



**DOCTORADO CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN RUDECOLOMBIA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
UNIVERSIDAD DE NARIÑO**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN DIDÁCTICAS ESPECÍFICAS
UNIVERSIDAD DE VALENCIA**

**CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL CONTENIDO SOBRE
LA ESTRUCTURA ATÓMICA EN PROFESORES EN
FORMACIÓN EN CIENCIAS NATURALES DE COLOMBIA**

Tesis doctoral de:

MARÍA ALEJANDRA NARVÁEZ GÓMEZ

Directores:

DRA. ZULMAN ESTELA MUÑOZ BURBANO

DR. JORDI SOLBES MATARREDONA

MAYO DE 2025

Notas de la Autora

María Alejandra Narváez Gómez

IX Cohorte

Doctorado Ciencias de la Educación

RUDECOLOMBIA - Universidad de Nariño

Doctorado en Didácticas Específicas (Ciencias experimentales)

Universidad de Valencia

Contacto: alejanarvaez27@gmail.com

Agradecimientos

Dedico esta tesis a una mujer extraordinaria que ha sido mi referente, mi inspiración y mi fortaleza: mi madre. Gracias por mostrarme una forma diferente de ver el mundo. Tu fe inquebrantable me ha sostenido en los momentos en que más me resistía a él. Estoy profundamente agradecida por tu capacidad de ver lo bueno incluso en las circunstancias más difíciles, y por estar siempre a mi lado como un apoyo incondicional, aun cuando no comprendías del todo mis preocupaciones. Tu habilidad para encontrar salidas en medio de la adversidad me ha dejado lecciones imborrables. Gracias por amarme de una manera única y protectora; todo lo que me diste ha sido más que suficiente para convertirme en la mujer que soy hoy.

Agradezco profundamente a mi padre, por ser guía y ejemplo; a mi tía por todo su amor, comprensión y orientación, a mis hermanos, a mi sobrina y a toda mi familia, por su cariño constante. Su presencia ha sido un aliento firme y permanente que me ha impulsado a seguir adelante.

Extiendo mi gratitud a la doctora Zulma Muñoz Burbano, por su acompañamiento generoso y orientación constante a lo largo de este proceso. Gracias por compartir conmigo su sabiduría, su amistad y por ser una mujer que inspira. Estoy profundamente agradecida por todo lo vivido y aprendido durante estos años. Gracias por haber creído en mí.

Agradezco de manera especial al doctor Jordi Solbes, cuyo respaldo fue determinante en mi trayectoria. Estoy sinceramente agradecida por su apoyo incondicional, por lo aprendido a su lado y por brindarme el espacio necesario para concentrarme en la escritura. Ese gesto fue clave para poder culminar este proceso.

Por último, deseo expresar mi reconocimiento a todas las personas que, de una u otra forma, me han acompañado en este viaje. Cada una ha sido parte fundamental de esta etapa de mi vida.

Y por su puesto a Lucky, mi amado perro.

Índice de Contenidos

Capítulo 1. Introducción y Problematicación	9
1.1. Abordaje de los Antecedentes	10
1.1.2 El Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) para la Formación de Profesores	12
1.1.3 Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) en Ciencias Naturales	16
1.1.4 Formación de Profesores: Enseñanza Aprendizaje de la Física Cuántica.....	17
1.1.4.1 Teoría Cuántica y Enseñanza de la Estructura Atómica.....	26
1.1.4.2 Teoría Cuántica y Enseñanza de la Estructura Atómica en Colombia	28
1.2 Problematicación	31
1.2.1 Formación de Licenciados en Ciencias Naturales.....	31
1.2.2 Enseñanza de la Estructura Atómica	36
Capítulo 2. Marco Teórico e Hipótesis	39
2.1 Enunciado de las Hipótesis	39
2.2 Fundamentación de las Hipótesis	41
2.2.1 Contextualizando Shulman	41
2.2.2 Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC)	45
2.2.3 El Conocimiento de los Contenidos y su Papel en la Definición de la Enseñanza como Profesión.....	50
2.2.4 Fundamentación Teórica sobre la Estructura Atómica	56
2.2.4.1. Primeras Concepciones sobre la Estructura Atómica.....	56
2.2.4.2 Antecedentes del Modelo Cuántico.....	57
2.2.4.2.1 Efecto Fotoeléctrico	58
2.2.4.2.2 Modelo de Bohr	59
2.2.4.2.3 Comportamiento Ondulatorio de la Materia	60
2.2.4.2.4 Relaciones de Indeterminación de Heisenberg	61

2.2.4.2.5 Modelo Cuántico del Átomo de Schrödinger	63
Capítulo 3. Diseño Experimental para Comprobar la Primera Hipótesis.....	65
3.1 Objetivos Específicos Primera Hipótesis.....	66
3.2. Diseño para Análisis del Proyecto Educativo del Programa PEP	66
3.3 Diseño para Analizar los Documentos Curriculares (Microcurrículos) Relacionados con la Enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia	68
3.4 Cuestionario para el Profesorado	72
Capítulo 4. Resultados Primera Hipótesis	81
4.1. Resultados del Proyecto Educativo del Programa PEP de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental.....	83
4.1.1 Resultados U1	83
4.1.2. Resultados U2	93
4.1.3. Resultados U3	100
4.1.4. Resultados U4	109
4.1.5. Resultados U5	117
4.1.6 Análisis comparativo de los Proyectos Educativos de Programa (PEP).....	126
4.2. Resultados del Análisis de los Microcurrículos	129
4.2.1. Resultados Rejilla de Análisis para Selección de Cursos que Aborden la Temática de Estructura Atómica LCN1	129
4.2.2. Resultados Rejilla de Análisis de Microcurrículos para la Estructura Atómica LCN1	136
4.2.3. Resultados Rejilla de Análisis para Selección de Cursos que Aborden la Temática de Estructura Atómica LCN2	138
4.2.4. Resultados Rejilla de Análisis para Selección de Cursos que Aborden la Temática de Estructura Atómica LCN3	141
4.2.5. Resultados Rejilla de Análisis para Selección de Cursos que Aborden la Temática de Estructura Atómica LCN4	145

4.2.6. Resultados Rejilla de Análisis de Microcurrículos para la Estructura Atómica LCN4.....	148
4.2.7. Resultados Rejilla de Análisis para Selección de Cursos que Aborden la Temática de Estructura Atómica LCN5.....	150
4.2.8. Resultados Rejilla de Análisis de Microcurrículos para la Estructura Atómica LCN5.....	156
4.2.9. Valoración Conjunta	163
4.3. Resultados Cuestionario Profesores.....	168
Capítulo 5. Diseño Experimental para Comprobar la Segunda Hipótesis	193
5.1. Diseño del Cuestionario para Indagar el Conocimiento Didáctico del Contenido CDC de los Estudiantes	193
5.2 Criterios para el Análisis del Cuestionario para Indagar el Conocimiento Didáctico del Contenido CDC de los Estudiantes.....	196
Capítulo 6. Resultados Segunda Hipótesis	203
6.1. Resultados Estadísticos del Cuestionario	203
6.2. Características de la Muestra	206
6.3. Análisis Descriptivo por cada <i>Ítem</i>	212
Capítulo 7. Conclusiones y Perspectivas.....	251
Referencias Bibliográficas.....	265

Índice de Tablas

Tabla 3.1._Guía de Análisis Documental para el Proyecto Educativo del Programa PEP. ...	67
Tabla 3.2._ <i>Rejilla de análisis para selección de cursos que aborden la temática de estructura atómica</i>	69
Tabla 3.3._ <i>Rejilla de análisis de micro- currículos para la estructura atómica (adaptado de Muñoz-Burbano, 2020)</i>	71
Tabla 3.4._ <i>Cuestionario de profesores basado en el cuestionario red de análisis de Muñoz (2020)</i>	75
Tabla 4.1._ <i>Peso porcentual por componente curricular U1</i>	84
Tabla 4.2._ <i>Peso porcentual por componente curricular U2</i>	94
Tabla 4.3._ <i>Peso porcentual por componente curricular U3</i>	101
Tabla 4.4._ <i>Peso porcentual por componente curricular U4</i>	110
Tabla 4.5._ <i>Peso porcentual por componente curricular U5</i>	118
Tabla 4.6._ <i>Síntesis de resultados obtenidos del estudio de los cinco programas de licenciatura</i>	163
Tabla 4.7._ <i>Clasificación de la muestra por estudios realizados</i>	168
Tabla 4.8.	169
<i>Clasificación de docentes por tipo de estudio</i>	169
Tabla 4.9._ <i>Clasificación de docentes por tipo de estudio</i>	169
Tabla 4.10._ <i>Estudios de posgrado en detalle</i>	170
Tabla 4.11._ <i>Resultados Ítem 1</i>	174
Tabla 4.12._ <i>Resultados Ítem 2</i>	177
Tabla 4.13. <i>Resultados Ítem 3</i>	180
Tabla 4.14._ <i>Resultados Ítem 4</i>	185
Tabla 4.15._ <i>Resultados Ítem 5</i>	189
Tabla 5.1._ <i>Cuestionario para indagar el conocimiento didáctico del contenido CDC de los estudiantes de Licenciatura en Ciencias Naturales. Fuente: Adaptado del instrumento de Muñoz-Burbano (2020) y del instrumento representación de los Contenidos (content representation, CoRe) que Proponen Loughran et al. (2012) para acceder al CDC.</i>	194
Tabla 6.1._ <i>Estadística de fiabilidad del instrumento</i>	203
Tabla 6.2._ <i>Estadística de elemento (N=172)</i>	204

Tabla 6.3._Variable género del estudiante	206
Tabla 6.4._Variable universidad del participante	207
Tabla 6.5._Variable programa académico.....	209
Tabla 6.6._Variable semestre que cursa el participante.....	210
Tabla 6.7._Conocimiento de los estudiantes: papel de las ideas previas en la enseñanza de la ciencia	212
Tabla 6.8._Conocimiento de los estudiantes: método de aprendizaje de la ciencia	215
Tabla 6.9._Conocimiento de los contextos educativos: nivel educativo para abordar la estructura del átomo	217
Tabla 6.10._Conocimiento de los contextos educativos: importancia de la formación científica	219
Tabla 6.11._¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación al concepto de electrón?	221
Tabla 6.12._¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación concepto de fotón? ..	223
Tabla 6. 13._¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación a los niveles de energía en el átomo?	226
Tabla 6.14._¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación a las Relaciones de Indeterminación de Heisenberg?	228
Tabla 6.15._¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación al orbital atómico? ..	230
Tabla 6.16._¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación a las implicaciones tecnológicas y sociales de la teoría cuántica?	233
Tabla 6.17._¿Por qué considera importante que los estudiantes aprendan conceptos relacionados con la Teoría cuántica?	235
Tabla 6.18._¿Qué otra cuestión (contenidos) sobre la estructura del átomo considera relevantes?	237
Tabla 6.19._Dificultades en la enseñanza de la estructura atómica	239
Tabla 6.20._¿Conoce las posibles ideas alternativas que pueden tener los estudiantes en el aprendizaje de la estructura del átomo?	241
Tabla 6.21._Metodología por utilizar en la enseñanza de la estructura atómica para mayor aprendizaje de los estudiantes	243
Tabla 6.22._Evaluación de la comprensión de conceptos	247

Capítulo 1. Introducción y Problematicación

Se considera que una educación de calidad requiere estar sustentada en un conocimiento profundo de los conceptos y procesos científicos, así como en la comprensión de las formas en que se construye y valida el conocimiento científico. Este conocimiento, al ser tanto práctico como crítico, mantiene vínculos estrechos con aspectos sociales (Torres y Solbes, 2016).

Al respecto, analizar la formación de profesores en ciencias naturales a partir del Conocimiento Profesional del Profesor (CPP) y del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) (Shulman, 1986; 1987; Magnusson et al., 1999; Abell, 2007; Roth, 2007; Verdugo et al., 2019), permite comprender las formas especiales como la enseñanza exige una integración simultánea de las ideas clave del contenido con las formas como los estudiantes las aprenden.

El presente trabajo se organiza en siete capítulos principales que abordan de manera integral el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) sobre la estructura atómica en los profesores en formación en ciencias naturales en Colombia. A continuación, se describe brevemente el contenido de cada capítulo.

El Capítulo 1, Introducción y Problematicación, introduce la relevancia de la enseñanza de los CDC en ciencias naturales, abordando los antecedentes históricos y las bases teóricas que sustentan la investigación. En este apartado, se analiza la formación docente en relación con la enseñanza de la física cuántica y la estructura atómica, destacando su importancia en el contexto educativo colombiano. Además, se desarrolla la problematicación, identificando las brechas existentes en los programas de formación de profesores y su impacto en la enseñanza de conceptos avanzados.

En el Capítulo 2, Marco Teórico e Hipótesis, se presentan las dos hipótesis centrales del estudio, acompañadas de su fundamentación teórica. Aquí se examinan los aportes de Shulman y otros autores en relación con el CDC, así como los conceptos clave de la estructura atómica, incluyendo modelos clásicos, cuánticos y sus antecedentes históricos. Este marco teórico contextualiza la relevancia de integrar la física cuántica en la formación docente.

El Capítulo 3, Diseño Experimental para Comprobar la Primera Hipótesis, describe el diseño metodológico utilizado para validar la primera hipótesis. Este capítulo incluye el análisis de los Proyectos Educativos del Programa (PEP) de licenciaturas en ciencias naturales, los microcurrículos relacionados con la estructura atómica y un cuestionario aplicado al profesorado. El enfoque metodológico combina técnicas cualitativas y cuantitativas para garantizar una comprensión integral del problema investigado.

En el Capítulo 4, Resultados Primera Hipótesis, se presentan los hallazgos derivados del análisis de los PEP, los microcurrículos y las respuestas de los profesores de las licenciaturas objeto de estudio. En este apartado se identifican las fortalezas y limitaciones en la enseñanza de los CDC, destacando cómo la falta de integración de la teoría cuántica afecta la formación de los futuros docentes en ciencias naturales.

El Capítulo 5 se centra en el diseño experimental desarrollado para explorar la segunda hipótesis, que sugiere que el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) sobre la estructura atómica en los profesores en formación en ciencias naturales evidencia insuficiencias que podrían comprometer su desarrollo adecuado. Este capítulo detalla el procedimiento metodológico implementado para evaluar la hipótesis a través de la aplicación de un cuestionario dirigido a estudiantes de licenciaturas en ciencias naturales en Colombia, así como los criterios empleados para su análisis.

El Capítulo 6 presenta los hallazgos obtenidos a partir del análisis de los cuestionarios aplicados a los estudiantes de licenciatura en ciencias naturales, con el objetivo de comprobar la segunda hipótesis del estudio. Se exponen los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos, junto con un análisis detallado de sus implicaciones.

Finalmente, el Capítulo 7, Conclusiones y Perspectivas, resume las principales conclusiones del estudio, ofrece recomendaciones para mejorar la enseñanza de los CDC en las licenciaturas y sugiere líneas futuras de investigación. Estas orientaciones buscan fortalecer la formación docente en ciencias naturales, promoviendo una enseñanza integral y acorde con las demandas contemporáneas.

1.1. Abordaje de los Antecedentes

Para la configuración de los antecedentes, se tuvo como propósito clasificar, sistematizar y reflexionar sobre el conocimiento concerniente con la didáctica del contenido y su relación con la enseñanza aprendizaje de la estructura atómica en profesores en formación en ciencias naturales; de este modo, a partir de la revisión de artículos científicos, capítulos, libros, conferencias y similares, se establecieron algunas tendencias y problemáticas de investigación.

Así, el estudio de antecedentes es un análisis del conocimiento acumulado que hace parte de la investigación documental, que presenta dentro de sus objetivos inventariar y sistematizar la producción en un área del conocimiento, permitiendo realizar una reflexión profunda sobre las tendencias, vacíos, reconocimiento e interpretación de la realidad, además, y para este caso en particular, fundamenta y justifica la tesis doctoral (Montoya, 2005).

Ahora bien, a partir de los aportes de Cuesta (2018) y Morales (2003), se propuso desarrollar este apartado en tres fases a saber:

Primera fase (selección y clasificación de la información): teniendo en cuenta el objeto de la investigación, se procedió a establecer las dos categorías de búsqueda, que para este caso fueron: conocimiento didáctico del contenido (CDC) y estructura atómica desde la física cuántica; es preciso señalar que ambas categorías se abordaron desde estudios tanto nacionales como internacionales.

De esta manera, para la primera categoría, referida al conocimiento didáctico del contenido (CDC), la búsqueda se realizó teniendo en cuenta las siguientes subcategorías: a) Conocimiento didáctico del contenido general; b) Conocimiento didáctico del contenido en profesores en formación; c) Conocimiento didáctico del contenido en ciencias naturales.

Asimismo, para la segunda categoría, es decir, estructura atómica desde la física cuántica, se referenciaron las siguientes subcategorías: a) Enseñanza y aprendizaje de la física cuántica; b) Teoría cuántica y enseñanza de la estructura atómica de la materia; c) Teoría cuántica y enseñanza de la estructura atómica de la materia en Colombia.

Ahora bien, los criterios de selección de los documentos fueron los siguientes: documentos académicos (artículos científicos, libros académicos, capítulos de libros, conferencias documentadas a través de memorias y tesis); documentos académicos

encontrados en las siguientes bases de datos: Google Académico, Scopus, Scielo, Web of Science, Springer, entre otros catálogos en línea; indistintamente del idioma (principalmente español e inglés); en una ventana temporal enfocada en los últimos 30 años (1992 -2022), no obstante, documentos o fuentes son reseñadas por su preponderancia.

Por otra parte, los criterios de exclusión implementados fueron: documentos que no sean de carácter académico; documentos en idiomas complejos de traducir; documentos que no se encuentren en óptimas condiciones de digitalización; documentos que no referencien de manera amplia las categorías y subcategorías temáticas.

Finalmente, todos aquellos documentos seleccionados fueron clasificados de acuerdo con su categoría y subcategoría, siendo fichados y salvaguardados en formato PDF en carpetas virtuales.

Segunda fase (lectura analítica y reflexiva): a partir de una primera lectura de los documentos previamente seleccionados y clasificados, se diligenció la matriz de análisis y reflexión (Anexo A), la cual suministra la siguiente información: autoría, país, año de publicación, título del documento, bibliografía, título del recurso que contiene el documento, resumen y reflexiones del investigador.

De este modo, no solo se sustraen los datos informacionales básicos, sino que, además, se hace un tratamiento analítico de la información y se proponen algunas reflexiones generales que proporcionan dichos recursos.

Tercera fase (análisis e interpretación): a partir del análisis e interpretación de los documentos se establecieron puntos de encuentro, recurrencias, tendencias y diferencias en relación con la categoría de estudio. Como resultado, se establecieron categorías emergentes, se amplió y precisó el objeto de estudio, y se formularon conclusiones y nuevas preguntas que proyectan líneas de indagación futura.

1.1.2 El Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) para la Formación de Profesores

Para autores como: Grossman et al. (1989), Garritz et al. (2015), Labao et al. (2017), Verdugo-Perona et al. (2017a), el conocimiento didáctico de los contenidos CDC se está convirtiendo en una herramienta fundamental para la formación docente, por lo que mencionan la importancia de comprender cómo el modelo CDC puede ayudar a mejorar la

práctica docente, ya que su investigación permite identificar formas de enseñanza y creación docente. Recursos que acercan a los alumnos a conocimientos específicos facilitando una secuencia o espacio de aprendizaje.

Al respecto, Labao et al. (2017) analizaron el CDC, tratando de comprender cómo este se manifestaba en la enseñanza, en su estudio observaron las dinámicas de tres profesores, quienes se refieren al CDC como una herramienta mediante la cual los profesores transforman el saber global en formas didácticamente eficaces para su enseñanza, todo ello, mediante la implementación de formas y recursos pedagógicos que permitan presentar el contenido mediante una red de interrelaciones.

Por su parte, Garritz et al. (2015), presentan una mirada reflexiva sobre las principales características y desarrollos en el estudio del CDC en el contexto internacional e iberoamericano, para ello, plantean la importancia de pensar este como un gran aporte hacia la práctica del profesor, el cual puede ayudar a mejorar la enseñanza de las ciencias naturales. Asimismo, un aspecto importante que refieren es la necesidad de “profundizar en la naturaleza del CDC y su aporte como modelo teórico asociado al conocimiento profesional del profesorado” (p. 145)

Aún más, Verdugo-Perona et al. (2017b) realizaron una construcción del conocimiento profesional de profesores experimentados y principiantes de una universidad pública, a partir de la cual afirman que el CDC se convierte en un indicador del desempeño del profesor, dado que promueve prácticas más eficaces a la hora de enseñar, teniendo en cuenta que debe tener un mínimo de conocimiento. Otro aspecto para tener en cuenta desde el planteamiento de los autores es que aun, cuando se han realizado gran cantidad de investigaciones, no hay un acuerdo sobre las características o el contenido de este tipo de conocimiento.

Para Grossman et al. (1989), a partir de un estudio crítico sobre el conocimiento de la materia en la formación del profesorado, comentan que uno de los primeros desafíos que enfrentan los profesores principiantes se refiere a la transformación de su conocimiento disciplinar en una forma de conocimiento. Es un punto central en la planeación de las estrategias de enseñanza pero que aún hoy no se ha brindado el papel trascendental que tiene en la práctica del profesor. En ese sentido, los profesores transforman su conocimiento de la

materia en representaciones didácticas que permitan acercar a los estudiantes hacia el conocimiento.

En relación con el CDC en profesores en formación, Salazar (2005) refiere que estos han construido representaciones propias sobre los procesos pedagógicos no solo desde la formación como profesional sino también, desde sus experiencias como estudiantes, haciendo énfasis en la importancia de la responsabilidad del profesor en los procesos iniciales de formación. Esto implica el cambio de las acciones educativas, con el fin de que sea posible reflexionar y comprender la relación que existe entre el contenido y el contexto, lo que le permita transformarse en un investigador crítico de su práctica.

En este sentido, Bernal et al. (2019) consideran que el profesorado ejerce una profesión de aprendizaje permanente, asimismo, expresan que, aunque el CDC tiene un debate amplio relacionado con su conceptualización, muchas investigaciones sugieren que es un conocimiento diferenciado del pedagógico y al del contenido dentro del conocimiento profesional. Por ello, es indispensable fundamentar el quehacer pedagógico en una reflexión constante entre lo técnico, práctico y crítico, por lo tanto, una buena reflexión que ayude a mejorar la práctica del profesor no tiene sentido si no se lleva al aula, es decir, depende necesariamente del hecho práctico.

De igual modo, Castro (2014) afirma que la profesión del profesor requiere de la construcción de una identidad profesional, la cual deberá estar sustentada desde la epistemología propia de su quehacer. En ese sentido, el conocimiento disciplinar, el conocimiento de su didáctica y el conocimiento del contexto permiten determinar las creencias, intereses y concepciones de los estudiantes como principales receptores del conocimiento. Se plantea también, la necesidad de profundizar sobre el pensamiento del profesor, dado que este puede ser una eficaz herramienta para mejorar la enseñanza.

