnóstico relacionado con la naturaleza cuántica de la luz (antes y después de la implementación de la unidad didáctica), se hace la respectiva comparación de resultados:

Resolución de cuatro grupos con cuatro integrantes cada uno: total 16 integrantes.



Pregunta	Resultados de la aplicación – Antes de la formación	Resultados de la aplicación – Después de la formación Análisis
1 – La luz como onda	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)
2- La polarización de la luz	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)
3- El espectro electromagnético	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)
4- La catástrofe Ultravioleta	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)
5- El principio de incertidumbre	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)

de la competencia de nivel más bajo (El estudiante no comprende de manera satisfactoria los fenómenos de la física cuántica, tales como: radiación de un cuerpo negro, la catástrofe ultravioleta, los cuantos de Planck, efecto fotoeléctrico & la luz como corpúsculo - No identifica lo que es cuántico o no de la luz y no es capaz de relacionar los conceptos en las diferentes actividades) a la más alta (El estudiante comprende de manera satisfactoria los fenómenos de la física cuántica, tales como: radiación de un cuerpo negro, la catástrofe ultravioleta, los cuantos de Planck, efecto fotoeléctrico & la luz como corpúsculo - Identifica y relaciona lo cuántico de la luz con su entorno diario), en los ítem que evalúan la comprensión de los fenómenos de la física cuántica y la identificación y relación de lo cuántico de la luz con su entorno diario. Este instrumento, junto con los mencionados anteriormente permite inferir un aprendizaje y apropiación del reconocimiento de los fenómenos de la naturaleza cuántica de la luz por parte de los estudiantes participantes de la implementación de la unidad didáctica.

6- El entrelazamiento cuántico	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)
7- La dualidad onda-partícula	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)
8- El efecto fotoeléctrico	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)
9- La función de onda	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)
10- Los bits cuánticos	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)	4 respuestas correctas 1. ¿La luz es una onda? (1.00%) 2. ¿La luz es una onda? (1.00%) 3. ¿La luz es una onda? (1.00%) 4. ¿La luz es una onda? (1.00%)

Los estudiantes no habían trabajado problemáticas ni fenómenos naturales enfocados en la física cuántica, por ello se esperaba que en las preguntas relacionadas con la naturaleza cuántica de la luz, los resultados no iban a ser positivos. Por otro lado, ellos si habían visto las representaciones de la luz como onda electromagnética junto con sus propiedades, lo cual se logra demostrar en los resultados de las tres primeras preguntas.

Es así que al realizar los respectivos comparativos, se logra evidenciar la mejoría en las respuestas de forma significativa, ubicando sus saberes de acuerdo a la rúbrica propuesta

¿Certifico el envío de la realización del cuestionario por parte del grupo mencionado anteriormente?

4 respuestas



SI
No

8. Estrategias de socialización del conocimiento adquirido en la investigación

TIPO DE ESTRATEGIA	FECHA	DETALLE	INSTITUCIÓN RESPONSABLE
Artículo	2021 -01	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”. Volumen 2, Numero 1. ISSN 2745-1070.	Universidad del Valle
Artículo	2021-07	Informática Cuántica: Un acercamiento a sus métodos, desarrollos y aplicaciones. Revista “Caja de Herramientas”. Volumen 2, Numero 2. ISSN 2745-1070.	Universidad del Valle
Ponencia	2021-02	Enseñanza de la física cuántica en la educación media. Segundo seminario de avances en electrónica aplicada.	Universidad del Valle
Conferencia principal	2021-07	Enseñanza de la física cuántica en la educación media: formando profesores de ciencias. * Asistencia de las profesoras en formación.	Universidad ICESI
Ponencia	2021-08	Formación de profesores para la enseñanza de la física cuántica en la secundaria: Investigación Doctoral para el avance de la alfabetización científica en Colombia. 1er Workshop Nacional de Investigación en la Formación Inicial de Profesores de Ciencias “Reflexiones de la investigación formativa en ciencias mediada por contextos tecnológicos”.	Universidad de Córdoba
Conferencia principal	2021-10	Enseñanza de la física cuántica en la secundaria: Investigación Doctoral para la formación de profesores de ciencias. Ciclos de conferencias para la Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales. * Asistencia de las profesoras en formación.	Universidad Nacional de Colombia
Ponencia	2021-10	Enseñanza de la física cuántica en la secundaria: Formación de profesores de ciencias en procesos de alfabetización científica. XVII Jornadas V Congreso Internacional del Maestro Investigado: procesos, transformaciones, contingencias de la educación.	Universidad Pontificia Bolivariana
Ponencia	2021-10	La necesidad de formar profesores de ciencias para la enseñanza de la física cuántica en la secundaria: Investigación Doctoral como aporte a la alfabetización científica en nuestra sociedad. III Congreso nacional e internacional de estudios educativos reformas, enfoques innovadores y educación comparada.	Universidad Santiago de Cali
Ponencia	2022-07	Formación de docentes para la enseñanza de la física cuántica en la educación media. Coloquio nacional sobre historia, filosofía y enseñanza de las ciencias.	Universidad del Valle
Ponencia	2022-10	Formación de profesores de ciencias naturales -física en educación STEM: enseñanza de la física cuántica en la educación media. Congreso Nacional de educación STEM 2.0	CONASTEM. Colectivo Nacional de Educación STEM
Ponencia	2022-11	Formación de profesores para la enseñanza de la física cuántica en la secundaria. 11 congreso nacional de enseñanza de la física y de la astronomía.	Universidad de Antioquia
Dirección de Tesis	2022	Muñoz, L. & Obando, N. (2022). Enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz a través de la modelización como estrategia didáctica y el uso de las TIC en el aula. Un estudio de caso con estudiantes de la educación media.	Universidad ICESI

		Tesis de Pregrado. Licenciatura en ciencias naturales. Escuela de Ciencias de la Educación.	
Dirección de Tesis	2022	Muñoz, L. (2022). Incorporation of CLIL methodology in a didactic proposal, which was based on modeling and the use of ICTs as a didactic strategy for teaching the quantum nature of light to high school students. Tesis de Pregrado. Licenciatura en lenguas extranjeras. Escuela de Ciencias de la Educación.	Universidad ICESI
Conferencia principal	2023-04	El condensado de Bose – Einstein: La necesidad de una sociedad actualizada y democratizada científicamente.	Universidad del Tolima
Artículo	2023-08	Cuéllar, A. (2023). Formación de profesores para la enseñanza de la física cuántica en la secundaria: necesidad de la democratización del conocimiento científico. Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias, Número especial, v18, pp.1-15	Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
Ponencia	2023-09	La formación de profesores de ciencias para la enseñanza de la física cuántica en la educación media Colombiana. VII Encuentro Internacional sobre la Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales	Universidad Tecnológica de Pereira – UTP. Universidad Católica de Pereira – UCP.
Ponencia	2023-10	Formación de profesores de ciencias: La enseñanza de la física moderna en la secundaria. I Congreso de Escuelas Normales del Valle del Cauca.	Escuela Nacional del Deporte.
Ponencia	2023-10	El CTPC en la formación de profesores de ciencias: la enseñanza de la física cuántica en la educación media. X Congreso internacional sobre formación de profesores de ciencias.	Universidad Pedagógica Nacional - Universidad Distrital Francisco José De Caldas – Universidad Santo Tomas.

Tabla No 25: Estrategias de Socialización de la Tesis Doctoral. Fuente: autor.