No obstante, Gómez (2007) radica su investigación en la importancia de la formación de los profesores de ciencias naturales desde el estudio del CDC, para lo cual se deben tener en cuenta las influencias de las concepciones que tiene cada profesor y como estas impactan en el desarrollo de las prácticas educativas.

En ese sentido, Barros (2016) presenta una reflexión sobre cómo debe ser la formación del profesorado de ciencias, allí se describe cómo es la formación de los profesores de educación primaria en las universidades españolas. Se enfatiza como principal resultado que en desarrollo de la práctica de los profesores en formación se limita a recordar contenidos científicos y esperan que se relacionen fácilmente con las capacidades didácticas lo cual hace que “se lleve consigo la desprofesionalización y el afianzamiento de los modelos sumativos o consecutivos, en los que la docencia es cuestión de saber las disciplinas y de disponer de ciertas características comunicativas que se afianzan con la práctica” (p. 42).

En esta misma línea, Vergara y Cofré (2014) argumentan que:

...las universidades deberían revisar sus planes de estudio para evaluar la posibilidad de incorporar mayores instancias de desarrollo del conocimiento didáctico del contenido de los profesores en formación, específicamente incorporando más cursos de didácticas específicas y extendiendo y profundizando las experiencias de prácticas finales. (p. 333).

Lo anterior, evidencia la conveniencia de redireccionar la formación de profesores, esto a partir de los procesos de transformación y cambio de las líneas de enseñanza -antiguas en su mayoría- por maneras adecuadas, contextualizadas, pertinentes y modernas, coherentes con los nuevos tiempos -y todo lo que ello implica-. En estos estará la plena confianza de formar aprendices capaces de razonar y resolver los distintos conflictos que se presenten en la cotidianidad, reafirmando que la educación es el camino para salir de la ignorancia en búsqueda de una mejor calidad de vida.

En términos generales, los profesores son “buenos” dentro de los parámetros de una sociedad en la que los procesos de producción y transmisión del conocimiento son muchas veces lineales y se ejecutan en un espacio concreto, pero se debe comprender que, este momento -histórico- está continuamente cambiando, por ello, esto se convierte en una gran dificultad, cuestión por la que, si se desea ver cambios educativos será fundamental la promoción de la participación activa y consecución del conocimiento para la adaptación a las realidades y comprensión del mundo (Guisasola et al., 2013).

1.1.3 Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) en Ciencias Naturales

Inicialmente, es conveniente referirse a Parga y Mora (2008), Solbes et al. (2013), Blanco et al. (1995), Labao et al. (2017) y Garritz et al. (2015) los cuales son los más representativos antecedentes en el tema, y quienes, además, coinciden al considerar que el planteamiento de un contenido no es una acción sencilla o simple. Por el contrario, requiere de un tratamiento didáctico concentrado en los procesos de enseñanza, aprendizaje y evaluación, con lo que se pueda generar ambientes de comprensión e interpretación de todos aquellos fenómenos que hacen parte de las ciencias naturales.

Es así como, Blanco et al. (1995), plantean que los profesores en formación al enseñar este tipo de áreas deben tener en cuenta los siguientes aspectos: “un profundo conocimiento de la materia: hechos, conceptos, leyes, teorías, aplicaciones; el conocimiento procedimental: métodos, procedimientos; conocimientos sobre historia y filosofía de la ciencia; y relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad, que incluya aplicaciones a la vida diaria” (p.430). Esto da entender que los profesores deben presentar diferentes perspectivas de cómo y para qué las enseñanzas de dichas ciencias son fundamentales en el desarrollo del conocimiento de cada estudiante, dentro de las aulas de aprendizaje proyectando cambios que se van encontrando durante el desarrollo de diferentes investigaciones e involucrando la transformación y adaptación de nuevos conceptos y teorías.

En este sentido, Garritz et al. (2015) plantean que, para llegar a esta forma de razonamiento de las ciencias, es necesario comprender e interpretar el CDC. De esta manera, los profesores en formación acceden al desarrollo y ejercicio de su profesión, “la documentación del CDC puede ser útil en el proceso de formación de profesores ya que, a pesar de la insistencia de que el CDC se adquiere mayoritariamente como una expresión de la propia docencia” (p. 173).

Ahora bien, Solbes et al. (2013), trabajaron a partir de la información entregada de manera voluntaria por 43 profesores de Física y Química que habían participado como tutores en el Practicum del Master de Profesor/a de Educación Secundaria. Utilizaron tres herramientas para obtener los datos necesarios para analizar: un cuestionario, una entrevista personal y la observación directa de su actividad en el aula. A través de estas, lograron identificar que los profesores con mayor formación y experiencia en investigación e

innovación en didáctica de las ciencias son susceptibles a generar cambios, adecuaciones y transformaciones a sus prácticas en el aula según el modelo socio-constructivista de enseñanza aprendizaje de las ciencias.

Adicional a lo anterior, Parga y Mora (2008) plantean una síntesis para profundizar e identificar el CDC en química, y a través de esta, llegar a plantear unidades didácticas de enseñanza-aprendizaje. Es así como, concluyeron que el CDC permite el entendimiento de la didáctica de las disciplinas como campo disciplinar circunscrito a la enseñanza de contenidos, asimismo, posibilita la indagación en acciones como la transformación, transposición e integración.

Finalmente, y en coherencia con lo expresado anteriormente, Verdugo-Perona et al. (2017b), propusieron la necesidad de identificar y determinar las dificultades específicas asociadas a la enseñanza de cada contenido. Estos autores trabajaron en el área de biología con argumentos desde contenidos científicos en general, y el modelo de evolución por selección natural en particular. Presentan aspectos conceptuales y epistemológicos problemáticos que son necesario en la enseñanza, además, se identifica que la teleología es importante en las Ciencias Naturales, de esta manera, se llega a definir que el CDC constituye un aspecto primordial del conocimiento del profesor como profesional.

1.1.4 Formación de Profesores: Enseñanza Aprendizaje de la Física Cuántica

Cuando se habla sobre los procesos tanto de enseñanza como de aprendizaje de la estructura atómica, se hace indispensable el abordaje desde la física cuántica, por cuanto, que la comprensión del citado contenido se sirve de los fundamentos que establece la física cuántica. Además, esta posibilita la construcción epistemológica e histórica del saber, con lo cual mitiga posibles vacíos, errores, imprecisiones y similares, ya que se requiere para la comprensión de cuestiones como la estructura electrónica de los átomos, el ordenamiento periódico y los enlaces de las moléculas. Además, ésta explica no solo la evolución de los fenómenos microscópicos, sino que además los avances en otras disciplinas (Solbes et al., 1987).

La física cuántica es una de las teorías más importantes de la física, por lo tanto, de acuerdo con Pospiech y Schöne (2011), un enfoque didáctico de esta debe cumplir tres

condiciones: captar rápidamente la esencia de la física cuántica sin distraerse de las matemáticas, centrarse en los aspectos filosóficos, y preparar el camino para futuros desarrollos.

Así, en las últimas décadas se ha producido un importante avance en la comprensión de las características fundamentales de la teoría cuántica, en contraste con la física clásica, en particular, los experimentos sobre la indeterminación, el entrelazamiento y la información cuántica han permitido una comprensión más profunda y han aparecido en la literatura científica popular (Kalkanis et al., 2003). Precisamente, estos avances han tenido su reconocimiento con el Premio Nobel de Física de 2022 a Alain Aspect, John Clauser y Anton Zeilinger, por sus trabajos pioneros en la comunicación cuántica, realizados hace 30 o 40 años, pero sólo premiados actualmente por el auge de la computación cuántica

Por otra parte, los programas escolares están fuertemente influenciados por el desarrollo histórico de los modelos atómicos, la representación de los electrones mediante las llamadas funciones de onda y la interpretación de las relaciones de indeterminación como incertidumbres de la posición y el momento (Lombardi y Martínez, 2012; Gómez, 2010; Solbes et al. 2010; Tuzón y Solbes, 2014).

Pues bien, la formación del profesorado es una relación triangular entre los conocimientos profesionales que se espera que adquieran los profesores en la universidad, su experiencia en la enseñanza de la física en las escuelas y los requisitos del plan de estudios, el programa de estudios y las autoridades escolares (Etkina, 2010); para diseñar las clases, los profesores tienen que combinar los conocimientos sobre el contenido, los conocimientos pedagógicos y los conocimientos sobre el contenido pedagógico (Pospiech y Schöne, 2011).

Ahora bien, la física cuántica parece ser un campo único en la enseñanza de la física, en parte por su formalismo abstracto, sus diferencias con la física clásica, su falta casi total de experimentos factibles en la enseñanza escolar y su larga tradición de interpretaciones ambiguas. Además, aunque la física cuántica es un campo de investigación brillante con muchos experimentos fundamentales, existe una divergencia extrema entre los conceptos revelados por la investigación reciente y el enfoque escolar tradicional (Etkina 2010; Pospiech y Schöne, 2011; Kalkanis et al., 2003).

En relación con lo anterior, es común que muchas clases escolares —especialmente a nivel universitario— inicien el abordaje de la física moderna con el efecto fotoeléctrico, introduciendo la luz como partícula, y continúen secuencialmente con los espectros atómicos, la dualidad del electrón y las relaciones de indeterminación (frecuentemente denominadas principio de incertidumbre). Sin embargo, esta secuencia de enseñanza ha sido objeto de discusión en la comunidad científica y educativa, ya que no existe un consenso definitivo respecto a su validez pedagógica

En la física cuántica moderna, conceptos como la superposición y el entrelazamiento cuántico ocupan un lugar central en los desarrollos teóricos actuales. No obstante, diversas investigaciones en didáctica de la física han señalado que estos conceptos tienden a estar poco presentes en las propuestas curriculares y en la enseñanza formal, en comparación con otros contenidos más tradicionales como el efecto fotoeléctrico o los espectros atómicos; en relación con esto, Michelini et al. (2000) y Pospiech (2000), han desarrollado un camino didáctico mediante la polarización de los fotones que interactúan con cristales polarizados y birrefringentes, para introducir el principio de superposición y las relaciones de indeterminación; sin embargo, el anterior enfoque no es típico de los cursos universitarios de física cuántica.

Así como en cualquier itinerario de aprendizaje se pueden observar dificultades de aprendizaje de los alumnos, diversos estudios con estudiantes de secundaria y universitarios han analizado los conceptos de la mecánica cuántica y han corroborado esto (Akarsu, 2011). Aún más, la dificultad para que los estudiantes comprendan la física cuántica y adquieran los conceptos adecuados depende no sólo de la materia, como los modelos atómicos, las relaciones de indeterminación y las funciones de onda, sino también, del aprendizaje adecuado de la física clásica (Baily y Finkelstein, 2009),

Así, Baily y Finkelstein (2009) se han centrado en los cambios de perspectiva de los alumnos en respuesta a los puntos de vista del profesor y a sus creencias personales sobre el "mundo real". Por otro lado, un estudio muestra la importancia de aceptar la complejidad de la enseñanza de la Física cuántica, porque en el intento de que la Física parezca fácil, corren el riesgo de distorsionar el contenido y el proceso de aprendizaje de ésta (Levrini et al., 2008). En consecuencia, y de acuerdo con Levrini y Fantini (2013) un proceso de

enseñanza/aprendizaje es significativo si combina, de manera productiva, tres sistemas complejos: el mundo real, el sistema de conocimiento disciplinario de la física y el sistema cognitivo de los aprendices.

De nuevo con Baily y Finkelstein (2009), estos sugieren que los fenómenos de la mecánica cuántica con las perspectivas de los estudiantes pueden cambiar significativamente con la instrucción, como la enseñanza explícita de la perspectiva cuántica, pero pueden permanecer mezcladas entre las interpretaciones clásicas y cuánticas.

Además, otros estudios realizados tienen en cuenta a los profesores en formación, como la investigación sobre el concepto de modelo atómico realizada por Kalkanis et al. (2003). También se encuentra el estudio de Asikainen y Hirvonen (2014), en el que se describe el uso del experimento mental de la doble rendija como una herramienta diagnóstica para evaluar la comprensión tanto de futuros profesores como de docentes con experiencia. Los resultados de este estudio sugieren que tanto los experimentos mentales como el experimento de la doble rendija deberían tener un papel más relevante en la formación del profesorado de Física.

Asimismo, Fernández et al. (2021) en su estudio mencionan la importancia de incluir conceptos cuánticos en la formación de profesores, porque este ofrece una imagen más correcta de cómo se desarrolla las ciencias, de la interpretación adecuada de la estructura atómica, los fenómenos microscópicos y de la importancia de las aplicaciones de la física cuántica en la sociedad.

También pueden reconocerse algunas dificultades para la inclusión de la Física cuántica en los procesos de enseñanza y aprendizaje, dado que los fenómenos cuánticos, los conceptos y los modelos están alejados de la percepción cotidiana, lo que dificulta su comprensión (Fernández et al., 2021).

En ese sentido, Pereira y Solbes, (2022) examinan la dinámica de la perspectiva o punto de vista en la física cuántica, una noción más general que concepción o interpretación, en el contexto de la formación del profesor, centrándose en la dualidad onda-partícula, la superposición de estados y el cálculo de probabilidades para sistemas de dos estados. En la

revisión teórica se resalta que los estudios revisados mencionan que los estudiantes suelen interpretar las ideas cuánticas en términos clásicos.

De este modo, las preocupaciones de los profesores en formación suelen estar relacionadas con su comprensión conceptual y su interpretación de la física cuántica. Estos a menudo calculan sin conceptos mentales (Gardner, 2002), no se comprenden las relaciones indeterminaciones y los procesos de medición, y los puntos de vista clásicos como las trayectorias y las propiedades fijas permanecen inalterados (Müller y Wiesner, 1998).

En relación con lo anterior, Mannila et al. (2001) identificaron diferencias entre profesores en ejercicio y estudiantes universitarios avanzados en formación como físicos, señalando que estos últimos tendían a adoptar una visión más alineada con los fundamentos de la Física cuántica. Por su parte, Pospiech y Schöne (2011) indican que muchos docentes presentan una comprensión limitada de la mecánica cuántica y tienden a correlacionar sus conceptos con ideas propias de la Física clásica de manera indiferenciada.

Asimismo, investigaciones recientes han demostrado que, independientemente de los métodos de enseñanza utilizados, ciertos conceptos relacionados con la Física cuántica tienden a mantenerse resistentes al cambio en la comprensión de los estudiantes (Deslauriers y Wieman, 2011), lo cual representa un obstáculo significativo en la formación del profesorado en ciencias y en la enseñanza de estos contenidos en las escuelas. Esto sugiere que la triangulación de las experiencias pedagógicas previas de los estudiantes resulta un factor relevante en su proceso formativo.

En relación con lo expresado anteriormente, y de acuerdo con lo señalado por Baumert et al. (2010), la calidad de las explicaciones de un profesor está estrechamente vinculada con la solidez de sus conocimientos sobre el contenido que enseña. Esta relación influye en su capacidad para interpretar las dificultades de los estudiantes y responder con estrategias pedagógicas pertinentes. En esta misma línea, Darling (2000) destaca que las características del profesorado —incluyendo su dominio disciplinar y didáctico— constituyen un factor decisivo en los logros de aprendizaje de los estudiantes.

Aunado a esto, Demtröder et al. (2006) argumentan que, en algunos contextos educativos, la enseñanza de la Física debería concebirse como una profesión diferenciada,

con una formación específica e independiente de la trayectoria académica de los futuros físicos. Esta perspectiva resalta la necesidad de una preparación pedagógica especializada para quienes se desempeñarán como docentes, lo cual no siempre forma parte de los programas de formación en Física, como sucede en países como Argentina, donde la enseñanza no está incluida en la formación de los físicos.

Para enseñar con éxito la Física cuántica en las escuelas, además de la enseñanza teórica, es esencial el conocimiento de la enseñanza metodológica, la discusión de cuestiones históricas y filosóficas, y el CDC, incluida la interpretación de los conceptos de la física cuántica y sus principales aplicaciones contemporáneas.

Igualmente, un enfoque de la formación del profesorado (Kalkanis et al., 2003) identifica cinco elementos interactivos de un modelo de aprendizaje: la exploración de los conocimientos previos de los alumnos; el análisis del contenido desde una perspectiva didáctica; la identificación de las necesidades de los alumnos; la facilitación de la reconstrucción del conocimiento; y las actividades metacognitivas.

Por ello, Deslaurier y Wieman (2011), así como también Baumert et al. (2010) han demostrado que los profesores necesitan participar en extensas discusiones cualitativas, además de aprender los aspectos formales de la teoría cuántica. Sin embargo, en muchos cursos, la enseñanza de la Física cuántica se centra en el formalismo matemático, lo que limita la posibilidad de que los profesores en formación reconozcan su potencial pedagógico y formativo.

En este contexto, resulta pertinente considerar el caso de la formación del profesorado en ciencias en Alemania, donde los futuros docentes se preparan en dos asignaturas —por ejemplo, Física y Matemáticas— con igual intensidad y relevancia (Pospiech y Schöne, 2011). Este modelo formativo ofrece un ejemplo de integración equilibrada entre contenidos disciplinares, lo cual puede contribuir a fortalecer tanto la comprensión conceptual como la competencia didáctica en la enseñanza de la Física cuántica.

Además, como parte de la formación, se imparten conferencias y seminarios sobre didáctica general y conocimiento del contenido didáctico. Del mismo modo, el estudio de la física incluye la física experimental y teórica y el trabajo de laboratorio, el curso de física

cubre todas las áreas principales de la Física, por lo general, sólo unas pocas conferencias están especialmente preparadas para los estudiantes de didáctica y se dirigen principalmente a los estudiantes que han optado por especializarse en física.

Además de las dimensiones conceptuales y didácticas involucradas en la formación del profesorado en Física cuántica, resulta relevante considerar también los factores afectivos que inciden en dicho proceso. En esta línea, Didiş (2015) señala que una gran proporción de las investigaciones sobre formación docente en ciencias se ha centrado tradicionalmente en el ámbito cognitivo. Sin embargo, los estudios que abordan el componente afectivo — particularmente en relación con la motivación de logro— han comenzado a emerger en años recientes (Didiş y Özcan, 2007; Didiş y Redish, 2010), destacando su potencial influencia en el aprendizaje y la enseñanza de contenidos complejos como los de la Física cuántica.

En este mismo contexto, la investigación pedagógica en torno a la teoría cuántica ha abordado tanto la comprensión conceptual de los estudiantes de nivel secundario superior como de aquellos en formación universitaria, así como el desarrollo de nuevas metodologías didácticas para la enseñanza de la mecánica cuántica. Diversos estudios han contribuido significativamente a este campo (Asikainen y Hirvonen, 2014; Budde et al., 2002a, 2002b; Didiş, 2015; Fernández et al., 2021; Gardner, 2002; Ireson, 2000; Kalkanis et al., 2003; Mannila et al., 2001; Michelini et al., 2000; Müller y Wiesner, 1998, 1999; Olsen, 2002; Pereira y Solbes, 2022; Sadaghiani, 2005; Strnad, 1981; Styer, 1996; Wattanakasiwich, 2005).

A este cuerpo de trabajos se suman también las investigaciones desarrolladas por Fanaro y sus colaboradores, las cuales han realizado importantes aportes al análisis didáctico de la enseñanza de la Física cuántica en la escuela media. Entre ellas se destacan estudios centrados en el uso del método de caminos múltiples de Feynman como estrategia introductoria (Fanaro et al., 2009), en la dimensión afectiva de los estudiantes frente al aprendizaje de la mecánica cuántica (Fanaro y Otero, 2011), así como en el abordaje global del proceso formativo desde una perspectiva crítica e interdisciplinaria (Fanaro, 2009).

Ahora bien, una de las razones de los conceptos erróneos o ideas alternativas de los estudiantes es la dificultad de los conceptos abstractos en la física cuántica (Sadaghiani, 2005; Styer, 1996). Es difícil entender los conceptos abstractos leyendo sus definiciones, por lo que los conceptos erróneos o ideas alternativas son inevitables en la comprensión de la física cuántica. Los conceptos erróneos o ideas alternativas en mecánica cuántica no se consideran preconceptos porque los estudiantes casi no tienen oportunidad de adquirir experiencia sobre la teoría cuántica en su vida cotidiana (Solbes et al., 1992)

Por esta razón, se identificaron como conceptos erróneos o ideas alternativas las explicaciones no científicas, coherentes y sólidas de los conceptos que pueden obtenerse de los libros de texto, los profesores o el lenguaje de las clases. Al respecto, Styer (1996) enumeró algunos conceptos erróneos o ideas alternativas en mecánica cuántica basándose en su observación de estudiantes, colegas, etc. Hizo hincapié en las dificultades conceptuales y sugirió que se tuvieran en cuenta estos conceptos erróneos o ideas alternativas para combatirlos.

Aún más, después de identificar los conceptos erróneos o ideas alternativas generales de los estudiantes, Müller y Wiesner (1998 y 1999) investigaron las conceptualizaciones de los profesores alemanes de física en formación sobre los sistemas atómicos, y explicaron que la mayoría de los estudiantes cuya especialidad no era la física nunca tuvieron la oportunidad de aprender conceptualmente los conceptos de la mecánica cuántica.

El estudio de Müller y Wiesner (1999) puede aceptarse como el primer estudio sobre profesores de física en formación, por lo que es valioso tanto por su diseño como por sus resultados. Por otra parte, el estudio de Ireson (2000) con estudiantes preuniversitarios en Inglaterra, demostró que los estudiantes no podían interpretar la teoría cuántica, al confundir algunas ideas básicas de la teoría entre sí y atribuirles propiedades mecanicistas contradictorias.

Por otro lado, Didiş y Redish (2010) examinaron la comprensión de algunos conceptos cuánticos —como operadores, observables, valores propios y otros conceptos interrelacionados— por parte de estudiantes en formación docente en Física; los investigadores identificaron lo siguiente: Los estudiantes tenían concepciones insuficientes que influyen en sus descripciones y discriminaciones, la comprensión de los estudiantes

contiene ideas correctas y erróneas simultáneamente, su comprensión indefinida influye en el uso de diferentes conceptos indistintamente, hacen explicaciones y discriminaciones a través del razonamiento intuitivo, y algunas de las concepciones de los estudiantes eran totalmente acientíficas.

Ahora bien, los estudios pedagógicos de la teoría cuántica se han centrado en la comprensión por parte de los estudiantes de las representaciones visuales y los problemas que plantean; la afirmación de Eddington (1928, p. 27, citado en Mashhadi y Woolnough, 1999, p. 511) de que "el electrón me hace pensar en una bolita roja y dura en mi cabeza" constituye un ejemplo ilustrativo de cómo, ante la dificultad de representar mentalmente los sistemas cuánticos —que no poseen una visualización directa o intuitiva—, los individuos recurren a imágenes o analogías clásicas, generando representaciones visuales que pueden ser conceptualmente inapropiadas. Los investigadores encuestaron a estudiantes de secundaria de Inglaterra y Gales acerca de sus percepciones sobre electrones y fotones, y encontraron que la mayoría de ellos tendía a representar estos conceptos abstractos mediante imágenes visuales de carácter no científico.

Igualmente, en el estudio de Gil y Solbes, (1993) se menciona que la física moderna generalmente se introduce en los planes de estudio de la escuela secundaria sin referencia a las dificultades de la física clásica, simplemente, yuxtaponiendo los dos paradigmas o incluso mezclándolos, evidenciando que la enseñanza de las ciencias está dando a los alumnos y estudiantes una imagen incorrecta y simplista de ciencia; lo anterior, está marcado por el empirismo, pero con una ausencia de sus aspectos más relevantes -como la formulación de hipótesis o el diseño experimental-.

En este sentido, en un estudio realizado por Mannila et al. (2001) con estudiantes universitarios de física, se reconoció que la principal dificultad para los estudiantes era construir una nueva ontología para el cambio conceptual, lo que está en la misma línea de lo propuesto por Sinarcas y Solbes (2013) con estudiantes de bachillerato, donde mencionan que las principales dificultades que tiene los estudiantes en el aprendizaje de la física cuántica es ontológica, esto se debe a su incapacidad de comprender que los electrones y fotones no son ondas ni partículas, sino objetos nuevos con comportamientos nuevos, además, mencionan que hay dificultades epistemológicas relacionadas con lo que se puede o no

conocer y, por lo tanto, con las relaciones de indeterminación de Heisenberg y con la interpretación probabilista.

Por otro lado, Bao (1999) explica que los estudiantes pueden interpretar las situaciones de la mecánica cuántica si hay rastros de la mecánica clásica, de lo contrario, no pueden hacer ninguna interpretación física, con lo que la mecánica cuántica se convierte simplemente en un conjunto de ecuaciones matemáticas.

De otro modo, Olsen (2002) señala que algunos estudiantes presentan conceptos erróneos o ideas alternativas al abordar fenómenos cuánticos, los cuales derivan de modelos mentales propios de la Física clásica adquiridos durante su formación previa.

Finalmente, Pospiech (2000) sostiene que las causas de las dificultades para entender la mecánica cuántica comienzan con la mecánica clásica, en un estudio similar, Budde et al. (2002a y 2002b) añaden que las razones de las dificultades en el aprendizaje de los modelos atómicos se deben a la diferencia de puntos de vista entre la física cuántica y la física clásica; Müller y Wiesner (1998 y 1999) explican que los estudiantes confunden los conceptos clásicos y cuánticos debido a la naturaleza contrastada de la formación tradicional y la mecánica cuántica, por lo que no es sorprendente que se produzcan conceptos erróneos o ideas alternativas.

1.1.4.1 Teoría Cuántica y Enseñanza de la Estructura Atómica. Para abordar lo relacionado con la enseñanza de la estructura atómica es necesario reconocer que esta hace parte relevante de la teoría cuántica, hecho fundamental que ubica el tema en cuestión en dos posibilidades, la primera, tiene que ver con las situaciones, tensiones y problemas que conlleva la enseñanza en definitiva de la teoría cuántica, por otro lado, la segunda, es la especificidad que sugiere la enseñanza de la estructura atómica como parte o componente de la teoría en mención. Así, y como lo sugieren Muñoz-Burbano et al. (2020) y Narváez (2022), a pesar de la diversidad de escenarios educativos en donde se enseña la física cuántica y la estructura atómica de la materia, son similares las dificultades encontradas, principalmente, aquellas relacionadas con la presencia de preconcepciones que impiden la comprensión y evolución no solo de conceptos sino de prácticas de estos.

En este sentido, son varios los estudios que identifican la necesidad, así como también la relevancia de enseñar la teoría cuántica en niveles como la secundaria, algunos de ellos los reseña Muñoz-Burbano (2020), quien identifica que estos estudios desarrollaron hace años unas bases tanto epistemológicas como didácticas para el abordaje de la enseñanza de la teoría cuántica y los temas que le componen.

Ahora bien, se encuentra los aportes realizados inicialmente en Norteamérica por Haber-Schaim (1975), quien relata las tensiones y dinámicas propias de la enseñanza de la física cuántica en el bachillerato, posteriormente, están las contribuciones de Strnad (1981) con la enseñanza de la energía y de Lijnse (1981) con el programa holandés de introducción de la mecánica cuántica en las escuelas secundarias, en Italia, Fabri (1981) quien aborda la enseñanza de la física en la escuela, concretamente, el tema relacionado con la masa relativista; y en Hungría Marx (1988) estudia el potencial de la enseñanza de la mecánica cuántica en la escuela.

De igual manera, en España, Gil et al. (1986) realizan un análisis crítico a la introducción de la física moderna en la enseñanza media; asimismo, Solbes et al. (1987) diseñaron un currículo para la introducción de la enseñanza del modelo atómico cuántico, Gil y Solbes (1993) establecen una propuesta para la enseñanza de la física moderna en la enseñanza secundaria; también, Solbes y Sinarcas, (2009) Utilizan la historia de la ciencia en la enseñanza de los conceptos claves de la física cuántica.

Por otra parte, en Japón, Konuma (1988) y su propuesta de abordaje de la enseñanza de la física moderna desde una perspectiva tópica o sistémica; a comienzos de la década de 1990 en Alemania, Fischler y Lichtfedtl (1992) estudian las concepciones que poseen los estudiantes al momento de aprender sobre física moderna. Finalmente, en este panorama internacional, Olsen (2002) elabora un estudio dedicado en Noruega sobre la introducción de la mecánica cuántica en la escuela secundaria.

Ahora bien, Klapp (1988) en México exploró las diferentes problemáticas que se generaban con la enseñanza de la física moderna en un contexto como el latinoamericano. Así mismo, Fanaro y Otero (2011) analizan todas aquellas situaciones que convergen al momento de enseñar la mecánica cuántica en un contexto académico como el de la escuela media, y ubican su objeto de interés sobre los asuntos didácticos que están relacionados con

ello. Oliveira et al. (2007) en Brasil, analizan las prácticas de los profesores encargados de las áreas de ciencias, en especial lo que piensan, dicen y hacen con relación a los procesos de enseñanza de la física moderna.

Con relación a la evolución de las representaciones de los profesores argentinos en la Física cuántica están los aportes de Fernández et al. (2021). Pena (2006), argumenta sobre la importancia de introducir en la secundaria en Brasil tanto temas como ideas propias de la física moderna y contemporánea. De similar manera, se encuentran las experiencias de Tuzón y Solbes (2014), donde analizan la enseñanza de la estructura e interacciones de la materia según la física moderna en primero de bachillerato; y de Martínez-Torregrosa et al. (2016), relacionadas con la enseñanza problematizada de la Física cuántica en el nivel secundario.

Así pues, en lo relativo al tema de la estructura atómica de la materia, son destacables los aportes de Chamizo (2010), donde explora desde una perspectiva que él denomina “cultura química” la enseñanza de la materia, y posteriormente, cinco años después propone una tipificación de los modelos de enseñanza de las ciencias; por otra parte, los aportes de Lombardi y Martínez (2012) referidos a la mecánica cuántica y las estructuras químicas. Ahora bien, como se señaló en párrafos anteriores, tanto la enseñanza como el aprendizaje de la estructura atómica de la materia se valen y fundamentan primariamente en los principios y componentes de la teoría cuántica (Solbes et al., 1987; Sinarcas y Solbes, 2013).

1.1.4.2 Teoría Cuántica y Enseñanza de la Estructura Atómica en Colombia. En relación con lo anterior, la tesis doctoral de Muñoz-Burbano (2020) enmarcada en el contexto colombiano, indaga sobre la enseñanza de la estructura atómica de la materia en la educación secundaria con base en la teoría cuántica, en este se caracterizó la enseñanza del tema en cuestión y su relación con la teoría cuántica, para lo cual se analizaron los lineamientos curriculares, estándares básicos de competencia y derechos básicos de aprendizaje (DBA) establecidos por el Ministerio de Educación Nacional de la República de Colombia para el campo de las Ciencias Naturales.

En ese sentido, Muñoz-Burbano et al. (2020) en su estudio también presentan los resultados sobre cómo se introducen en los libros de texto de educación secundaria en Colombia conceptos cuánticos en la unidad de estructura atómica -conceptos como como: crisis de la física clásica, dualidad onda-partícula, modelos atómicos clásico, semicuántico y

cuántico, relaciones de indeterminación y números cuánticos-, para ello se seleccionaron editoriales de mayor uso en Colombia, además de aquellos textos referenciados por los más de 70 profesores entrevistados.

De acuerdo con Muñoz-Burbano et al. (2020), los conceptos básicos de la teoría cuántica en la educación secundaria se abordan de forma incipiente porque es una línea que recién se empieza a ahondar en Colombia, dada su importancia en la configuración de una imagen más correcta de las ciencias, además de lograr una interpretación adecuada en la enseñanza de la estructura atómica de la materia, la aplicación de la cuántica en el entorno de los estudiantes es cada vez de mayor prevalencia, por esto se hace un llamado para lograr reducir las brechas que existen en las aulas de clases de los estudiantes colombianos sobre la educación científica que reciben y el desarrollo técnico científico del momento.

Por otro lado, en Colombia Cuesta y Mosquera (2016) presentan algunas reflexiones sobre las implicaciones educativas de la naturaleza de las ciencias y la enseñanza de la Mecánica Cuántica, lo cual, permite un aporte a la formación del pensamiento científico por su reflexión multidisciplinar: historia de las ciencias, epistemología de las ciencias, filosofía de las ciencias, sociología de las ciencias, psicología de las ciencias, entre otras, que validan la construcción y el desarrollo del conocimiento; asimismo, se menciona que ha contribuido en dar paso a nuevas disciplinas como la didáctica de las ciencias, que realizan un análisis y construcción de nuevas tendencias prácticas, con el fin de lograr el aprendizaje de los estudiantes y el desarrollo de ideas alternativas sobre la ciencia.

De igual manera en el contexto colombiano, Villaveces (2001) menciona que la estructura del átomo, estructura de las moléculas y enlaces químicos, son conceptos de la química contemporánea que se enseñan mal en el bachillerato, porque se los aborda en su mayoría como una mezcla fatal de nociones mal construidas, fabulas sin sentido y de reminiscencias de la era mecanicista. Se identifica que el principal obstáculo proviene de un miedo a la teoría cuántica por parte de los profesores, esto puede ser por la natural heterogeneidad de las facultades de educación y de los libros de texto, asimismo, vienen del trabajo de grupos de profesores que han asumido el problema y han ido generando diversas maneras de entenderlo y desarrollarlo, con variados resultados y disímiles conclusiones.

En ese sentido, se reconoce el papel de las facultades de educación en la enseñanza adecuada de la teoría atómica y molecular contemporáneas para que los licenciados entiendan que los modelos corrientes de átomos y moléculas son objetos matemáticos y adquieran un buen uso operacional de ellos, además, permita el desarrollo de investigaciones sobre la manera de enseñar estos temas en bachillerato con el fin de que Colombia realice aporte significativos en los avances científicos del siglo XXI (Villaveces, 2001).

Así, para Cuesta (2018) en su estudio tendencias en la enseñanza de la física cuántica entre 1986 y 2016, se destacan las dificultades en la enseñanza de la física cuántica debido al formalismo matemático que en muchas ocasiones no genera procesos de reflexión de lo abstracto, convirtiendo así, su enseñanza en prácticas operativas sin análisis. Se reconoce la necesidad de transformar los currículos de la física del bachillerato donde se integre la física moderna para construir nociones de física después de 1900, esto con el fin de, aportar en la construcción de nociones de ciencias.

Pues bien, dentro de la revisión se menciona que el tema más frecuente de las propuestas es el modelo atómico, con el fin de asociar ideas del átomo cuántico, Cuesta (2018) menciona que esto se debe en la inclusión de los currículos tanto de física y química en educación secundaria, la prevalencia en la explicación de los modelos clásicos del átomo, pero no cuánticos y también la necesidad de reforzar las concepciones cuánticas del átomo.

En relación con lo expresado anteriormente, Castrillón (2016) implementa una estrategia didáctica para la enseñanza del modelo mecánico cuántico del átomo, mediante la implementación de la Unidad de Producción de Conocimiento como una herramienta de medición didáctica, en cual se pudo establecer que se convierte en una metodología adecuada en el modelo mecánico-cuántico del átomo.

Por otra parte, dentro de las investigaciones realizadas en Colombia Cuesta (2018); Solbes et al. (2019), Villaveces, (2001), entre otros destacan el papel de los libros de texto al momento de impartir una visión instrumental, extrapolada a los profesores de física, y, por ende, a sus estudiantes, también, que en los libros de texto no se aborda de una manera adecuada la ruptura que existe entre la física clásica y la física moderna lo que genera dificultades conceptuales.

1.2 Problematicación

La enseñanza de las ciencias naturales, así como también, la formación de los profesores en este campo es una de las partes constitutivas de mayor complejidad del conocimiento profesional general, independientemente del nivel de escolaridad donde se ejerce la profesión, lo que implica que, los profesores deben recibir una formación considerablemente sustantiva en el campo de la enseñanza de las ciencias naturales durante su programa profesional (Lamanauskas, 2001).

De este modo, el presente apartado se desarrolla en dos cuestiones: la primera, está referida a la formación de licenciados en ciencias naturales; la segunda, hace referencia a la enseñanza de la estructura atómica tanto en los procesos de formación de los licenciados, como en los escenarios de su práctica o quehacer profesional.

1.2.1 Formación de Licenciados en Ciencias Naturales

La formación de licenciados como tema goza de un interés significativo, lo que ha implicado una variedad de esferas de trabajo e investigaciones que han sido formuladas en distintas vertientes, ejemplo de esto, son las relacionadas con el CDC, el pensamiento del profesor, las concepciones de los profesores, entre otros (Fernández et al., 2021). Claro está, que no hay un terreno claramente allanado en el que se profundice en la formación profesoral, específicamente, en el saber disciplinar (Martínez-Torregrosa et al., 2016).

De este modo, la formación inicial de los maestros de ciencias naturales requiere de fundamentos teóricos sólidos que les permitan promover una enseñanza reflexiva, contextualizada y coherente con los principios epistemológicos y pedagógicos que la sustentan. Ello es especialmente relevante si se considera que muchos de los contenidos abordados durante los procesos de formación docente difieren sustancialmente de los marcos teóricos contemporáneos, y aún más de las prácticas reales que se desarrollan en el aula. En el caso colombiano, la formación de maestros en ciencias naturales evidencia problemáticas de carácter generalista, con escaso énfasis en el conocimiento disciplinar específico orientado a la enseñanza.

Dicho esto, pensar en lo que ocurre y se enseña en la escuela, necesariamente hace regresar la mirada a los procesos de formación del profesorado (Gil y Vilches, 2001); sí la

pretensión es la transformación de la educación, es imperativo pensar en una renovación en los procesos de formación profesoral; en este punto, resulta llamativa la manera en que los propios docentes de ciencias cuestionan la utilidad de ciertos conocimientos adquiridos durante su formación disciplinar, al reconocer que muchos de ellos no lograron una comprensión profunda de esos contenidos y que, a pesar de enseñarlos, consideran que no generan aportes significativos en la formación personal, profesional o social de los estudiantes. Esto pone en evidencia la necesidad de revisar críticamente el qué, cómo y para qué aprende el profesor de ciencias, así como la manera en que enseña y la repercusión de dichos conocimientos en los contextos en los que actúa (Izquierdo, 2000).

Aún más, uno de los dilemas persistentes tanto en la formación de docentes en ciencias naturales como en los escenarios donde ejercen su labor profesional se relaciona con las dificultades para aplicar, adaptar, contextualizar y operacionalizar las teorías del aprendizaje de las ciencias. Estas limitaciones obedecen, en buena medida, a los desafíos que implica la comprensión de la didáctica específica de este campo, lo que conduce, en muchos casos, al uso de estrategias de enseñanza desvinculadas de las realidades, contextos y sujetos del siglo XXI (Blanco et al., 1995; Colorado y Gutiérrez, 2016).

Al respecto, la formación de profesores en ciencias naturales, tiene que ver con la capacidad que adquieren, desarrollan y aplican al momento de explicar los conceptos científicos; en este sentido, Loewenberg et al. (2005) consideran que hay dos aspectos que permiten explorar esta situación: el primero, es que tanto los profesionales en formación como posteriormente sus estudiantes, requieren de la experimentación para tener una mayor probabilidad de comprensión de los conceptos, objetos y fenómenos; el segundo, sostiene que la experiencia no es suficiente para desarrollar el conocimiento y la comprensión científica, por lo que, para que estas se desarrollen, los profesores deben ayudarles a interpretar sus experiencias y observaciones en términos de hechos, conceptos y teorías de la ciencia (Mellado y González, 2000).

En este sentido, es preciso señalar que, las ciencias naturales de por sí no son lo suficientemente interesantes para el estudiantado, esto incluye a su vez y de manera más preocupante a los profesores en formación en este campo (Solbes et al., 2007). Al respecto, Castro (1992) al igual que Gallego y Pérez (1994) concuerdan al mencionar que los

profesores vinculados a este campo, deben contar con algo más allá que una somera capacidad para llamar la atención sobre el conocimiento, sino que, principalmente, deben dominar la disciplina, hasta el punto de ser capaces de relacionar el conocimiento con los acontecimientos o fenómenos más comunes, inclusive, se requiere una reflexión progresiva sobre: los procesos de enseñanza y aprendizaje, la teoría y la práctica, la necesidad de adquirir habilidades de autoevaluación cuyo objetivo es la mejora profesional, entre otras.

En relación con esto, Porlán et al. (1998) mencionan que la educación se ha pensado desde la idea de enseñar y aprender de manera memorística, en donde los contenidos son concebidos como fines y no como medios para interpretar el mundo, y los conceptos (complejos y dinámicos) se reducen a datos simples y estadísticos, un posible ejemplo -entre tantos- de esto, puede referenciarse en el hecho de que la mayoría de los profesores de ciencias utiliza analogías basadas en el uso de símiles de la vida cotidiana, lo que resulta en la construcción de modelos sintéticos erróneos difíciles de superar, cuestión que es bastante común en los profesores en formación (Sinarcas y Solbes, 2013).

Asimismo, otro ejemplo es el sobre uso y la práctica del profesor pensada a partir del libro de texto, que, en un gran porcentaje, maneja información que carece de rigurosidad científica, que, además, pretende ser práctico, pero cae en el error de ser impreciso. De acuerdo con Friedrichsen et al. (2009), en algunos libros de textos que se utiliza en las instituciones educativas, se presenta una visión deformada y simplista de la evolución de la historia del conocimiento. Al respecto, Solbes et al. (2019) comentan que este tipo de situaciones perpetúan la idea de una ciencia lineal y acumulativa, en la que el conocimiento se adiciona, una teoría reemplaza a otra, sin ningún tipo de resistencia conceptual o experimental, lo que implica la necesidad de orientar los modelos educativos desde la formación científica inicial de los profesores.

En relación con la anterior, con la transformación del contenido conceptual, el cual, de acuerdo con Fensham (2000) debe ser seleccionado por la coherencia y vinculación de las ideas, es decir, todo está conectado con todo; además, uno de los aspectos de la enseñanza – aprendizaje en el campo de las ciencias naturales relacionado con la formación de profesores es la idea del autodesarrollo, es decir, la capacidad sí se quiere así definirla, de no estar estático frente al conocimiento en el proceso de formación, sino que el profesor está en

condiciones de cuestionar dicho conocimiento y su práctica lo lleva a nuevas y más amplias reflexiones.

En coherencia con lo expuesto en los párrafos anteriores, y en acuerdo con lo propuesto por Lamanauskas (2001), la formación de profesores en ciencias naturales cuenta con algunos problemas, entre los principales están: los profesores en formación no adquieren los conocimientos (disciplinares y didácticos) necesarios para asumir la enseñanza de las ciencias (Bolívar y Salvador, 2004); la determinación de los conocimientos científicos y el uso de los mismos por parte de los profesores en formación de acuerdo con el contexto profesional y formativo (Solbes et al., 2007); el poco cuestionamiento de los contenidos y didácticas referidas a las ciencias naturales (Ostermann y Moreira, 2000); no se enseña desde la práctica ni mucho menos desde la cotidianidad (Müller y Wiesner, 1998); los programas de formación de profesores en ciencias naturales no promueven la interacción con la naturaleza.

Pues bien, es el mismo Lamanauskas (2001) quien distingue algunos elementos fundamentales en los procesos de formación de los profesores en ciencias naturales, algunos de ellos tienen que ver con: conciencia sobre la educación y las ciencias naturales; comprensión del conocimiento (principales teorías); entendimiento y comprensión de las dificultades de aprendizaje de los alumnos; los propósitos de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales; capacidad crítica para transformar el conocimiento científico; adaptabilidad a los diversos escenarios y contextos de enseñanza.

Por otra parte, la pregunta sobre ¿dónde están esos conocimientos y prácticas en ciencias naturales que atienden o preparan al profesor de ciencias naturales para el mundo de hoy?, referencia en gran parte el cambio del mundo, es decir, la transformación constante de las ciencias, lo que ha correspondido en gran medida a su incidencia en la tecnología y viceversa; de esta manera, los programas de formación de profesores no han superado los problemas y conceptos que la comunidad científica actual ha resuelto, evidenciando un estancamiento en el conocimiento aprendido y obviamente en el que se enseña (Bolívar, y Salvador, 2004).

Complementariamente, hay otros elementos o aspectos de la enseñanza – aprendizaje de las ciencias naturales que en el mejor de los casos pueden estar ubicados en los planes de

estudio o los planes de área en los diversos programas de formación de profesores en este campo, sin embargo, sus prácticas no abordan situaciones comunes presentes en las aulas de clase (Bolívar, 1993 y Caballero y Recio, 2007).

En adición a lo anterior, hay que tener presente que los profesionales en educación o licenciados -para el caso latinoamericano- en este campo se forman en educación básica secundaria y media, razón por la que, el hecho de que estén con un énfasis como el de las ciencias naturales genera desafíos, el primero, es el hecho de reconocer que la formación de estos profesores es compleja, lo que requiere no solo de una precisión y pertinencia de los conocimientos a abordar, sino también, de la calidad de las prácticas formativas a desarrollar; por otra parte, el segundo, es indispensable una formación multidisciplinar e interdisciplinar, en donde el abordaje de los fenómenos o conceptos no sea segmentado sino por el contrario integrador.

En este sentido, en la formación de profesores se evidencia que los contenidos fundamentales en la formación disciplinar ‘barren’ las principales áreas de física, química y ciencias naturales (Fernández et al., 2021); un barrido del que se infiere poca profundidad en el saber disciplinar, en la construcción de las teorías y más aún, en temas relacionados con las ciencias modernas.

Finalmente, y como lo sugiere Acevedo (2009), es necesario un reordenamiento basado en un proceso de diferenciación que termina por instalar la idea de que los profesores ya no portan los saberes que históricamente legitimaban su posición, con lo cual se ha desdibujado su autoridad pedagógica, cuestión que afecta y modula los vínculos que se establece con los saberes de un campo de conocimiento en la escuela. Lo anterior, es discutido en la mayoría de los escenarios académicos, dado que, si se pretende una transformación en la educación básica, es importante pensar primero en una renovación en los procesos de formación profesoral, con el fin de proporcionar herramientas básicas para enfrentar los requerimientos actuales en su formación científica, didáctica, epistemológica, pedagógica y ética.

Por esto, la estructuración de planes de estudio va más allá de disposiciones curriculares con asignaturas y contenidos mínimos, los cuales deben surgir de una reflexión en el marco de una propuesta curricular que defina claramente los referentes epistemológicos,

pedagógicos, antropológicos, psicológicos y didácticos sobre los que se suscribe un determinado programa.

1.2.2 Enseñanza de la Estructura Atómica

La enseñanza, así como también, la formación en ciencias se ubica en un plano de tensión entre el desarrollo tecnológico- científico que hace parte del momento histórico y la cotidianidad de las personas -especialmente de los estudiantes de hoy- y los conocimientos en ciencias bajo los cuales operan los distintos productos, aplicaciones, entornos o dinámicas de las ciencias modernas (Muñoz-Burbano et al., 2020).

De esta manera, en Colombia la formación en ciencias, especialmente, en lo relacionado con la física cuántica es una tarea que está desarrollándose, o más bien, está tomando forma (Castrillón, 2016); de acuerdo con Muñoz-Burbano et al. (2020), la enseñanza de la física cuántica en el país todavía sigue en debate, no por la relevancia, sino más bien, por los procesos analíticos, críticos y reflexivos que esta conlleva.

Aún más, Muñoz-Burbano (2020) comenta que, en el contexto de la educación secundaria colombiana, no se emplea la teoría cuántica para enseñar temas como la estructura de la materia; además, los profesores abordan temáticas como la anterior, con libros de texto que presentan errores conceptuales como la yuxtaposición de conceptos clásicos y cuánticos, los que resultan en una confusa explicación de temáticas importantes como la dualidad de los objetos cuánticos, las relaciones de indeterminación y los números cuánticos, estos últimos al presentarlos como derivados de los modelos de Bohr y Sommerfeld.

En relación con lo anterior, específicamente en las ciencias, se plantea que la física cuántica permite una interpretación adecuada de la estructura atómica, puesto que se requiere para la comprensión de cuestiones como la estructura electrónica de los átomos, el ordenamiento periódico y los enlaces de las moléculas, además, para la comprensión de los fenómenos microscópicos; también, es imprescindible para entender el mundo y está cada vez más presente en otras disciplinas como la biología, química o medicina; pero también, para comprender mejor la propia física clásica al mostrar sus límites de validez y las diferencias entre ambas teorías (Sinarcas y Solbes, 2013).

Al respecto, Solbes y Sinarcas (2010) expresan que, las dificultades en el aprendizaje de la física cuántica que poseen los estudiantes pueden clasificarse en dos: las primeras, son dificultades de carácter ontológico, donde los alumnos no pueden entender que los electrones, protones y fotones son objetos nuevos con un comportamiento nuevo, y que, por tanto, no son ni ondas ni partículas; las segundas, son de carácter epistemológico, relacionadas con lo que se puede o no conocer, como, por ejemplo, la posición y el momento lineal de un objeto dado (relación de indeterminación de Heisenberg).

Así, como lo expresa Fanaro (2009) la conceptualización de un sistema cuántico requiere el ingreso a un nuevo dominio explicativo, asimismo, aceptar categorías que desafían la experiencia microscópica para desligar la física clásica de Newton y Maxwell del lugar privilegiado que le brindan los profesores en la escuela y el currículo (Muñoz-Burbano, 2020); de este modo, se logra que la física moderna empiece a ganar protagonismo, y supere la forma de enseñanza superficial que actualmente se observa en los establecimientos educativos y los programas de formación del profesorado, la cual carece de la importancia que tiene en el ámbito del desarrollo científico y tecnológico.

De esta manera, el proceso de preparación para la enseñanza puede resultar en una sumatoria de conocimientos disciplinares y pedagógicos (Solbes y Gavidia, 2013; Furió et al., 2008), que evoca la reproducción de saberes descontextualizados sin una interrelación - “real”- didáctica y pedagógica para la enseñanza; esta problemática se agudiza al contemplar tópicos de física y química modernas, como contenidos básicos en la formación de un licenciado en ciencias, pues si bien pudieran ser abordados tangencialmente desde lo disciplinar, no son contruidos como articuladores en la preparación didáctica, pedagógica y epistemológica.

Con relación a lo anterior, el involucrar con mayor intensidad contenidos de la física moderna en los currículos académicos, permitirá a los estudiantes desarrollar una visión más precisa de la ciencia y de la naturaleza del trabajo científico, superando la visión lineal, netamente acumulativa del desarrollo científico que proporcionan los libros de texto y las clases de física actuales (Ostermann y Moreira, 2000).

Finalmente, y de acuerdo con Ostermann y Moreira (2000), de nada sirve cambiar los programas de formación de profesores con el fin de incluir tópicos contemporáneos, sí los

profesores quienes van a implementar esos tópicos en el aula no están preparados en términos de contenidos o convencidos del cambio; es decir, la actualización curricular en física pasa necesariamente por la actualización de los profesores en cuanto al contenido o por una predisposición para el cambio.

Teniendo en cuenta lo anterior, se formularon las siguientes preguntas de investigación:

¿Cómo es el CDC sobre la estructura atómica que se enseña en las licenciaturas de ciencias naturales a los profesores en formación?

¿Qué CDC sobre la estructura atómica tienen los profesores en formación de dichas licenciaturas?

Capítulo 2. Marco Teórico e Hipótesis

2.1 Enunciado de las Hipótesis

El presente trabajo doctoral planteó dos problemas fundamentales relacionados con la enseñanza y el aprendizaje del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) sobre la estructura atómica en los programas de licenciatura en ciencias naturales:

1. ¿Cómo es el conocimiento didáctico del contenido (CDC) sobre la estructura atómica que se enseña en las licenciaturas de ciencias naturales a los profesores en formación?
2. ¿Qué CDC sobre la estructura atómica tienen los estudiantes de dichas licenciaturas?

Para dar respuesta a estas interrogantes, se formularon las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1: la enseñanza de los CDC de la estructura atómica en las licenciaturas no tiene en cuenta la teoría cuántica ni las últimas aportaciones de la didáctica.

Esta hipótesis parte del supuesto de que las licenciaturas en ciencias naturales, como programas de formación docente, podrían no estar alineadas con los avances más recientes en el ámbito científico y didáctico, lo cual limitaría la preparación de los futuros profesores para la enseñanza de la estructura atómica. La comprobación de esta hipótesis implicó analizar los procesos de enseñanza y los contenidos abordados en los programas de licenciatura.

Hipótesis 2: el CDC de la estructura atómica de los futuros profesores que estudian dichas licenciaturas es insuficiente e inadecuado.

Esta hipótesis planteó que, como consecuencia de las deficiencias en la enseñanza de los CDC, los profesores en formación podrían no desarrollar un conocimiento sólido ni competencias didácticas adecuadas para enseñar la estructura atómica, especialmente en lo relacionado con la teoría cuántica y su integración en el aula.

Comprobación de la Hipótesis 1: la comprobación de la Hipótesis 1 se estructuró en torno a tres objetivos de investigación, cada uno enfocado en analizar aspectos específicos de los procesos de enseñanza en las licenciaturas:

Objetivo 1: analizar los Proyectos Educativos de Programa (PEP) de los programas de formación de licenciados en ciencias naturales en Colombia, para evidenciar el peso de los contenidos disciplinares, pedagógicos y didácticos del contenido.

Este objetivo permitió identificar el equilibrio y la relevancia asignada a los diferentes componentes formativos en los PEP, evaluando si la teoría cuántica y los avances didácticos estaban presentes en el diseño curricular.

Objetivo 2: analizar los documentos curriculares (microcurrículos) relacionados con la enseñanza de la estructura atómica de la materia involucrados en el proceso de formación de licenciados en ciencias naturales en Colombia.

A través de este objetivo, se evaluaron los microcurrículos para determinar la profundidad y calidad con que se enseñaban los conceptos de la estructura atómica, especialmente los relacionados con los avances científicos modernos.

Objetivo 3: determinar el papel que los profesores de las licenciaturas en ciencias naturales en Colombia asignan a la enseñanza de la estructura atómica de materia.

Este objetivo exploró las perspectivas de los profesores que enseñan estas temáticas, identificando cómo valoran la relevancia de los conceptos cuánticos y las estrategias que utilizan para su enseñanza.

Comprobación de la Hipótesis 2: la comprobación de la Hipótesis 2 se centró en caracterizar el aprendizaje y las competencias desarrolladas por los estudiantes de licenciatura en relación con los CDC sobre la estructura atómica. Para ello, se formuló el siguiente objetivo de investigación:

Objetivo 4: determinar el CDC sobre la estructura atómica en profesores en formación en ciencias naturales en Colombia.

Este objetivo permitió analizar los conocimientos conceptuales y didácticos adquiridos por los futuros profesores, evaluando su capacidad para enseñar la estructura atómica de manera adecuada y contextualizada. La metodología incluyó instrumentos diseñados específicamente para medir tanto la profundidad conceptual como las estrategias didácticas utilizadas por los estudiantes en formación.

2.2 Fundamentación de las Hipótesis

Este apartado fundamenta teóricamente las hipótesis. En este sentido, se hace una aproximación a los aportes de Lee Shulman, la que permite contextualizar dichos aportes no solo en el campo de la formación de profesores sino en un tema muy particular como lo es la estructura atómica; posteriormente, una vez tratado lo relativo al CDC, se establecen las relaciones o vínculos que definen el acto de enseñanza en el marco profesional, dando cabida de esta manera al desarrollo de la idea de la formación de profesores pero en un campo concreto del conocimiento, en este caso particular el referenciado a las ciencias naturales.

Por otra parte, teniendo en cuenta que la cuestión del CDC recae sobre la estructura atómica, esta última es atendida desde diversas perspectivas, con el propósito de develar con la mayor claridad la relevancia de dicho contenido en la formación de profesores en ciencias naturales, en esta sección no solo se relata el asunto histórico, sino la interpretación y ejemplificación del conocimiento desarrollado con relación al contenido citado, es decir, se conceptualiza sobre la estructura atómica y porque esta se debe enseñar teniendo como base la física cuántica.

2.2.1 Contextualizando Shulman

El interés por las ideas de Shulman y otros investigadores fue inmediato y generalizado en las dos décadas siguientes desde que estas fueron presentadas por primera vez en el discurso de Shulman (1986) y en el artículo de la *Harvard Education Review* (Shulman, 1987), gozando así de una amplia aceptación por las comunidades académicas y científicas – en diversas áreas, disciplinas y niveles-.

De este modo, gran parte de dicho interés se ha centrado directamente en el CDC, artículos, capítulos de libros e informes utilizan o pretenden estudiar la noción de CDC, en una amplia variedad de áreas temáticas: ciencias, matemáticas, estudios sociales, inglés, educación física, comunicación, religión, química, ingeniería, música, educación especial, la enseñanza superior y otras.

Lo anterior, evidencia el interés que sobre este tema ha ido incrementando, asimismo, propone la siguiente cuestión ¿qué contribuciones puede realizar a la formación del profesorado? La cual, se aborda en este apartado al desvelar las principales discusiones

teóricas y de utilidad práctica que conlleva la investigación que se adelanta en este campo de conocimiento y cómo, al comprenderlas, pueden contribuir a los procesos formativos de los licenciados en ciencias naturales.

Gran parte de los trabajos que siguieron a las propuestas de Shulman (1986 y 1987) mostraron cómo las orientaciones de los profesores hacia el contenido influían en la forma en que enseñaban ese contenido. En este sentido, Grossman (1990) mostró cómo las orientaciones de los profesores hacia la literatura determinaban la forma en que se acercaban a los textos con sus alumnos.

Por otra parte, Wilson y Wineburg (1988) describieron cómo los antecedentes disciplinarios de los profesores de ciencias sociales, ciencias políticas, antropología, sociología, geografía e historia determinaban la forma en que representaban el conocimiento histórico para los alumnos de secundaria. Por su parte, Loewenberg (1990) introdujo la frase "conocimiento sobre las matemáticas" para contrastar con el "conocimiento de las matemáticas" y resaltar la naturaleza del conocimiento sobre la disciplina, de dónde procede, cómo cambia y cómo se establece la verdad científica.

Una segunda línea de investigación con algunos trabajos anteriores a la introducción del CDC, ha contribuido a la comprensión del conocimiento que los profesores necesitan sobre las ideas alternativas o los conceptos erróneos que los estudiantes traen al aula o desarrollan a medida que aprenden una materia, por ejemplo, el análisis de Gallego et al. (2004) sobre los esfuerzos naturales de los alumnos por comprender los motivos y las explicaciones de los acontecimientos pasados pueden ser contradictorios con la naturaleza especial de la comprensión histórica.

Ahora bien, impulsadas por los avances de la ciencia cognitiva y por la mayor atención que se presta al papel de los conocimientos previos en las teorías del aprendizaje, han florecido las investigaciones sobre lo que los profesores necesitan saber acerca de las ideas alternativas o los conceptos erróneos de los alumnos sobre determinadas materias (Furió et al., 2006). Esta línea de investigación elabora el concepto de CDC mostrando las formas especiales en que la enseñanza exige una integración simultánea de las ideas clave del contenido con las formas en que los estudiantes las aprenden.

En otra línea de trabajo provocada por Shulman al prestar atención al contenido, se puede reconocer la falta de conocimiento del contenido de la materia y del contenido pedagógico de los profesores; al respecto, Loewenberg et al. (2005), elaboraron preguntas para entrevistas que revelaban, por un lado, las insuficiencias de los conocimientos de los profesores y futuros profesores sobre los conocimientos para la enseñanza, y por otro, lo mucho que había que entender.

Al respecto, Magnusson et al. (1999), emplearon las tareas desarrolladas por Ball para sus estudios con el fin de profundizar en la naturaleza especial del conocimiento del contenido necesario para la enseñanza, que va más allá de simplemente "conocer" el contenido. De este modo, la noción de CDC ha impregnado los estudios sobre la enseñanza y la formación del profesorado, pero lo ha hecho de forma desigual en los distintos campos.

Por lo anterior, se hace necesario describir un marco teórico coherente para el conocimiento del contenido de la enseñanza, ya que, por el número amplio de trabajos realizados sobre el tema en cuestión, la tarea de llegar a un consenso es compleja y amerita la articulación de diversas posturas al respecto. Dado que los investigadores tienden a especializarse en un solo tema, gran parte del trabajo se ha desarrollado en líneas aproximadamente paralelas pero independientes. A menudo no está claro cómo se relacionan las ideas de un área temática con otra o incluso si los hallazgos dentro de la misma materia adoptan puntos de vista similares o diferentes sobre el conocimiento de la materia del profesor.

Aún más, de acuerdo con lo que se infiere de Loewenberg et al. (2008), en la literatura referida al CDC en una proporción importante se refiere al conocimiento del profesorado, la formación del profesorado o a los asuntos propios de la política, dejando en un segundo plano al contenido específico de la materia. Por otra parte, los estudiosos han utilizado el concepto de conocimiento pedagógico como si sus fundamentos teóricos, sus distinciones conceptuales y pruebas empíricas ya estuvieran bien definidas y se comprendieran universalmente. En este sentido, el CDC a menudo no se distingue de otras formas de conocimiento del profesorado, y a veces se refiere a algo que es simplemente conocimiento del contenido o conocimiento o destreza pedagógica.

En relación con lo anterior, y de acuerdo con Niess (2005), el conocimiento didáctico se ha definido como "la intersección entre el conocimiento de la materia y el conocimiento de la enseñanza. Conocimiento de la asignatura con el conocimiento de la enseñanza y el aprendizaje" (p. 510) o como: "ese dominio de conocimiento de los profesores que combina el conocimiento de la materia y el conocimiento de la pedagogía" (Lowery, 2002, p.69); en términos más amplios, el CDC se define como: "el producto de la transformación de la materia en una forma que facilite el aprendizaje de los alumnos"(Graeber, 1999, p.200).

Sin embargo, la brevedad de la definición no es el único factor que contribuye a la falta de claridad sobre lo que puede considerarse CDC. Las definiciones más cuidadosas y detalladas siguen sin dejar claro dónde está el límite entre el CDC y otras formas de conocimiento profesoral, por ejemplo, Magnusson, Krajcik y Borko (1999) lo definieron así:

El conocimiento didáctico del contenido es la comprensión que tiene el profesor de cómo ayudar a los alumnos a comprender una materia específica. Incluye el conocimiento de cómo pueden organizarse, representarse y adaptarse a los diversos intereses y capacidades de los alumnos determinados temas, problemas y cuestiones de la materia, y cómo se presentan para su enseñanza... La característica que define el conocimiento didáctico del contenido es su conceptualización como el resultado de una transformación del conocimiento de otros dominios. (p.96).

Al respecto, para Solbes et al. (2013) y Solbes et al. (2018), algunas de estas definiciones son empleadas para realizar observaciones del profesorado y así establecer perfiles de docencia.

Ahora bien, Shulman (1986 y 1987) originalmente (habla de siete elementos en el *teacher knowledge* (que ahora algunos denominan conocimiento profesional del profesor): conocimiento del contenido (SMK), conocimiento del currículo (CUK), conocimiento pedagógico del contenido (PCK), conocimiento pedagógico general (GPK), conocimiento de los estudiantes y sus características (LK), conocimiento del contexto educacional (CK), y el conocimiento de los valores, propósitos y fines de la educación (VAK). Es decir, el CDC o PCK (en inglés) es una parte del conocimiento profesional del profesor (junto al conocimiento del contenido, el conocimiento didáctico general y el conocimiento del

contexto) y según algunos autores (Magnusson, Krajcik y Borko, 1999, p.96; Abell, 2007; Roth, 2007), asimismo, incluye 5 aspectos constitutivos a saber:

- Las orientaciones hacia la enseñanza de las ciencias, las cuales se refieren al conocimiento general para enseñar, así como también la visión y los propósitos de la enseñanza de las ciencias.
- El conocimiento sobre el currículo de ciencias, es decir, la programación de la materia a enseñar, materiales, características y en sí determinantes particulares para su desarrollo o ejecución.
- Los conocimientos sobre estrategias de instrucción para enseñar las ciencias, las cuales facilitan el entendimiento de un concepto a partir del cambio conceptual y el enfoque hermenéutico de las ciencias.
- El conocimiento sobre los estudiantes de ciencias, es decir, lo que saben los estudiantes, las concepciones y aspectos que generan confusiones epistemológicas, de igual manera, las motivaciones, estilos de aprendizajes, intereses y niveles de desarrollo.
- El conocimiento sobre la evaluación en ciencias, donde se destaca la relevancia del acto evaluativo, así como también, las tipologías de evaluación y la identificación de los aprendizajes adquiridos mediante la evaluación formativa.

En síntesis, está clara la necesidad de estudiar con mayor profundidad el asunto de la enseñanza en ciencias en clave del conocimiento del contenido, que, si bien se promueven a partir de las ideas gestadas por Shulman (1986 y 1987) y otros investigadores como Wilson et al. (1987), es perentorio especificar la naturaleza del conocimiento del contenido, no obstante, dicha especificación exige una mayor precisión sobre los conceptos y métodos implicados.

2.2.2 Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC)

De acuerdo con Rojas (2019), el CDC es una herramienta conceptual, cuya principal función es la posibilidad de reflexionar y comprender las interacciones didácticas que hacen parte de las prácticas pedagógicas que los profesores desarrollan (Park y Oliver, 2008). Aún más, de

acuerdo con Rojas (2019), es imperativo para entender el CDC comprender las dinámicas que suscitan los vínculos entre los siguientes seis elementos: la orientación para la enseñanza de la asignatura; el conocimiento de la evaluación del aprendizaje; el conocimiento de las estrategias de enseñanza; el conocimiento del currículo; el conocimiento acerca de los estudiantes; y la eficacia del profesor en su práctica pedagógica.

Ahora bien, hay algunas distinciones a tener en cuenta al momento de considerar el CDC por parte de un profesor en formación, un novel y un experto, especialmente en el campo de la enseñanza de las ciencias naturales; así las cosas, una primera distinción se ubica en los estudios propuestos por Rojas (2019), donde el profesor que es especialista en un tema determinado del campo de las ciencias muchas veces presenta inconvenientes en cuanto a la didáctica a implementar en el aula de clases, esto se debe a que la experiencia en el saber didáctico marca la diferencia, asimismo, lo referido a la planeación, desarrollo y evaluación de los procesos de enseñanza y aprendizaje.

A mediados de la década de 1980, más precisamente en 1986, Schulman (1986) en el marco de convención de la *American Educational Research Association* comparte su preocupación sobre la formación de profesores, en donde desatacaba el desbordamiento de los métodos de enseñanza en contravía del conocimiento de los contenidos en las diferentes disciplinas.

A partir de lo anterior, se reconoció una diferencia sustantiva entre los profesores y los “especialistas” en contenidos, en donde se destacó que los primeros puede que cuenten con las herramientas didácticas para enseñar pero no con el conocimiento requerido para ello, y por el contrario, los especialistas cuentan con la comprensión del conocimiento pero presentan dificultades para enseñarlo, cuestiones por las que el conocimiento del contenido y su transformación en una forma enseñable se ven seriamente comprometidos (Rollnick y Mavhunga, 2016a y 2016b), lo que en términos de Chevallard (1991), constituiría una deformación del conocimiento en el proceso de transposición didáctica.

De este modo, o más bien, entendido lo anterior, es válido mencionar que fue Shulman (1986 y 1987) quien inicio con el concepto de CDC (*Pedagogical Content Knowledge PCK*) en la década de 1980 como resultado de las reformas educativas y también curriculares que

en Norteamérica se venían desarrollando en los programas de formación de profesores (Fonseca, 2014; Leal y Urbina, 2014).

De esta forma, Leal y Urbina (2014) sostienen que el CDC es uno de los conceptos claves en la didáctica, esto a razón de su naturaleza como modelo para la formación de profesores, asimismo, es un campo de interés para la investigación en la didáctica, por lo que estos dos justificantes más allá de proporcionar cierta conciencia cognitiva a la profesión del profesor, son dos elementos característicos del ser, saber y quehacer del profesional de la educación, lo cual le permite guardar distancia de otras profesiones.

En relación con lo anterior, Fonseca (2014) ubica la necesidad de indagar con mayor precisión y rigurosidad el CDC en los profesores para el campo de las ciencias, asimismo, evaluarlo a la luz de su proceso de construcción.

Entendiendo lo comentado anteriormente, la educación requiere de una enseñanza más próxima a lo que acontece en el plano “real” o cotidiano, que a su vez implique la implementación o puesta en marcha de los conocimientos desarrollados junto con las competencias o habilidades que el acto formativo supone (Kathirveloo y Puteh, 2014); lo anterior, junto con los conceptos erróneos o ideas alternativas de los profesores fueron dos de las ideas claves que Shulman (1986) considero para proponer el CDC, puesto que dicha propuesta es una mezcla de contenido y didáctica para mejorar la comprensión de cómo se organizan, representan y adaptan determinados contenidos, problemas o cuestiones a los diversos intereses y niveles de capacidad de los alumnos.

Por otra parte, Hansen (1995) menciona que una de las habilidades más importantes que debe tener un profesor es la referida a la transformación de los conocimientos que se van a enseñar a los alumnos, de forma que puedan ser fácilmente comprendidos por estos. Lo anterior, también debe ser premisa de los programas de formación tanto en su conceptualización y teorización como práctica. Aún más, una enseñanza “real” o de lo cotidiano no sólo debe contener la demostración hábil de los conocimientos del profesor, sino que también, debe incluir la capacidad de guiar a los alumnos para que comprendan de forma significativa el contenido de los conocimientos, por ello el CDC se destaca en los procesos de enseñanza y aprendizaje en cualquier nivel, principalmente en los iniciales.

Por otra parte, Grossman et al. (1989) consideraron dos tipos de conocimientos, el primero es el relativo a los hechos, conceptos, principios y marcos explicativos clave de una disciplina, a este lo denominaron conocimiento sustantivo; por otra parte, está el conocimiento que se orienta hacia las reglas de evidencia y prueba dentro de una disciplina, a este se le llamo conocimiento sintáctico. Al igual que lo considerado por Hansen (1995) y Rojas (2019), Grossman et al. (1989) evidencian que el CDC es una herramienta o elemento principal en los procesos de enseñanza y aprendizaje de una disciplina, con mayor hincapié en las ciencias.

En adición, se entiende que el CDC es multidimensional, lo que significa que hay varios niveles en los que se puede explorar el contenido. Así las cosas, y de acuerdo con Gess-Newsome (2015), se pueden distinguir dos tipos de CDC: el primero es el personal, este varia de un profesor a otro y de un contexto a otro, y se refiere a la práctica del conocimiento por parte de los profesores; el segundo, es el canónico, el cual está sujeto al tema que se enseña y a la manera como este se incorpora a la práctica a través de la formación profesoral.

Así, aunque los académicos dan opiniones diversas a los distintos componentes del conocimiento de los profesores, coinciden en la importancia de que los profesores sean apropiados o los indicados para enseñar a los alumnos. Shulman (1986) definió el CDC como las interpretaciones de los profesores sobre el conocimiento de la materia en el contexto de la enseñanza y aprendizaje de los alumnos. De esta manera, se puede mencionar que la comprensión de la materia por parte de los profesores influye significativamente en el aprendizaje de sus estudiantes.

Por lo anterior, en el CDC, los estudiantes sólo responderán si están seguros de su comprensión y se lo comunicarán al profesor, con lo cual, ayudarán a este a "captar" cuando funcionan sus conceptos alternativos y se producen errores, de este modo, los profesores podrán superar sus conceptos erróneos o ideas alternativas y errores de manera inmediata. Lo anterior, sugiere que los profesores deben tener una comprensión adecuada de la materia que enseñan, por ejemplo, los aportes de Shulman en este campo han contribuido a la comprensión de determinados aspectos entre ellos errores e imaginarios sobre la enseñanza y el aprendizaje, y claro está, de manera especial sobre el CDC.

Para Shulman (1987) el CDC es oportuno para los temas que se enseñan con más frecuencia en la propia asignatura, asimismo, para comprender las formas más útiles de esas representaciones de esas ideas, las analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones y demostraciones más potentes; en una palabra, las formas de representar y formular el tema que lo hacen comprensible para los demás.

Asimismo, el CDC también incluye la comprensión de lo que hace que el aprendizaje de temas específicos sea fácil o difícil, teniendo presente las concepciones y preconceptos que los estudiantes de diferentes edades y orígenes traen consigo al aprendizaje de esos temas y lecciones que se enseñan con más frecuencia. Si esas ideas preconcebidas son erróneas - como ocurre con frecuencia-, los profesores necesitan conocer las estrategias más apropiadas o pertinentes para reorganizar la comprensión de los alumnos, porque es poco probable que ellos desconozcan totalmente los contenidos a abordar.

Ahora bien, Shulman (1987) también destacó la necesidad de que los profesores conozcan el pensamiento de sus alumnos, por lo que la transformación del conocimiento de la materia en CDC es una tarea fundamental en la formación de profesores. En este mismo sentido, Graeber (1999) menciona la necesidad que tienen los profesores de aclarar o resolver sus ideas erróneas sobre la materia, lo anterior sugiere que, la falta de conocimientos didácticos influirá en la eficacia del proceso de enseñanza y aprendizaje del profesor en la práctica.

Así, los profesores son las personas encargadas de mejorar el rendimiento de los alumnos, pero, sobre todo, formar a los sujetos, por lo tanto, los profesores deben estar libres de ideas erróneas y errores, para desempeñar bien sus funciones, necesitan los conocimientos particulares y especiales que sugiere el CDC.

En general, el CDC afecta la forma en que los profesores piensan sobre su conocimiento de la materia, es decir, un profesor hábil y con muchos conocimientos tiene el potencial de hacer que el aprendizaje sea más significativo para los alumnos (Graham y Fennell, 2001). Lo anterior, sugiere que la enseñanza sin una comprensión profunda no tiene sentido, ya que una enseñanza eficaz debe incluir el CDC, el cual abarca los conocimientos conceptuales y procedimentales, así como las etapas de comprensión por las que es probable que pasen los sujetos de un estado de poca comprensión al dominio de esta, en esto radica la

importancia del hecho de que los profesores deben tener conocimientos sobre cómo enseñar a sus alumnos de forma eficaz.

2.2.3 El Conocimiento de los Contenidos y su Papel en la Definición de la Enseñanza como Profesión

Una de las principales contribuciones de Shulman (1986 y 1987) fue replantear el estudio de los conocimientos de los profesores de manera que se tuviera en cuenta el papel del contenido en la enseñanza, esto supuso un cambio radical con respecto a la investigación de la época, que se centraba casi exclusivamente en los aspectos generales de la enseñanza.

Del mismo modo, la didáctica de las ciencias contemporánea surge en diversos países europeos para completar la investigación en ciencias de la educación, la cual, era curricular y psicologista (Adúriz-Bravo y Izquierdo, 2002); hasta los años 70 las investigaciones dominantes en educación fueron las de psicólogos y pedagogos, más atentos a los aspectos generales. En países europeos como Alemania (Reinders Duit), Francia (Laurence Viennot) o España (Daniel Gil), empezaron con la didáctica de las ciencias a finales de los 70 y principios de los 80. Por otra parte, los anglosajones empezaron con Lillian C. McDermott (EEUU) y Rosalind Driver (RU), pero ellos hablan de *science education* (educación científica), no obstante, su contenido es similar (Solbes, 2024).

En relación con lo anterior, cabe mencionar que son pocos los estudios que han relacionado directamente este conocimiento en didáctico del contenido -o CDC- con la práctica profesoral de los profesores en formación o en servicio o con la eficacia de esta, no obstante, algunos de los más destacados son los propuestos por Solbes et al. (2013), así como también Solbes et al. (2018).

De hecho, se prestó tan poca atención al examen de los contenidos y su papel en la enseñanza, que Shulman (1986) lo denominó el "paradigma ausente" en la investigación sobre la enseñanza y el conocimiento del profesorado. Una segunda contribución de Shulman (1987), fue representar la comprensión de los contenidos como un tipo especial de conocimiento técnico clave para la profesión de la enseñanza.

Al respecto, a finales de la década de 1980, se realizaron estudios de casos de profesores principiantes de secundaria como parte de su investigación en el proyecto

Knowledge Growth in Teaching, cabe mencionar que los participantes eran recién licenciados con una sólida preparación en matemáticas, ciencias, literatura inglesa e historia. Al examinar a estos principiantes en el proceso de aprendizaje de la enseñanza, se indagó si una sólida preparación en la materia se traducía en los conocimientos necesarios para enseñar esa materia; el objetivo del estudio fue la extracción de estas categorías de conocimiento profesoral, información para el desarrollo de un sistema de certificación de profesores por parte de la Junta Nacional que "se centraría en la capacidad del profesor para razonar sobre la enseñanza y para enseñar temas específicos, y para basar sus acciones en premisas que puedan soportar el escrutinio de la comunidad profesional" (Shulman, 1987, p.20).

Por otra parte, en España, hasta 2010, el dominio en la materia a enseñar, acreditado por los 5 años de una licenciatura era el requisito básico para acceder a la docencia de secundaria. Sólo se exigía un Certificado de Aptitud Pedagógica, de unas 150 horas, 45 de Pedagogía, 45 de didáctica específica y unas 60 de práctica, actualmente, esto ha cambiado, con un grado de 4 años de la materia y una maestría de formación de profesorado de secundaria de 600 horas (de un año de duración).

De este modo, se considera que la formación en ciencias deberá estar orientada hacia la reflexión colectiva de las preconcepciones didácticas y los aportes de la investigación didáctica; asimismo, a la construcción de un enfoque de enseñanza de las ciencias basado en la alfabetización científica y a la promoción permanente del diálogo entre profesores en formación con relación a las finalidades, naturaleza y dinámicas de la enseñanza de las ciencias (Solbes y Gavidia, 2013).

En relación con lo anterior, Gil (1986), comenta que la enseñanza de las ciencias es posible en la manera en que se aborden problemas de relativo interés, es decir, el desarrollo de actividades que promuevan la reflexión y crítica para la generación de conocimientos en relación con lo que la literatura científica ha establecido como resultado de la investigación e innovación didáctica.

Retomando lo expuesto por Shulman (1987), la atención a la certificación se orientó deliberadamente a informar los debates sobre lo que constituye la experiencia profesional y lo que dicha experiencia implica para la preparación del profesorado y para las decisiones políticas. En particular, a Shulman (1987), le preocupaban las concepciones predominantes

de la competencia profesoral, que se centraban en los comportamientos genéricos de la enseñanza.

Por lo anterior, sostuvo que "las definiciones incompletas y triviales de la enseñanza que actualmente tiene la comunidad política constituyen un peligro mucho mayor para la buena educación que un intento más serio de formular la base de conocimientos" (Shulman, 1987, p.20), así, está implícito el argumento de que la instrucción de alta calidad requiere un conocimiento profesional sofisticado, el cual, va más allá de simples reglas como el tiempo que hay que esperar a que los alumnos respondan.

Para caracterizar los conocimientos profesionales para la enseñanza, Shulman (1986 y 1987) y otros investigadores (Wilson et al., 1987) desarrollaron tipologías; aunque los límites específicos y los nombres de las categorías variaron según los enfoques de estudio, a continuación, se presenta una articulación integrada al respecto con base en Shulman (1987):

- Conocimientos didácticos generales, con especial referencia a aquellos principios y estrategias de gestión y organización del aula que parecen trascender la materia.
- Conocimiento de los alumnos y sus características.
- Conocimiento de los contextos educativos, que van desde el funcionamiento del centro, el gobierno y la financiación de los distritos escolares, hasta el carácter de las comunidades y las culturas.
- Conocimiento de los fines, propósitos y valores de la educación, y sus fundamentos filosóficos e históricos.
- Conocimiento de los contenidos.
- Conocimiento de los planes de estudio, con especial dominio de los materiales y programas que sirven de "herramientas del oficio" a los profesores.

El conocimiento didáctico del contenido, esa amalgama especial de contenido y pedagogía que es exclusiva de los profesores, su propia forma especial de comprensión profesional.

Estas categorías pretendían destacar el importante papel del conocimiento de los contenidos y situar el conocimiento basado en los contenidos en el panorama más amplio del conocimiento profesional para la enseñanza. Las cuatro primeras categorías abordan las dimensiones generales del conocimiento profesoral que eran el pilar de los programas de formación del profesorado de la época.

En su lugar, funcionaban como marcadores de posición en una concepción más amplia del conocimiento del profesorado que hacía hincapié en el conocimiento del contenido. Sin embargo, al mismo tiempo, que estas categorías generales eran cruciales y que el énfasis puesto en las dimensiones de contenido de los conocimientos del profesorado no pretendía minimizar la importancia de la comprensión y la habilidad pedagógica. Shulman (1986) sostenía que "el mero conocimiento del contenido es tan inútil desde el punto de vista pedagógico como una habilidad sin contenido" (p.8).

Así pues, las tres categorías restantes definen las dimensiones de contenido y, en conjunto, constituyen lo que Shulman (1986) denominó el paradigma que falta en la investigación sobre la enseñanza: "un punto ciego con respecto al contenido que caracteriza la mayoría de investigación sobre la enseñanza y, en consecuencia, la mayoría de nuestros programas estatales de evaluación y certificación del profesorado de profesores" (pp.7-8).

De esta manera, la primera, el conocimiento del contenido incluye el conocimiento de la materia y sus estructuras organizativas (véase también Grossman et al., 1989 y Wilson et al., 1987); por otra parte, y con base en Schwab (1978) y Shulman (1986) se comprobó que conocer una asignatura para su enseñanza requiere algo más que conocer sus hechos y conceptos.

De esta manera, los profesores también deben comprender los principios y estructuras de organización y las normas para establecer lo que es legítimo hacer y decir en un campo, el profesor no sólo debe entender que algo es de una forma determinada, sino que además, debe comprender porque es así, en qué se basa su justificación y en qué circunstancias puede debilitarse o negarse la creencia en este, además, "se espera que el profesor comprenda por qué un tema concreto es especialmente importante para una disciplina mientras que otro puede ser algo periférico" (Shulman, 1986, p.9).

La segunda categoría, conocimientos curriculares, está:

...representada por toda la gama de programas diseñados para la enseñanza de materias y temas particulares en un nivel determinado, la variedad de materiales didácticos disponibles en relación de esos programas, y el conjunto de características que sirven como indicaciones y contraindicaciones para el uso de determinados materiales curriculares o programas en circunstancias particulares. (Shulman, 1986, p.10).

Además, Shulman (1986) señaló otras dos dimensiones del conocimiento curricular que son importantes para la enseñanza, aspectos que denominó conocimiento curricular lateral y conocimiento curricular vertical; el conocimiento lateral relaciona el conocimiento del conocimiento del currículo que se enseña con el currículo que los alumnos aprenden en otras clases (en otras asignaturas); por su parte el conocimiento vertical incluye la "familiaridad con los temas que se han impartido y se impartirán en la misma materia durante los años anteriores y posteriores en escuela, y los materiales que los encarnan" (Shulman, 1986, p.10) -la última, y posiblemente la más influyente de las tres categorías relacionadas con el contenido fue el nuevo concepto de CDC-.

Por su parte, la reivindicación del CDC se basó en la observación de que los profesores eficaces en el estudio del crecimiento del conocimiento en la enseñanza representaban las ideas clave mediante metáforas, diagramas, modelos y explicaciones que estaban en sintonía con el aprendizaje de los alumnos y con la integridad de la materia (véase también Carlsen, 1988; Grossman, 1990; Marks, 1990; Wilson y Wineburg, 1988; Wilson et al., 1987; Wineburg, 1991). Algunas representaciones son especialmente potentes, otras, aunque sean técnicamente correctas no abren las ideas eficazmente a los alumnos.

Además, es preciso señalar que las representaciones de la asignatura son informadas por el conocimiento específico del contenido de las concepciones de los alumnos, el hecho de centrarse en las concepciones y en de los alumnos, permite reconocer que el conocimiento de la forma en que los alumnos entienden el contenido es una característica clave del trabajo de enseñanza de ese contenido.

Pues bien, como concepto, el CDC con las representaciones y las concepciones, amplió las ideas sobre la importancia del conocimiento para la enseñanza, sugiriendo que no es sólo el conocimiento del contenido, por un lado, y el conocimiento de la pedagogía, por otro; en palabras de Shulman (1987) "el conocimiento didáctico del contenido es la categoría más probable que distinga el conocimiento del especialista en contenidos del pedagogo" (p.8).

Así, a lo largo del trabajo de Shulman (1986 y 1987) y otros investigadores (Wilson et al., 1987) las categorías de conocimiento del profesorado sufrieron varias revisiones, ya que estos tenían claro que su comprensión del conocimiento de los profesores era incompleta y que las distinciones y etiquetas eran provisionales, al parecen, haber visto el valor de estas distinciones como heurístico, es decir, como una herramienta para ayudar al campo a identificar las distinciones en el conocimiento de los profesores que podrían ser importantes para para una enseñanza eficaz.

De esta manera, tanto Shulman (1986 y 1987) como Wilson et al. (1987) no trataron de construir una lista o catálogo de lo que los profesores deben saber en una materia en particular, por el contrario, su trabajo pretendía una orientación conceptual y un conjunto de distinciones analíticas que centraran la atención de las comunidades de la investigación y la política sobre la naturaleza y los tipos de conocimientos necesarios para la enseñanza de una asignatura.

Es así como, al llamar la atención sobre el paradigma que falta, o la práctica de la investigación centrada directamente en el conocimiento del contenido de los profesores, Shulman (1987) define una perspectiva que, desde los profesores, destacaba la naturaleza intensiva del contenido de la enseñanza, sin embargo, también trató de especificar las formas en que el conocimiento del contenido para la enseñanza es distinto del conocimiento del contenido disciplinario.

De esta manera, en la presente tesis doctoral hay mayor afinidad con la postura configurada por Grossman et al. (1989) con relación al CDC, en la medida en que permite la comprensión en sí de dicho conocimiento como base del mejoramiento de las prácticas de enseñanza, ya que procede de la identificación de maneras (métodos) de enseñar diseñadas por los profesores y validadas -de algún modo- en sus prácticas; es decir, hace hincapié en la

transformación -que debería darse- del conocimiento profesional a una forma de conocimiento enseñable y aprendible por parte del alumno, cuestión por la que, la didáctica será el eje articulador por excelencia, además de, destacar el rol del profesor más allá de un simple mediador a un orientador (Grossman, 1990).

En adición a lo comentado anteriormente, posicionar el trabajo doctoral desde el modelo de Grossman et al. (1989), es abordar el conocimiento desde los elementos que lo fundamentan y lo establecen como una disciplina (conocimiento sustantivo) y el conocimiento determinado por la evidencia (conocimiento sintáctico).

2.2.4 Fundamentación Teórica sobre la Estructura Atómica

2.2.4.1. Primeras Concepciones sobre la Estructura Atómica. Aproximadamente 400 años AC, Demócrito propuso que la materia en algún punto al dividirla constantemente, esta tendría un límite no divisible, a esta entidad la denominó átomo (Moreno, 2019); sin embargo, sus teorías tuvieron una base más filosófica, cuestión diferente al atomismo moderno planteado por Dalton (1766-1844), donde la idea de átomo surge físicamente desde la ley de las proporciones múltiples (Muñoz - Burbano, 2018; Alzate, 2005).

De esta manera, surge así la teoría atómica, la cual plantea que la materia está constituida por partículas indivisibles, indestructibles e invisibles, y que, dependiendo del elemento, presentan igual masa e iguales propiedades (López, 2017), noción que se construye a partir de las ideas de Boyle (1627 -1691), Lavoisier (1743- 1789), Priestley (1733-1804), Cavendish (1731-1810), Proust (1754- 1826), entre otros (Muñoz-Burbano et al., 2020)

Es así como, a finales del siglo XIX Joseph John Thomson trabajando con tubos de rayos catódicos, determinó que los átomos pueden emitir o absorber radiaciones electromagnéticas de frecuencias características, cuyo conjunto se denomina espectro de emisión o espectro de absorción, en el caso de las radiaciones absorbidas, las frecuencias del espectro de absorción son las mismas que las del de emisión (Jou, 2012, p.5). Esto y la radioactividad hacen que se elabore el modelo de átomo de Thomson, según el cual la carga positiva del átomo está distribuida uniformemente en todo el volumen, estando los electrones distribuidos en su interior.

Por otra parte, el descubrimiento de la radioactividad de algunos elementos, como el radio, proporcionaba la posibilidad de “bombardear” la materia con partículas cargadas muy rápidas y comprobar así la validez del modelo de átomo de Thomson. Ernest Rutherford en 1911 junto a sus colaboradores, realizan un experimento en el que bombardearon una fina lámina de oro con partículas alfa y sobre una pantalla fluorescente observaron en qué medida eran dispersadas las partículas. Según el modelo atómico de Thomson, las partículas alfa no deberían sufrir desviaciones o tener desviaciones muy pequeñas, ya que la carga positiva del átomo estaba distribuida uniformemente por todo el átomo. No obstante, los resultados fueron bastante diferentes: a) la mayor parte de las partículas alfa atravesaban la lámina de oro, sin sufrir desviaciones aparentes; b) un reducido número de partículas alfa, sufrían desviaciones notables, que llegaban en algunos casos, al retroceso. Rutherford expresó su sorpresa ante estos resultados: “Lo que pasaba era tan increíble como si alguien hubiese disparado un proyectil hacia un papel de seda y el proyectil volviese hacia el cañón”. A partir de estas experiencias propuso un modelo planetario para el átomo, en su centro, un núcleo pesado y eléctricamente positivo, a su alrededor, girando en órbitas, los diversos electrones. El radio del átomo es del orden de $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ y el del núcleo de $10 \text{ fm} = 10^{-14} \text{ m}$, es decir, que el radio del átomo es 10000 veces mayor que el del núcleo, lo que implica que la mayor parte del volumen ocupado por un átomo es espacio vacío (Solbes, 2018; Solbes, Silvestre y Furió, 2010).

Teniendo en cuenta lo anterior, las dificultades del modelo propuesto por Rutherford se ponen en evidencia al estudiar su comportamiento con la teoría electromagnética de Maxwell y la mecánica de Newton; si la energía del electrón es negativa, este describe una elipse con el núcleo en uno de sus focos y como está acelerado emite ondas electromagnéticas de frecuencia igual a la de giro del electrón, este proceso de radiación ocasiona pérdida de energía por parte del electrón, produciendo una caída de este hacia el núcleo en un tiempo $t \sim 10^{-10} \text{ s}$. Por eso es incapaz de explicar la evidente estabilidad de los átomos y el carácter discontinuo y característico de los espectros atómicos (López, 2017; Solbes et al., 2010; Solbes, 2018).

2.2.4.2 Antecedentes del Modelo Cuántico.

2.2.4.2.1 Efecto Fotoeléctrico. En 1905 Albert Einstein publicó 4 artículos que revolucionaron la física, curiosamente, el artículo menos conocido de ellos sería por el cual fuese ganador del premio nobel de física en 1921 y no su teoría de la relatividad. En dicho trabajo, denominado “On a Heuristic Point of View Concerning the Production and Transformation of Light”, Einstein pone de manifiesto que, desde el punto de vista termodinámico, la radiación electromagnética puede ser interpretada como un gas de partículas de energía $h\nu$ (Jou, 2012, p.8); aún más, coincide con los resultados de Planck en cuanto a los procesos de emisión, y amplía ese conocimiento, no solo refiriéndose a emisión, sino también a absorción y transmisión de la luz.

De este modo, el efecto fotoeléctrico consiste en que la luz al incidir sobre un metal permite el desprendimiento de electrones, si su frecuencia es suficientemente elevada. Se observa que un aumento de la intensidad de la radiación incrementa el número de electrones arrancados por unidad de tiempo, pero no la energía con que abandonan el metal. Asimismo, se observa que, si la frecuencia es demasiado pequeña, la radiación no permite la salida de electrones consigue arrancar electrones, por mucho que se aumente su intensidad, por tanto, la energía cinética de los fotones es dependiente de la frecuencia de la luz. e independiente de la intensidad (Cervantes-Cota y Rodríguez-Meza, 2006)

En otras palabras, un electrón para poder escapar de un metal necesita una cierta cantidad de energía denominada trabajo de extracción (W , función trabajo del electrón), pero si un electrón absorbe la luz ultravioleta que llega en forma de paquetes de energía dada por la fórmula de Planck, entonces, puede ganar energía más que suficiente para escapar del metal. Si es así puede salir con energía cinética K igual al producto $h\nu$ menos el trabajo de extracción W , es decir: $K=h\nu-W$ (Serway y Jewett, 2009, p. 1162), esta es la llamada ecuación del efecto fotoeléctrico de Einstein, fue comprobada por Robert A. Millikan, cuando midió las energías de los electrones despididos de distintos metales por luz de diferentes frecuencias, asimismo, verificó que mientras que cada metal tiene un trabajo de extracción diferente, la constante de Planck tiene el mismo valor universal para todos ellos.

Es así como, esta teoría dio el inicio a los desarrollos de la física cuántica, que han posibilitado los avances tecnológicos del siglo XX, sin embargo, en las aulas de clase no se

introduce esta temática referente y necesaria para comprender la naturaleza de la estructura de la materia, la radiación y las limitaciones de la física clásica (Fernández et al., 2005).

2.2.4.2.2 Modelo de Bohr. Pues bien, hasta el momento los anteriores modelos postulados se trabajaron desde una visión clásica, sin embargo, el modelo de Bohr que publicó en 1913 fue una combinación de lo clásico y lo cuántico, asimismo, es el precedente para comprender los espectros de emisión y absorción en átomos complejos (García -Llamas, 2013).

Por su parte, Bohr recurre a las ideas introducidas por Planck y Einstein con el objeto de explicar la luz, también en la teoría de la estructura de los átomos propuesta por Rutherford. Además, Bohr superó la idea clásica del electrón que continuamente pierde energía (Serway y Jewett, 2009), postulando que los electrones en los átomos por lo general están confinados en ciertas órbitas estables de energía definida (niveles energéticos) no radiantes, conocidos como estados estacionarios.

Continuando con Bohr, este comprendía que su modelo era prácticamente un híbrido entre teorías clásicas y métodos cuánticos introducidos ad hoc para restringir el número de órbitas clásicas posibles (Muñoz- Burbano et al., 2020). Así, su trabajo permite determinar que un electrón emite la diferencia de energías en un fotón cuya frecuencia está dada por la relación de Einstein y Planck, es decir:

$$E = h\nu$$

Cuando cae desde una órbita de mayor energía a una de menor energía, a partir de lo anterior, se obtienen las líneas espectrales del átomo de hidrógeno: un protón en el centro y un electrón orbitando a su alrededor (Jou, 2012).

Ahora bien, el modelo de Bohr presentaba algunas limitaciones, puesto que solo era, válido para átomos con un solo electrón: hidrógeno, helio ionizado y el litio ionizado dos veces, en ausencia de campo magnético (Jou, 2012, p.8). Dados los problemas del modelo de Bohr y lo interesante que resultó, la comunidad científica se interesó por realizar investigaciones que esclarecieron este modelo o formulaban un modelo más completo.

Por otra parte, ya en lo referido al asunto didáctico, se ha puesto en discusión si enseñar o no en las aulas el modelo atómico de Bohr, esto debido a que algunos

investigadores lo consideran como un introductor erróneo a los conceptos del átomo, pero cabe aclarar que esto se da por no identificar las limitaciones del modelo y especificar que es un modelo transitorio hasta llegar al modelo final aprobado hoy por la comunidad científica (Solbes et al., 1987; Kalkanis, Hadzidaki y Stavrou, 2003; Solbes et al., 2010)

De esta manera, algunos aprecian al modelo de Bohr como un paso importante para definir la visión cuántica de los átomos, y en ese sentido, contribuir con el desarrollo histórico de los modelos de átomo y enlace químico, así como también, sus implicaciones didácticas, es decir, permite introducir de forma sencilla el concepto de estado, caracterizado por los valores definidos de unas magnitudes, la energía y el momento angular, además, permite ver que estas magnitudes no pueden tomar todos los valores posibles, sino que están cuantificadas por un número cuántico (Solbes et al., 2010).

Cabe destacar que, de acuerdo con la investigación didáctica enseñar el recorrido histórico de los modelos atómicos tiene un carácter motivador, asimismo, se ha comprobado que las relaciones de la ciencia con la tecnología y la sociedad produce actitudes positivas en el alumnado. Sin embargo, se enseña vagamente en las aulas de clases los modelos atómicos con sus respectivas limitaciones y no se imparte como estas permitieron trascender hasta llegar al modelo atómico cuántico del átomo. De este modo, muchos textos presentan los modelos como descripciones reales y correctas ignorando sus limitantes siendo estas útiles para el estudiante (Solbes et al., 2010).

2.2.4.2.3 Comportamiento Ondulatorio de la Materia. Louis de Broglie postula, a raíz de los planteamientos de Planck y Einstein, una hipótesis en la que sustentaba que las partículas podrían tener también propiedades de onda, así como la luz, una onda, tiene aspectos corpusculares. Broglie expone la idea de que a nivel macroscópico no es notorio el comportamiento de onda en los objetos de estudio de un experimento definido, pero si una partícula tiene una masa como la del electrón, el comportamiento de onda se vuelve suficientemente significativo, la longitud de onda se vuelve observable, lo que resulta en algunos fenómenos importante (Brown, 2009), lo anterior, Broglie lo relaciona mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda = h/mv$$

Donde, λ es la longitud de onda, h es la constante de Planck, y m es la masa de la partícula que viaja a una velocidad v . El valor predicho para la longitud de onda de un electrón que se mueva a una velocidad del orden de 10^6 m/s resulta comparable a la de los rayos X y cabe pensar en la posibilidad de detectar la existencia de dichas ondas. Para ello conviene recurrir a un fenómeno típicamente ondulatorio, como es la difracción. Para que ésta se produzca, es necesario encontrar obstáculos de dimensiones próximas a la longitud de onda del electrón. Este problema era análogo al que plantearon los rayos X en 1912. La solución de Von Laue fue recurrir a redes cristalinas. Sin embargo, los electrones plantean dificultades, dado que no pueden atravesar tan fácilmente un cristal como una radiación electromagnética, puesto que interactúan eléctricamente mucho con la materia. Por ello es necesario estudiar los electrones reflejados en superficies cristalinas. En 1927, utilizando dichas técnicas Davisson y Germer encontraron diagramas de manchas como los obtenidos con rayos X por Von Laue. Al estudiar los electrones transmitidos por hojas extremadamente finas G.P. Thomson obtuvo diagramas de círculos como los de Debye y Scherrer, obtenidos por transmisión de rayos X por láminas. Ambos mostraban con toda claridad la difracción de electrones (Solbes y Sinarcas, 2009 y 2010).

Así las cosas, cuando se enseña estructura de la materia en el nivel de básica media no se hace énfasis en el comportamiento ondulatorio de las partículas, siendo esta una problemática, dado que, se aborda el concepto de electrones y fotones como partículas clásicas, ignorando e interpretando erróneamente su característica dual, lo anterior evidencia la necesidad de redefinir a los electrones, protones y fotones como objetos nuevos con un comportamiento nuevo no abordados desde la física de la clásica (Feynman, 1971; Lévy-Leblond, 2003; Solbes y Sinarcas, 2015).

2.2.4.2.4 Relaciones de Indeterminación de Heisenberg. Los planteamientos realizados por de Broglie constituyen el fundamento de las relaciones de indeterminación de Heisenberg, quién desarrolló una versión (o un formalismo) de la mecánica cuántica denominada mecánica matricial, dicha teoría superó algunos de los problemas generados con la teoría del átomo de Bohr (Rioja, 1995). Es así como, las relaciones de indeterminación establecen que no es posible conocer simultáneamente y con precisión absoluta ciertos pares de magnitudes, especialmente, la posición y velocidad, o la energía y el tiempo.

De este modo, Heisenberg planteó que, si se realiza una medición de la posición con una desviación estándar Δx y una medición simultánea de la cantidad de movimiento en la dirección x con una Δp , entonces, el producto ambos errores absolutos nunca puede ser menor que $\hbar/2$ (García y Ewert, 2003, p. 138), es decir:

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$$

Lo anterior se conoce como relaciones de indeterminación, ya que cuestiona el determinismo newtoniano, el cual presupone la posibilidad de conocer con precisión y simultaneidad la posición y la velocidad de una partícula. Sin embargo, el determinismo no se cumple en el ámbito microscópico, aunque ~~los modelos deterministas~~ sigue siendo una buena aproximación en contextos macroscópicos (Jou, 2012).

Complementariamente, las relaciones de indeterminación fueron llamadas de forma errónea como principio de incertidumbre, que no existe como postulado de la mecánica cuántica, sino como consecuencia de estos (Solbes et al., 2018). Al respecto, estas relaciones de indeterminación de Heisenberg generan fuertes cuestionamientos a la física clásica, pues desde la mecánica clásica, el universo es concebido desde el pensamiento rígidamente causal y determinista, en el que no cabe la probabilidad o la indeterminación.

Así pues, dentro de los currículos escolares es poco probable que se aborde las relaciones de indeterminación, incluso los profesores del área de ciencias desconocen o conocen erróneamente dichas relaciones, o se lo aborda como el principio de incertidumbre, se ha llegado a concluir que se debe denominar relaciones de indeterminación y no principio de incertidumbre (Muñoz-Burbano, 2022) por los siguientes dos motivos:

- La incertidumbre hace referencia al desconocimiento sobre las cosas, como si hubiera algo oculto en la naturaleza, algo que se torna esquivo al conocimiento. Así, denominar principio de incertidumbre, puede incluso dar a lugar a interpretar como una limitación en la comprensión de este concepto (Lévy, 2003; Solbes, 2018)
- No es un principio, al no formar parte de los postulados de la mecánica cuántica que responden a preguntas básicas de la misma (Fanaro et al., 2007).

También, otros problemas en la enseñanza de esta temática, son los relacionados con la incomprensión que a nivel microscópico es imposible conocer dos magnitudes al tiempo

y no se lo relación como una consecuencia de la característica duales y cuánticas del electrón, protón, fotón, etc., además, se lo asocia inequívocamente al tamaño de la partícula, se considera que es difícil medir las magnitudes físicas por su tamaño, mas no se lo aborda de una manera probabilística (Solbes y Sinarcas, 2010).

Además, otros problemas que se ha llegado a notar es que si bien, para la Física actual la adopción de un modelo ondulatorio para las partículas es natural, para la enseñanza esto merece una atención especial y requiere de transposición didáctica adecuada, puesto que, no es familiar para los estudiantes (Fanaro et al., 2007).

2.2.4.2.5 Modelo Cuántico del Átomo de Schrödinger. Schrödinger en su estudio trataba de entender y buscar una ecuación que explique el comportamiento de un electrón cuando está sometido a una fuerza. En el primer artículo de 1926 Schrödinger introdujo una función que denominó *función de ondas o función de estado* Ψ . Así como la ecuación de un movimiento se obtiene a partir de la ecuación de Newton, para obtener la función de estado desconocida, debe resolverse una ecuación, denominada *ecuación de Schrödinger*. En general, hay diversas funciones posibles correspondientes a distintos valores de la energía que son soluciones de esta ecuación. En el 2º la aplicó al átomo de hidrógeno. En el 3º obtuvo la ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo. Pero esta función planteó el problema de determinar su significado. Schrödinger consideró que el electrón era una onda, difundida en el átomo. En 1926 teniendo en cuenta que la intensidad de una onda luminosa es proporcional al cuadrado de la amplitud del campo eléctrico y que según Einstein es proporcional al número de fotones por unidad de tiempo y de superficie, Born señaló que el cuadrado de la amplitud es proporcional al número de fotones. Por analogía con la luz, Born pensó que $|\Psi(r,t)|^2$ es la probabilidad por unidad de volumen de encontrar al electrón (Solbes y Sinarcas, 2009 y 2010).

Si aplicamos la ecuación de Schrödinger a un sistema ligado, como un electrón en un átomo, aparece la discontinuidad en los valores posibles de la energía, encontrándose los mismos niveles energéticos que Bohr había calculado. Pero estos niveles permitidos de energía surgen como consecuencia del carácter ondulatorio del electrón y no ligados a la supuesta existencia de órbitas electrónicas que carecen de sentido. En efecto, en vez de órbitas, la ecuación de ondas nos proporciona funciones de onda estado Ψ que poseen una

combinación de los números cuánticos n , l , m_l que describen el orbital y no como las orbitas de Bohr que dependen solamente del número cuántico principal. . u *orbitales atómicos*, caracterizadas no sólo por el número cuántico principal n , como las órbitas de Bohr, sino por tres (n , l , m_l), L es el número cuántico orbital y m_l el magnético, que cuantifican los valores de la energía E , del momento angular L y de la componente Z del momento angular respectivamente.

En efecto, en vez de órbitas, la ecuación de ondas nos proporciona funciones de onda estado Ψ que poseen una combinación de los números cuánticos n , l , m_l que describen el orbital y no como las orbitas de Bohr que dependen solamente del número cuántico principal. L siendo el número cuántico orbital y cuantifica el momento angular L y m_l el magnético que cuantifican la componente Z del momento angular.

Sin embargo, con ellos no se puede explicar el número de electrones en cada nivel. Por eso Wolfgang Pauli introdujo en 1925 un cuarto número cuántico m_s que sólo podía tomar 2 valores y el principio de exclusión de Pauli, según el cual los electrones de un átomo no pueden estar en el mismo estado, es decir, no pueden tener los mismos números cuánticos n , l , m_l , m_s . (Solbes y Sinarcas, 2010; Solbes, Silvestre y Furió, 2010).

Ahora bien, la ecuación de Schrödinger no solo se puede utilizar para los átomos, sino que puede aplicarse a una gran variedad de sistemas físicos, utilizando aproximaciones, por ejemplo, átomos de varios electrones, enlaces entre átomos para formar moléculas o cristales, movimiento de electrones en metales y semiconductores, interacción entre imanes microscópicos en materiales magnéticos, colisiones entre partículas elementales, átomos o moléculas.

Por otra parte, en el ámbito educativo, concretamente en el sistema educativo colombiano, tanto para la educación básica y media se trabaja la estructura del átomo, pero se ignora su base cuántica, olvidando que esta es necesaria para comprender la estructura electrónica de los átomos, el ordenamiento periódico y los enlaces de las moléculas, todos estos conocimientos ayudarán a tener una visión más adecuada sobre qué es las ciencias en el aula y las aplicaciones que tiene en la vida cotidiana de los estudiantes (Muñoz-Burbano, 2020).

Capítulo 3. Diseño Experimental para Comprobar la Primera Hipótesis

La tesis se abordó desde un paradigma mixto, en cual se articularon metodologías cualitativas y cuantitativas para la obtención de evidencias, comprensión integral de los fenómenos, combinación entre los enfoques, métodos o lenguajes cualitativo y cuantitativo, razón por la que se utilizaron estrategias variadas para atender las hipótesis (causales) y con ellas las distintas preguntas que les configuran, facilitando con ello el desarrollo de los conocimientos teóricos y prácticos (Pérez, 2011).

De esta manera, se consideró pertinente combinar enfoques cualitativos y cuantitativos, en consonancia con lo planteado por Mertens (2007), quien señala que lo cualitativo permite recopilar las perspectivas de la comunidad en cada etapa del proceso investigativo, mientras que la dimensión cuantitativa posibilita sistematizar ciertos patrones y tendencias en los datos mediante representaciones numéricas que facilitan su análisis. Esta complementariedad metodológica permite abordar la problemática desde su complejidad y contribuir a la construcción situada de conocimiento.

De acuerdo con lo anterior, el presente trabajo doctoral tiene un enfoque pragmático, en donde el conocimiento tiene funcionalidad práctica en el mundo, además de la posición dialéctica que este asume para la comprensión integral de los fenómenos. Con relación a los participantes, no se asignó de forma aleatoria a los sujetos para trabajar con ellos, los grupos se conformaron y su muestreo fue intencional, de acuerdo con las necesidades del trabajo doctoral, con la intención de obtener una muestra más o menos representativa de la población; así, la investigadora constituyó una imagen general de la composición de la población, eligiendo la muestra con la que se haya minimizado los sesgos, asimismo, poder acceder y obtener de ellos la información requerida, con la intención de descubrir un significado o reflejar realidades múltiples (Hueso y Cascant, 2012).

El diseño metodológico se organizó a partir de las hipótesis, con cada uno de sus objetivos específicos, a continuación, se presentan los diseños referidos a las hipótesis referenciadas.

3.1 Objetivos Específicos Primera Hipótesis

La primera hipótesis expresa que: la enseñanza de los CDC de la estructura atómica en las licenciaturas no tiene en cuenta la teoría cuántica ni las últimas aportaciones de la didáctica.

Los objetivos específicos relacionados con la primera hipótesis fueron:

- Analizar los Proyectos Educativos de Programa PEP (lo que en España se conoce como plan de estudios) de los programas de formación de licenciados en ciencias naturales en Colombia, para evidenciar el peso de los contenidos disciplinares, pedagógicos y didácticos del contenido.
- Analizar los documentos curriculares o microcurrículos (similares a las guías docentes) relacionados con la enseñanza de la estructura atómica de la materia involucrados en el proceso de formación de licenciados en ciencias naturales en Colombia.
- Determinar el papel que los profesores de las licenciaturas en ciencias naturales en Colombia asignan a la enseñanza de la estructura atómica de materia.

3.2. Diseño para Análisis del Proyecto Educativo del Programa PEP

El diseño de análisis documental para el Proyecto Educativo del Programa (PEP) se fundamentó en la necesidad de responder al primer objetivo específico de esta investigación: analizar los Proyectos Educativos de Programa (PEP) de los programas de formación de licenciados en ciencias naturales en Colombia para evidenciar el peso de los contenidos disciplinares, pedagógicos y didácticos del contenido.

Así pues, para el desarrollo de este análisis se seleccionaron intencionalmente cinco programas de licenciatura en ciencias naturales (Anexo B) representativos del contexto nacional, los cuales se codificaron de la siguiente manera a partir de su universidad de origen: U1, U2, U3, U4 y U5. Estos cinco programas representaron una tercera parte del total de los programas de licenciatura en ciencias naturales y educación ambiental en el país. La selección de los programas respondió a criterios de accesibilidad y diversidad regional, asegurando una representación balanceada de las características de los programas de formación de profesores en Colombia.

Así, para la revisión de los documentos, se elaboró una Guía de Análisis Documental (ver Tabla 3.1), en la que se abordan aspectos relacionados a los Conocimientos Base del Profesorado, fundamentados en Shulman (1987), Koehler y Mishra (2009), Zabalza (2007) y Coll et al. (1992). Se contempla aspectos, como la distribución del peso de los contenidos disciplinares, pedagógicos, didácticos y de práctica (*ítem 1*), identificando similitudes y diferencias en sus estructuras curriculares.

Asimismo, se analizaron el número y origen demográfico de los estudiantes (*ítem 2*), los recursos físicos y digitales disponibles para la enseñanza (*ítem 3*), la organización del espacio de aprendizaje (*ítem 4*) y las estrategias didácticas utilizadas, con especial énfasis en la enseñanza de la estructura atómica (*ítem 5*). También se estudiaron los métodos de evaluación aplicados (*ítem 6*), las competencias que los estudiantes debían desarrollar al finalizar el programa (*ítem 7*), el impacto esperado del programa en la sociedad (*ítem 8*) y si se tiene en cuenta los contenidos de la estructura atómica y en qué porcentaje (*ítem 9*).

Tabla 3.1.

Guía de Análisis Documental para el Proyecto Educativo del Programa PEP. *Fuente: basado en: Shulman, 1987; Koehler y Mishra, 2009; Zabalza, 2007; Coll et al., 1992*

Guía de Análisis Documental para el Proyecto Educativo del Programa PEP	
1. Peso en porcentaje de los contenidos disciplinares, pedagógicos, didácticos, y de práctica. ¿Qué peso tienen los contenidos disciplinares, pedagógicos, didácticos, y de práctica en el programa?	
• Porcentaje de asignaturas que hacen parte del componente disciplinar. • Porcentaje de asignaturas que hacen parte del componente pedagógico. • Porcentaje de asignaturas que hacen parte del componente didáctico del contenido • Porcentaje de asignaturas que hacen parte del componente de práctica.	
2. Contexto Población estudiantil: ¿Cuántos estudiantes hay? ¿Cuál es su origen demográfico?	
• Diversidad cultural, étnica y socioeconómica.	
3. Contexto. Recursos disponibles: ¿Qué recursos físicos y digitales están disponibles para la enseñanza?	
• Infraestructura física y tecnológica disponible para el aprendizaje.	
4. Principios de gestión y organización del aula: ¿Cómo se organiza el espacio de aprendizaje?	

- Estrategias para crear un ambiente inclusivo y colaborativo.
- Gestión del tiempo y del espacio en el aula.

5. Metodologías de enseñanza: ¿Qué estrategias didácticas se utilizan para enseñar la enseñanza?

- Técnicas didácticas empleadas.
- Uso de tecnología educativa u otros

6. Estrategias de evaluación: ¿Cómo se evalúan los conocimientos adquiridos por los estudiantes?

- Diversidad en los tipos de evaluaciones utilizadas para medir el aprendizaje.

7. Perfil de formación: ¿Qué competencias deben desarrollar los estudiantes al finalizar el programa?

- Competencias que los estudiantes deben desarrollar durante el programa.

8. Objetivo social de la formación: ¿Cuál es el impacto esperado de este programa en la sociedad?

- Contribución del programa a las necesidades de la comunidad y sociedad en general.

9. Detalles curriculares sobre la estructura atómica. ¿Se incluyen contenidos sobre la estructura atómica en el plan de estudios? Si es así, ¿qué porcentaje del currículo disciplinar está dedicado a estos temas?

Este diseño facilitó la comprensión de cómo cada institución aborda la formación de futuros docentes en ciencias naturales. Además, se identificaron las similitudes y diferencias entre los programas.

3.3 Diseño para Analizar los Documentos Curriculares (Microcurrículos) Relacionados con la Enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia

Para alcanzar el objetivo de analizar los documentos curriculares o microcurrículos (similares a las guías docentes) relacionados con la enseñanza de la estructura atómica de la materia en la formación de licenciados en ciencias naturales en Colombia, se propone, en primer lugar, una revisión centrada en el plan de estudios. Esta revisión permite identificar los cursos de química, física y didáctica de las ciencias incluidos en los semestres de formación.

Posteriormente, se lleva a cabo la búsqueda de los microcurrículos correspondientes. Es importante señalar que algunos de estos documentos estaban disponibles en las páginas web de los programas, mientras que, para otros, fue necesaria una solicitud formal. No

obstante, a pesar de dicha solicitud, la información no se proporcionó en su totalidad ni se encontraba actualizada, lo que evidencia cierta restricción en el acceso a estos documentos.

El análisis preliminar se realiza con base en la rejilla indicada en la Tabla 3.2, con el propósito de identificar aquellos cursos que aborden la temática de la estructura atómica en su proceso de formación.

Tabla 3.2.

Rejilla de análisis para selección de cursos que aborden la temática de estructura atómica

Microcurr ículo del curso	Temát ica gener al	Aborda la temática estructur a atómica: lo hace, parcialm ente, no lo hace	Observaci ones	Actividad académica del estudiante			
				No. de Crédi tos	Horas Seman ales	Horas presenci ales	Horas trabajo independi ente

La rejilla permite captar la información correspondiente al nombre del curso, las temáticas generales abordadas, con especial atención a la presencia de los contenidos relacionados con la estructura atómica. Este apartado permitió clasificar los cursos según su nivel de tratamiento de la temática, utilizando las categorías: "lo hace", "parcialmente", y "no lo hace". Este análisis fue esencial para identificar los cursos que contemplaban esta temática y luego poder aplicar la rejilla de análisis que se presentara más adelante.

Además, con la rejilla (Tabla 3.2.) se recopila aquella información correspondiente a las horas académicas: se especificaron los datos cuantitativos relacionados con la carga académica de cada curso:

- Número de Créditos: indicó la relevancia del curso dentro del plan de estudios.
- Horas Semanales: reflejó la intensidad del curso.
- Horas Presenciales y de Trabajo Independiente: permitieron valorar el equilibrio entre las actividades guiadas y el aprendizaje autónomo de los estudiantes.

Ahora bien, esta rejilla permitió establecer qué cursos abordan la estructura atómica, además de las comparaciones entre los programas y correlacionar los hallazgos con la hipótesis planteada.

Una vez realizado este proceso, se procede al diseño de la rejilla de análisis destinada a estudiar los microcurrículos de los cursos o asignaturas directamente relacionados con la enseñanza de la estructura atómica de la materia. Este diseño se enfocó en identificar y evaluar cómo estos contenidos se integran en las asignaturas de los programas de licenciatura en ciencias naturales, particularmente, en los cursos de física, química y didáctica específica y en qué medida están alineados con los avances de la ciencia moderna, como la teoría cuántica.

La rejilla de análisis de microcurrículos se basó en el modelo desarrollado por Muñoz-Burbano (2020) y fue adaptada para atender específicamente las necesidades de la tesis doctoral, este instrumento incluyó dos componentes principales:

El primero, elementos de identificación, los que proporcionaron información básica y estructural de cada microcurrículo, incluyendo:

- Institución: nombre de la universidad donde se ofrece el programa.
- Denominación del programa: título del programa académico de licenciatura.
- Facultad: dependencia académica encargada del programa.
- Nombre de la asignatura: identificación específica del curso en análisis.
- Semestre en el que se imparte: periodo dentro del plan de estudios en el que se ofrece el curso.
- Créditos: valor académico asignado a la asignatura.
- Intensidad horaria: total de horas distribuidas entre sesiones presenciales y trabajo autónomo.

El segundo, elementos de desarrollo, los que permitieron evaluar de manera cualitativa en qué medida los microcurrículos abordan los contenidos relacionados con la estructura atómica, utilizando una escala que diferenció tres niveles de integración:

- No lo hace: el contenido relacionado con la estructura atómica no está presente en el microcurrículo.

- Lo hace tangencialmente/subyace en el programa: el tema se menciona de manera indirecta o se aborda de forma secundaria.
- Lo hace y se evidencia explícitamente: el contenido está claramente identificado, desarrollado y explícitamente presente en el microcurrículo.
- Observaciones: comentarios cualitativos sobre cómo se presenta y desarrolla la temática en el curso.

Por lo tanto, teniendo en cuenta lo enunciado, la rejilla de análisis de microcurrículos para la estructura atómica (Tabla 3.3), aplicada exclusivamente a aquellos que efectivamente la abordan, es la siguiente:

Tabla 3.3.

Rejilla de análisis de micro- currículos para la estructura atómica (adaptado de Muñoz-Burbano, 2020)

Nombre de la asignatura				
Semestre en que se imparte				
Créditos				
Intensidad horaria				
Análisis curricular		Síntesis del Investigador		
Metodología que describe				
Evaluación propuesta				
Bibliografía Propuesta				
No	Ítem	No lo hace	Lo hace Tangencial/	Lo hace
1.	¿Se explica la crisis de la física clásica?			
2.	¿El efecto fotoeléctrico se explica mostrando una ruptura con la teoría cuántica?			
3.	¿Se diferencia claramente que los modelos de Thomson y Rutherford son clásicos, Bohr y Sommerfeld son pre-cuánticos y Schrödinger es cuántico?			
4.	¿Se abordan las limitaciones de cada uno de los modelos atómicos?			
5.	¿Introduce las relaciones de indeterminación?			
6.	¿El electrón se explica como un objeto cuántico, que exige una nueva descripción?			

7.	¿Se introducen los niveles de energía los números cuánticos n, l, m como solución de la ecuación de Schrödinger?			
----	--	--	--	--

Cabe destacar que, los elementos de desarrollo se centraron en identificar: la profundidad y claridad con la que se aborda la estructura atómica en el currículo; la presencia de enfoques didácticos que incorporen conceptos de la teoría cuántica y otras aportaciones de la ciencia moderna; y la relación entre los contenidos y las competencias que buscan desarrollar en los estudiantes.

Así pues, en lo referido a la relación con la hipótesis y el objetivo en cuestión, este diseño contribuyó directamente a la evaluación de la hipótesis central, que sostiene que "la enseñanza de los CDC de la estructura atómica en las licenciaturas no tiene en cuenta la teoría cuántica ni las últimas aportaciones de la didáctica." Al aplicar esta rejilla, se logró identificar si los contenidos relacionados con la estructura atómica estaban presentes, cómo se desarrollaban y en qué medida reflejaban los avances modernos en la enseñanza de la ciencia. Además, el instrumento permitió cumplir con el segundo objetivo específico al: analizar los documentos curriculares relacionados con la enseñanza de la estructura atómica.

3.4 Cuestionario para el Profesorado

El cuestionario para el profesorado fue diseñado específicamente para dar respuesta al Objetivo 3: Determinar el papel que los profesores de las licenciaturas en ciencias naturales en Colombia asignan a la enseñanza de la estructura atómica de la materia. Este instrumento permitió comprobar la Hipótesis 1, que planteaba que la enseñanza de los CDC de la estructura atómica en las licenciaturas no tenía en cuenta la teoría cuántica ni las últimas aportaciones de la didáctica, además, exploró cómo los profesores valoran e integran los conceptos de la estructura atómica y los enfoques cuánticos en su enseñanza, así como las estrategias didácticas que emplean y las dificultades que enfrentan.

Ahora bien, cabe mencionar que para la selección de los participantes se realizó un muestreo incidental para conformar un grupo de profesores representativo de los programas de licenciatura en ciencias naturales seleccionados (LIC). Los criterios de inclusión garantizaron la pertinencia y calidad de los datos recolectados:

1. Orientación de asignaturas relevantes: profesores que enseñan cursos relacionados con física y química en los programas de licenciatura analizados.
2. Vinculación laboral: profesores formalmente asociados con las instituciones seleccionadas.
3. Disponibilidad y acceso: profesores que participaron en las sesiones de aplicación del instrumento.
4. Consentimiento informado: participantes que firmaron una carta de aval y consentimiento informado (Anexo C), asegurando su comprensión y aceptación de la finalidad del cuestionario.
5. Condiciones adecuadas: profesores en pleno uso de sus facultades cognitivas y físicas para completar el cuestionario.
6. Compromiso con el objetivo: profesores que demostraron entender el propósito del instrumento y su relevancia para la investigación.

En este sentido, Para obtener resultados acordes al objeto de la presente investigación, fue necesario definir algunas características de la población a la cual se realizó la aplicación del instrumento. Esa población está compuesta por docentes en ejercicio de diversas universidades, tanto públicas como privadas, que imparten asignaturas de física o química en programas de formación relacionados con la enseñanza de las ciencias, como física, química, licenciaturas en ciencias naturales y educación ambiental, ingenierías, entre otros. Esto, con el propósito de obtener respuestas de profesores que, de alguna manera, tengan experiencia en la enseñanza de temas relacionados con la estructura atómica, garantizando así que los resultados obtenidos mediante el instrumento aplicado sean relevantes y significativos.

En este sentido, algunas de las características definidas para la muestra fueron:

Ámbito de enseñanza: definir un criterio de selección en este aspecto, es significativo puesto que, la participación de profesionales que se relacionen con la enseñanza de las temáticas de teoría cuántica brinda fiabilidad en las respuestas debido a que se estima que poseen un conocimiento sobre la estructura del átomo, que es el foco central de esta investigación. Además, teniendo en cuenta que la enseñanza de las ciencias se enlaza de

manera significativa con la formación de futuros científicos, ingenieros y profesores, el hecho de generar un criterio de selección de acuerdo con el ámbito de enseñanza hace que sus enfoques didácticos y de contenidos enseñados sean pertinentes para el análisis de los resultados de esta investigación (Gámez et al., 2014).

Por otro lado, los docentes universitarios suelen tener experiencia en una variedad de métodos de enseñanza, desde clases teóricas hasta prácticas de laboratorio y proyectos de investigación, lo que permitió obtener una perspectiva amplia y diversa, en las respuestas consignadas en el instrumento aplicado.

Otro criterio de selección fue la experiencia de los profesores. Se optó por aquellos que cuentan con una trayectoria significativa en la enseñanza de las ciencias a nivel universitario. Esta elección es pertinente para la aplicación del instrumento, porque puede tener un punto de vista comprensivo y claro de la materia, lo que seguramente le ha permitido transformar el contenido disciplinar y las estrategias que ha utilizado para su aprendizaje Shulman (1986). La experiencia acumulada por estos docentes les permite desarrollar una mayor experticia en su práctica educativa, así como enfrentar y superar diversos desafíos relacionados con la enseñanza de conceptos complejos, como la teoría cuántica

También se tomó en cuenta la diversidad institucional: incluir docentes de universidades públicas y privadas fue un criterio para obtener una visión completa y equilibrada de las prácticas y desafíos en la enseñanza de la estructura del atómica. La diversidad institucional garantiza que la investigación capte una variedad de contextos educativos, recursos disponibles, enfoques didácticos y desafíos específicos que pueden influir en la forma en que se enseñan en física y química.

Por ejemplo, las universidades privadas pueden tener la flexibilidad de adoptar y experimentar con enfoques didácticos innovadores debido a que las restricciones administrativas son menores. Por otro lado, las universidades públicas, debido a su tamaño y estructura, pueden tener métodos más tradicionales y establecidos, que se han venido trabajando por un tiempo considerable y que en cierta medida no se han actualizado por considerarse que han sido exitosos en la formación de los estudiantes (Mayab, 2024).

Otro de los aspectos, por el cual se considera relevante el tener una diversidad institucional como característica de la población consultada es el que las Universidades públicas y privadas tienen una diferencia muy notoria en el acceso a la tecnología y recursos educativos, siendo las privadas las que en la mayoría de los casos suelen contar con laboratorios mejor equipados y acceso a tecnologías avanzadas, que pueden facilitar la enseñanza de conceptos prácticos y experimentales relacionados con la estructura del átomo (OECD, 2016)

En contraste, aunque las universidades públicas tengan un acceso a materiales didácticos limitado, hace que los docentes fortalezcan sus habilidades de ser creativos y eficientes en el uso de los recursos disponibles, logrando con ello, desarrollar espacios de enseñanza que se inspiran en la relevancia de los contenidos con la vida cotidiana (Mayab, 2024; Martínez et al., 2019)

En este sentido, el cuestionario fue estructurado en cinco *ítems* (Tabla 3.4.) que abordan aspectos clave de la enseñanza de la estructura atómica. Cada *ítem* fue diseñado para recolectar información detallada sobre las prácticas, percepciones y desafíos enfrentados por los profesores.

Tabla 3.4.

Cuestionario de profesores basado en el cuestionario red de análisis de Muñoz (2020)

Consentimiento Informado
Estás siendo invitado(a) a participar en una encuesta como parte de una investigación titulada "Conocimiento didáctico del contenido sobre la estructura atómica en profesores en formación en ciencias naturales de Colombia" que se desarrolla en el marco de los estudios doctorales en Ciencias de la Educación RUDECOLOMBIA Universidad de Nariño y Doctorado en Investigación en Didácticas específicas (Ciencias Experimentales) de la Universidad de Valencia. El propósito de esta encuesta es determinar el papel que los profesores de las licenciaturas en ciencias naturales asignan a la enseñanza de la estructura atómica. La participación en esta encuesta es completamente voluntaria. Tienes la libertad de decidir si deseas participar o no. Si decides no participar o si en cualquier momento durante la encuesta decides retirarte, no enfrentarás ningún tipo de consecuencia ni perjuicio. Tu decisión no afectará ninguna relación presente o futura con la institución o los investigadores involucrados en el estudio.

Si aceptas participar, se te pedirá que completes una encuesta digital que consta de preguntas relacionadas con los contenidos que se desarrollan, la importancia de la enseñanza, dificultades e indicadores que el profesor utiliza para favorecer el aprendizaje de la estructura del átomo. Las preguntas serán de tipo abierto. El tiempo estimado para completar la encuesta es de aproximadamente [30] minutos.

Toda la información proporcionada en esta encuesta será tratada de manera confidencial. Tus respuestas serán analizadas de forma agregada y anónima, y no se revelará ninguna información que pueda identificarte individualmente. Los resultados del estudio se utilizarán con fines académicos y podrían presentarse en informes o publicaciones, pero tu anonimato se mantendrá en todo momento.

Si tienes alguna pregunta sobre la encuesta, puedes comunicarte con María Alejandra Narváez Gómez al email: alejanarvaez27@gmail.com.

Al continuar con esta encuesta, confirmas que has leído y comprendido la información proporcionada en este consentimiento informado. Aceptas participar de manera voluntaria en la encuesta y otorgas tu consentimiento para el uso de los datos recopilados con fines de investigación académica.

Si estás de acuerdo en participar, haz clic en la casilla de verificación a continuación. Si no deseas participar, simplemente cierra esta ventana sin hacer clic en la casilla.

Te agradecemos por tu tiempo y contribución a este estudio.

Sí ____

Preguntas de identificación

Título de pregrado:

Si tiene título de posgrado, por favor Mencíónelos a continuación:

Universidad a la cual pertenece (trabaja):

Programa académico al cual pertenece:

Escriba los cursos que imparte, en relación con las áreas de Química y Física dentro del programa de Licenciatura en Ciencias Naturales (si aplica):

ÍTEM	CUESTIÓN
ÍTEM 1	¿Qué contenidos desarrolla en el tema de estructura del átomo con sus estudiantes?
ÍTEM 2	¿Es importante enseñar conceptos cuánticos en estructura del átomo a los docentes en formación en ciencias naturales? ¿Por qué?
ÍTEM 3	¿Cuáles cree que son las principales dificultades que pueden tener con los maestros en formación a la hora de tratar en clase el tema de estructura del átomo?

ÍTEM 4	¿Qué indicadores utiliza para averiguar que el estudiante ha comprendido el tema de estructura del átomo?
ÍTEM 5	¿Qué métodos de enseñanza emplearía para favorecer el aprendizaje de la estructura del átomo?

En cuanto a los criterios de corrección del *ítem* podemos establecer los siguientes:

Ítem 1 ¿Qué contenidos desarrolla en el tema de estructura del átomo con sus estudiantes?: Este *ítem* permitió identificar si los profesores abordaban los modelos atómicos clásicos, pre-cuánticos o cuánticos, evaluando la profundidad y relevancia de los contenidos tratados.

Se espera que los profesores establezcan criterios en:

1. Clásico. Hace referencia únicamente a los modelos atómicos, sin distinguir entre la mecánica clásica y la Teoría Cuántica. (Muñoz-Burbano, 2020)
2. Pre-cuántico, además de los conceptos relacionados con los modelos atómicos clásicos, se pone especial énfasis en los aportes de la cuantización del modelo de Bohr. (Muñoz-Burbano, 2020)
3. Cuántico. Cuando se mencionan conceptos relacionados con la teoría cuántica, como por ejemplo la crisis de la mecánica clásica, la naturaleza dual de la luz y la materia, las relaciones de indeterminación y la ecuación de Schrödinger (Muñoz-Burbano, 2020).

Ítem 2 ¿Es importante enseñar conceptos cuánticos en la estructura del átomo a los profesores en formación en ciencias naturales? ¿Por qué?: Este *ítem* exploró las percepciones de los profesores sobre la relevancia de incluir conceptos cuánticos en su enseñanza y la solidez de sus argumentos al respecto.

Se espera que los profesores establezcan criterios en:

1. Sí, y argumenta las razones conceptuales dado que el desarrollo de las teorías de la física moderna y la cuántica son las que estructuran el modelo atómico actual.
2. Sí, pero no hay una argumentación clara al respecto desde la teoría cuántica

3.No, no lo considera importante.

Ítem 3 ¿Cuáles cree que son las principales dificultades que pueden tener con los maestros en formación a la hora de tratar en clase el tema de estructura del átomo?: Este *ítem* permitió identificar las barreras más comunes en la enseñanza, clasificándolas según su origen: en los estudiantes, en los contenidos o en los propios profesores.

Se espera que los profesores establezcan criterios en:

- 1.Origen en el estudiante. Concepciones, creencias o ideas erróneas de los estudiantes.
- 2.Origen en el saber. Conceptos abstractos (todo surge desde un proceso de imaginación, de aproximaciones desde las soluciones matemáticas)-complejidad en el saber,
- 3.Origen en el profesor. Falta de formación en las diferentes áreas de las ciencias básicas (matemáticas, física, química).
4. No reconoce ninguna dificultad

Ítem 4 ¿Qué indicadores utiliza para averiguar que el estudiante ha comprendido el tema de estructura del átomo?: Este *ítem* analizó las estrategias utilizadas para evaluar la comprensión de los estudiantes, desde métodos tradicionales hasta actividades experimentales y proyectos.

Se espera que los profesores establezcan criterios en:

1. Evaluación tradicional. Pruebas escritas u orales para evaluar el conocimiento del estudiante sobre los conceptos clave relacionados con la estructura atómica
 - Resolución de problemas relacionados con la estructura del átomo y observación de cómo aplican sus conocimientos para resolverlos.
 - Participación del estudiante durante las clases evidenciando interés en el tema, y elaborando preguntas conceptuales y prácticas.
2. Actividades experimentales. Se propone actividad en el laboratorio de docencia en la que el estudiante tiene la posibilidad de interactuar con la teoría y prácticas.

3. Actividades simuladas. Se propone actividad con simuladores en la que el estudiante tiene la posibilidad de interactuar con la teoría y prácticas.

4. Proyectos o problemas. Se propone el diseño, desarrollo y presentación de un proyecto que atienda a una situación específica en la que el estudiantado puede hacer uno de la teoría para interpretar y explicar lo observado en el resultado del proceso- (artefacto)

Ítem 5 ¿Qué métodos de enseñanza emplearía para favorecer el aprendizaje de la estructura del átomo?: Este *ítem* investigó las estrategias didácticas preferidas por los profesores, clasificándolas en enfoques históricos, convencionales o tecnológicos.

Se espera que los profesores establezcan criterios en:

1. Histórica: cuando las respuestas correspondan a énfasis en el aporte de la Historia de la ciencia a la enseñanza, quiebre epistemológico entra clásica y cuántica. (Muñoz -Burbano, 2020)

2. Convencional: cuando los profesores relacionan estrategias y recursos de uso generalizado para la temática, tales como ver videos, analogías, comparaciones, maquetas, Prácticas simples de laboratorio, entre otras. (Muñoz -Burbano, 2020)

3. Con tecnologías digitales. Cuando en los entornos de aprendizaje se incorporan actividades con aplicaciones interactivas, realidad aumentada, simulaciones, realidad virtual y creación de videos.

Es pertinente señalar que el cuestionario fue validado por un panel de expertos en didáctica de las ciencias, quienes evaluaron la claridad, relevancia y pertinencia de cada *ítem*. La validación incluyó la revisión intersubjetiva para garantizar la validez de contenido (Corral, 2009) y la adaptación basada en el cuestionario utilizado en la tesis doctoral de Muñoz-Burbano (2020), asegurando su adecuación al contexto de la investigación.

Además, se estableció una rúbrica de interpretación que permitió categorizar y analizar las respuestas obtenidas, alineándolas con los objetivos de la investigación. Los criterios de valoración incluyeron:

1. Profundidad conceptual: nivel de comprensión de los conceptos relacionados con la estructura atómica.
2. Adecuación didáctica: estrategias empleadas para transformar los contenidos en herramientas pedagógicas.
3. Perspectiva innovadora: integración de conceptos modernos y herramientas tecnológicas en la enseñanza.

Se enviaron los cuestionarios a todos los profesores vinculados a los cinco programas seleccionados mediante diversos canales de comunicación: correo electrónico institucional, mensajería por WhatsApp y redes sociales académicas. A pesar de haberse agotado todas las estrategias posibles para alcanzar a la totalidad del cuerpo docente, se obtuvo respuesta únicamente de un grupo representativo de profesores. Esta muestra respondió de manera voluntaria y anónima, lo cual permitió consolidar una base de datos significativa para el análisis.

Capítulo 4. Resultados Primera Hipótesis

En este apartado se presentan los resultados del análisis documental para el Proyecto Educativo del Programa (PEP) que se fundamentó en la necesidad de responder al primer objetivo específico de esta investigación: analizar los (PEP) de los programas de formación de licenciados en ciencias naturales en Colombia para evidenciar el peso de los contenidos disciplinares, pedagógicos y didácticos del contenido.

Por consiguiente, el análisis consideró el marco normativo y conceptual que fundamentaba los Proyectos Educativos del Programa (PEP) en Colombia, este marco incluyó la Ley General de Educación (Ley 115 de 1994), que establece la importancia de una formación integral, y la Política Nacional de Educación Ambiental (Ley 99 de 1993), que promueve la integración de la dimensión ambiental en todos los niveles educativos. Además, se contemplaron los requisitos establecidos por la Ley 1188 de 2008 y su Decreto Reglamentario 1295 de 2010, los cuales delineaban estándares de calidad para la educación superior, tales como la coherencia curricular, el diseño integral de los programas y la vinculación efectiva con el entorno.

Así, de acuerdo con el MEN (2015) el PEP es en el contexto de la educación superior de pregrado en Colombia, un documento fundamental que establece la planeación, intencionalidad educativa, estructura curricular, y lineamientos operativos de un programa académico específico ofrecido por una institución de educación superior; este documento es relevante no solo para la creación y acreditación de programas académicos, sino también, para su desarrollo, evaluación y mejora continua.

En coherencia con lo anterior, los componentes principales de los PEP en Colombia (MEN, 2015) son:

La Identidad del Programa Educativo: este componente define la misión, visión, principios y valores del programa, se centra en la razón de ser del programa, sus objetivos a largo plazo y los valores que promueve, permitiendo una clara dirección y sentido de pertenencia tanto para estudiantes como para docentes y personal administrativo.

Contexto Institucional y Externo: analiza el entorno socioeconómico, cultural, político y ambiental en el que se inscribe el programa, justamente en este componente se manifiesta la garantía de que el programa sea relevante y responda a las necesidades y

desafíos de su contexto inmediato y más amplio, promoviendo la responsabilidad social y ambiental.

Estructura Curricular y Plan de Estudios: define la organización de los contenidos, competencias, resultados de aprendizaje, metodologías y didácticas, en este componente se asegura la coherencia y articulación de los procesos de enseñanza-aprendizaje, incluyendo la secuencia de asignaturas, créditos académicos, prácticas y opciones de profundización o énfasis.

Estrategias Metodológicas: se refiere a las técnicas, estrategias, enfoques y herramientas que se emplearán para facilitar el aprendizaje, estas deben ser coherentes con los objetivos y resultados de aprendizaje y las necesidades de los estudiantes.

Sistema de Evaluación: detalla los mecanismos y criterios para evaluar tanto el desempeño estudiantil como la calidad y eficacia del programa en sí; mediante este componente se garantiza la mejora continua del proceso educativo, incluyendo la evaluación formativa y sumativa de los estudiantes, así como, la autoevaluación y acreditación del programa.

Gestión Institucional: incluye los aspectos administrativos y de gestión necesarios para el adecuado funcionamiento del programa. Abarca desde la asignación de recursos financieros y físicos hasta la gestión del talento humano, pasando por la implementación de políticas institucionales que aseguren el cumplimiento de los objetivos educativos.

Bienestar Estudiantil: se enfoca en las estrategias y servicios de apoyo al estudiante para promover su desarrollo integral y bienestar durante el proceso formativo.

Vinculación con el Entorno: describe las estrategias y acciones diseñadas para integrar el programa educativo con la comunidad y el sector productivo.

Así, el PEP es, por tanto, un instrumento de complejidad que integra diversos aspectos del proceso educativo, desde su concepción filosófica hasta su implementación práctica, asegurando que la educación impartida sea relevante, de calidad y orientada al desarrollo integral de los estudiantes y al mejoramiento de su entorno.

Para finalizar, en caso particular de las ciencias naturales el PEP se fundamenta en el desarrollo de competencias críticas y reflexivas en ciencias naturales y educación ambiental, lo que permite a los estudiantes entender y actuar sobre problemas ambientales complejos. Para ello, se busca: fomentar el pensamiento crítico y la investigación, formando a los

estudiantes para cuestionar y proponer soluciones a problemas ambientales basadas en una sólida comprensión científica; integrar saberes locales y globales, valorando los conocimientos tradicionales en la conservación del ambiente; promover la educación para la sostenibilidad, fomentando prácticas responsables hacia el entorno; y asegurar la transversalidad, entendiendo que la educación ambiental se integra en todas las áreas del conocimiento para abordar de manera multidisciplinaria los problemas ambientales (Asociación Colombiana de Universidades, 2017; Ibarra, 2016).

4.1. Resultados del Proyecto Educativo del Programa PEP de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental

4.1.1 Resultados U1

Con respecto al *ítem* 1 de la Guía de Análisis Documental para el Proyecto Educativo del Programa (PEP), el análisis de la estructura curricular del programa de la U1 permite comprender la distribución del peso de los distintos componentes formativos. En la respuesta se presentan los datos correspondientes a los créditos asignados a cada componente dentro del programa de formación de profesores, evidenciando la relevancia que se otorga a los distintos aspectos esenciales para su preparación.

Es importante destacar que el programa U1 organiza su plan de estudios en dos grandes campos de conceptualización: el Campo de Saber Pedagógico y el Campo de Saber en Ciencias Naturales. El Campo de Saber Pedagógico se estructura en torno a cinco núcleos de formación: Pedagogía y Formación, Experiencias Educativas, Currículo y Cultura, Didáctica y Saberes, y Práctica Pedagógica. Por su parte, el Campo de Saber en Ciencias Naturales está enfocado en la formación disciplinar con una perspectiva biológica, este campo integra el conocimiento de las disciplinas de la química, física y matemáticas a través de los núcleos de Matemáticas, Física, Química y Biología.

Ahora bien, en lo que corresponde concretamente a la pregunta 1, la Tabla 4.1. presenta los componentes curriculares y su número de créditos y porcentaje correspondiente.

Tabla 4.1.

Peso porcentual por componente curricular U1

Conocimiento	Asignaturas	No. Cr	%
Conocimiento Disciplinar CD	Fundamentos de Biología - 3 cr, Sistemas Químicos I - 4 cr, Introducción a la Física - 3 cr, Fundamentos de Matemáticas, Variación y Cambio - 3 cr, Biología Celular - 4 cr, Sistemas Químicos II - 4 cr, Física Biológica I - 3 cr, Cálculo Diferencial - 3 cr, Microbiología - 4 cr, Sistemas Químicos III - 4 cr, Física Biológica II - 3 cr, Cálculo Integral - 3 cr, Botánica - 4 cr, Sistemas Químicos IV - 4 cr, Física Biológica III - 3 cr, Genética - 3 cr, Sistemas Químicos V - 4 cr, Mecanismos Biológicos de Evolución - 3 cr, Investigación en Educación Ambiental I - 3 cr, Fundamentos de Estadística: Tratamiento de la Información - 3 cr, Investigación en Educación Ambiental II - 3 cr, Zoología - 4 cr, Ecología y Biodiversidad - 4 cr, Lengua Extranjera I - 2 cr, Lengua Extranjera II - 2 cr, Lengua Extranjera III - 2 cr, Lengua Extranjera IV - 2 cr, Lengua Extranjera V - 2 cr, Formación Ciudadana y Constitución - 2 cr.	91	50.28
Conocimiento Pedagógico CP	Historia, imágenes y concepciones de maestro - 3 cr, Sujetos en el acto educativo - 4 cr, Educación Popular - 3 cr, Cognición, cultura y aprendizaje - 3 cr, Didácticas, saberes y evaluación - 3 cr, Teorías Curriculares y Contextos Educativos - 3 cr, Tradiciones y Paradigmas en Pedagogía - 3 cr, Educación e Inclusión - 3 cr, Políticas Públicas y Legislación Educativa - 3 cr, Electiva I - 3 cr, Electiva II - 3 cr, Electiva III - 3 cr, Electiva IV - 3 cr.	40	22.10
Conocimiento Didáctico del Contenido CDC			
Conocimiento del Contexto CC	Práctica Pedagógica I - 3 cr, Práctica Pedagógica II - 3 cr, Práctica Pedagógica III - 3 cr, Práctica Pedagógica IV - 4 cr, Práctica Pedagógica V - 5 cr, Práctica Pedagógica VI - 5 cr, Práctica Pedagógica VII - 5 cr, Práctica Pedagógica VIII - 8 cr, Práctica Pedagógica IX - 8 cr, Práctica Pedagógica X: Trabajo de Grado - 6 cr.	50	27.62

Los resultados indicaron que el componente disciplinar y complementario disciplinar (CD) tuvo el mayor peso dentro del programa, representando el 50.28% del total de créditos (91 créditos). Este énfasis reveló que la formación en áreas como matemáticas, química,

física y biología constituyó un eje central en la preparación de los licenciados, según Muñoz-Burbano et al. (2021), una formación disciplinar amplia es fundamental para que los profesores puedan impartir conocimientos científicos con precisión y profundidad, lo que garantiza un adecuado desarrollo de la enseñanza de las ciencias naturales.

En cuanto al componente de didáctica y práctica pedagógica (CDC), este representó el 27.62% del total de créditos (50 créditos), evidenciando el interés del programa en articular los conocimientos teóricos con su aplicación en escenarios reales de enseñanza. Se unifican porque durante estas prácticas, el alumnado asiste a los centros educativos y, además, recibe formación en didáctica de las ciencias, aspecto que se abordará en detalle en el análisis de los microcurrículos.

De otro modo, el componente pedagógico (CP), por su parte, representó el 22,10% del total de créditos (40 créditos), lo que reflejó la importancia que le otorgan al estudio de la pedagogía, el currículo y la cultura educativa en la formación del profesorado.

Por otra parte, en cuanto al *ítem 2* de la guía, la U1 no proporciona un número exacto de estudiantes en el programa, aunque menciona que el número de ingresantes en el primer período es de 40, sin ofrecer datos sobre la continuidad o el total de estudiantes en semestres avanzados, lo que dificulta una evaluación precisa de su evolución.

Desde la perspectiva socioeconómica, la mayoría de los estudiantes pertenecen a los estratos 1, 2 y 3, lo que sugiere que provienen de contextos con limitaciones económicas. Muchos trabajan a tiempo parcial y algunos son padres de familia, lo que podría afectar su desempeño académico y permanencia en el programa.

De otro modo, en lo referido al *ítem 3*, el programa U1 dispone de 42 aulas de clase, lo que garantiza espacios suficientes para la enseñanza teórica. Además, cuenta con laboratorios especializados en cada área de las ciencias naturales: 8 laboratorios de biología, 5 de química y 2 de física, equipados con microscopios, sensores y otros materiales de experimentación. Se asignan entre 2 y 3 horas semanales para prácticas en cada disciplina, promoviendo una formación experimental sólida.

En cuanto a recursos tecnológicos, el programa cuenta con 3 salas de cómputo con 59 computadores conectados a Internet, facilitando el acceso a herramientas digitales. Dispone

de un auditorio con capacidad para 200 personas para eventos académicos, una sala de profesores y un centro de documentación para la consulta de material especializado.

El Sistema de Bibliotecas integra 18 bibliotecas físicas, con 262,406 títulos bibliográficos y 758,621 volúmenes, además de 127,720 documentos electrónicos. Se dispone de una biblioteca digital con acceso a trabajos de grado, investigaciones y tesis, lo que facilita la consulta de literatura académica y el desarrollo de proyectos de investigación.

En términos de tecnología educativa, el programa utiliza la plataforma Aprende en Línea para integrar herramientas digitales en la enseñanza, además de Google Apps institucional, videoconferencias, chats y foros para la interacción a distancia. También se tiene acceso a 67 bases de datos bibliográficas y a la plataforma WZQ, utilizada para cursos especiales y nivelaciones en regiones.

Como complemento a la formación, el programa ofrece salidas pedagógicas y de campo, con duraciones de entre tres horas y ocho días, permitiendo experiencias de aprendizaje en distintos entornos. Finalmente, se destacan los semilleros de investigación, donde los estudiantes pueden desarrollar proyectos científicos con acompañamiento profesoral, fomentando la formación en investigación.

Para el caso del *Ítem 4*, el programa U1 promueve un ambiente inclusivo y colaborativo mediante estrategias que garantizan la equidad y la no discriminación por razones de raza, sexo, edad, religión, condición social, cultural o política. Se implementan estrategias de andamiaje y apoyo multisensorial para atender a estudiantes con diversas capacidades, facilitando el acceso al conocimiento a través de recursos visuales, auditivos y kinestésicos. Al respecto, Cardona (2006) enfatiza que la diversidad en el aula debe ser abordada con enfoques metodológicos que integren herramientas inclusivas, permitiendo la participación equitativa de todos los estudiantes.

También, ofrece acompañamiento personalizado a través de programas de bienestar universitario, que incluyen apoyo psicológico, orientación vocacional y talleres sobre habilidades para la vida, asegurando el bienestar emocional y profesional de los estudiantes. De acuerdo con Santander-Espinoza et al. (2020), el aprendizaje colaborativo no solo facilita el proceso educativo, sino que también, contribuye a la integración de estudiantes con

necesidades educativas especiales, promoviendo su desarrollo dentro de la comunidad académica.

En cuanto a la gestión del tiempo y del espacio en el aula es flexible, permitiendo a los estudiantes equilibrar sus responsabilidades académicas y personales. Se ofrecen diferentes jornadas de estudio (mañana y tarde), así como rutas de formación opcionales y electivas, otorgando autonomía en la planificación académica. La integración de tecnologías educativas es clave en la organización del aula, con plataformas como Aprende en Línea y Google Apps, que facilitan el acceso a materiales y la colaboración en línea. Osuna-Acedo y Gil-Quintana (2017) destacan que la incorporación de plataformas digitales en la enseñanza favorece la personalización del aprendizaje y potencia la interacción entre profesores y estudiantes, generando un entorno de educación más dinámico e inclusivo.

En términos de infraestructura, las aulas están equipadas con computadores, video beam y equipos de amplificación de sonido, favoreciendo el uso de recursos audiovisuales y tecnológicos en la enseñanza. Además, las salas de informática cuentan con Internet y software especializado, permitiendo el desarrollo de actividades digitales. Se prioriza el trabajo experimental con laboratorios bien equipados en biología, química y física.

El programa fomenta actividades interdisciplinarias para abordar problemas desde diversas perspectivas científicas y profesionales. La evaluación es un proceso continuo y formativo, valorando tanto el conocimiento como las habilidades y actitudes de los estudiantes. La planificación académica incluye horas de docencia directa (HDD), docencia asistida (HDA) y trabajo independiente (TI), promoviendo la autonomía en el aprendizaje.

Para el caso del *ítem 5*, el programa U1 ha implementado diversas estrategias didácticas para facilitar el aprendizaje. Una de las metodologías destacadas es el uso de modelos visuales y físicos, mediante representaciones tridimensionales.

Otra estrategia implementada es el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP). Esta metodología promueve un aprendizaje significativo al permitir que los estudiantes utilicen la información para resolver problemas prácticos. Espinel (2020) señala que el ABP fomenta la aplicación práctica de los conocimientos teóricos, mejorando la retención y comprensión de los estudiantes.

También, se menciona la indagación, consistiendo en la formulación de preguntas y la búsqueda de respuestas mediante experimentos y actividades prácticas. Este enfoque permite a los estudiantes explorar fenómenos científicos por sí mismos, desarrollando habilidades de observación, análisis y argumentación. Ballesteros et al. (2013) destacan que la indagación científica en el aula promueve el pensamiento crítico y la comprensión profunda de los conceptos químicos.

Asimismo, el trabajo colaborativo es otra estrategia presente en el programa, donde los estudiantes participan en actividades grupales para compartir ideas y construir conocimiento de manera conjunta. Este enfoque constructivista promueve la construcción activa del conocimiento a partir de las ideas previas y experiencias de los estudiantes, permitiéndoles relacionar los nuevos conocimientos con lo que ya saben. Según Espinel (2020), el trabajo colaborativo en entornos de aprendizaje de química potencia el desarrollo de habilidades sociales y el aprendizaje profundo.

En cuanto al uso de tecnología educativa, se emplean herramientas como PhET Interactive Simulations y Molecular Workbench. Además, se integran plataformas digitales como Aprende en Línea y Google Apps, que proporcionan acceso a recursos educativos y fomentan el trabajo colaborativo en línea. Espinel (2020) destaca que la integración de tecnologías de la información y la comunicación en la enseñanza de la química mejora la comprensión de conceptos complejos y motiva a los estudiantes.

También se implementan laboratorios virtuales, como Labster, que permiten la realización de experimentos simulados sin necesidad de equipos físicos, facilitando la exploración de fenómenos que no pueden observarse directamente en el aula. Recursos multimedia, como videos, animaciones y gráficos interactivos, complementan la enseñanza tradicional y permiten ilustrar conceptos abstractos de manera más comprensible. El uso de dispositivos móviles y aplicaciones facilita el acceso al contenido educativo desde los propios dispositivos de los estudiantes, promoviendo el aprendizaje autónomo. Además, la implementación de realidad aumentada (AR) y realidad virtual (VR) ofrece experiencias inmersivas que permiten visualizar y manipular átomos y moléculas en un entorno virtual, innovando en la enseñanza de la química. Según Espinel (2020), estas tecnologías

emergentes enriquecen el proceso de enseñanza-aprendizaje al proporcionar experiencias interactivas y envolventes.

Para facilitar la interacción entre estudiantes y profesores, se emplean plataformas de videoconferencia como Zoom y Google Meet, complementando la enseñanza presencial con recursos digitales. Herramientas de evaluación en línea, como cuestionarios y evaluaciones automatizadas, permiten medir la comprensión de los estudiantes y proporcionar retroalimentación inmediata. Foros y chats funcionan como espacios virtuales de discusión donde los estudiantes pueden intercambiar ideas y resolver dudas de manera colectiva, fomentando la construcción colaborativa del conocimiento. Espinel (2020) señala que estas herramientas digitales facilitan la comunicación y el aprendizaje colaborativo en entornos virtuales.

En lo relacionado con el *ítem 6*, el programa U1 implementa diversas estrategias de evaluación para medir el aprendizaje, abarcando enfoques formativos, sumativos y alternativos. Las evaluaciones formativas permiten monitorear el progreso de los estudiantes mediante cuestionarios, pruebas cortas y mapas conceptuales, que ayudan a estructurar conocimientos y visualizar relaciones entre conceptos. También se emplean tareas, proyectos y portafolios para evidenciar el aprendizaje a lo largo del curso. Además, se desarrollan proyectos e investigaciones que integran múltiples conceptos y fomentan el análisis crítico.

En cuanto a la retroalimentación, se aplican estrategias como comentarios inmediatos y escritos, sesiones de tutoría y revisión de exámenes, lo que permite a los estudiantes corregir errores y mejorar su desempeño. Se utilizan rúbricas de evaluación para establecer criterios claros, facilitando la comprensión de los aspectos a evaluar. También se fomenta la autoevaluación y la evaluación entre pares, promoviendo un ambiente de aprendizaje colaborativo (García et al., 2011).

Para el caso del *ítem 7*, el programa de la U1 busca formar profesionales con competencias en diversas áreas. En el ámbito disciplinar, se enfatiza el dominio de conceptos científicos en biología, química, física y matemáticas, así como la capacidad de indagación científica y habilidades investigativas. Esto implica que los estudiantes deben ser capaces de formular preguntas, diseñar experimentos y analizar datos para resolver problemas en su campo de estudio. Según el Ministerio de Educación Nacional (2004), es esencial que los

estudiantes desarrollen competencias científicas que les permitan comprender y explicar fenómenos naturales.

En cuanto a las competencias pedagógicas, el programa destaca la importancia del diseño y planificación de la enseñanza y del currículo, la implementación de estrategias didácticas adaptadas a diferentes contextos y necesidades, y la evaluación del aprendizaje mediante instrumentos formativos y sumativos, esto sugiere que los futuros profesores deben ser flexibles y capaces de ajustar su enseñanza a las características y requerimientos de sus estudiantes; en relación con esto, Barajas y Ortiz (2019) señalan que la enseñanza de las ciencias naturales debe ir más allá de la mera transmisión de conceptos, promoviendo la aplicación práctica y el desarrollo de competencias en los estudiantes.

El desarrollo de competencias comunicativas también es fundamental, incluyendo la capacidad de comunicación efectiva, tanto oral como escrita, el uso de lenguajes científicos y la competencia en un segundo idioma. Además, el programa enfatiza la importancia de las competencias tecnológicas, preparando a los estudiantes para integrar el uso de TIC en la educación y manejar herramientas digitales, lo cual es especialmente relevante en el contexto educativo actual.

También, las competencias interpersonales y sociales, como la capacidad de trabajo en equipo, la colaboración, la ética profesional y la responsabilidad social, también son esenciales. Estas competencias permiten a los egresados interactuar eficazmente con otros profesionales y desempeñarse en entornos colaborativos, comprendiendo el impacto de su labor en la sociedad. Según Hoyos (2021), la enseñanza de las ciencias naturales debe propiciar el desarrollo de competencias que enriquezcan y cualifiquen la formación ciudadana, contribuyendo al desarrollo social.

Para finalizar, el programa destaca la importancia de las competencias de gestión y liderazgo, incluyendo la gestión del aula y el liderazgo educativo, así como el desarrollo de competencias investigativas. Esto sugiere que los egresados deben ser capaces de administrar espacios de aprendizaje, organizar actividades y guiar a sus estudiantes en el proceso formativo, además de diseñar y llevar a cabo proyectos de investigación en el ámbito educativo y científico, contribuyendo al avance del conocimiento en su disciplina.

En lo relacionado al *ítem 8*, el programa busca formar profesores en ciencias naturales que contribuyan significativamente a la sociedad. Uno de sus principales objetivos es mejorar la calidad educativa mediante la formación de profesores altamente calificados en ciencias naturales, capaces de elevar los estándares de enseñanza en la educación básica y media. Esto se logra a través de prácticas pedagógicas innovadoras que fomentan el aprendizaje significativo basado en la experimentación y la indagación, promoviendo el pensamiento crítico y la curiosidad científica en los estudiantes. Según Acevedo (1996), cambiar la práctica docente en la enseñanza de las ciencias a través de enfoques Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) es esencial para este propósito.

El programa también enfatiza el desarrollo de una cultura científica en la comunidad, promoviendo la alfabetización científica para que más personas comprendan los fenómenos naturales y tecnológicos desde una perspectiva informada. Esto favorece una toma de decisiones más fundamentada en distintos ámbitos. Busquets et al. (2016) destacan la importancia de reflexionar sobre el aprendizaje de las ciencias naturales y abordar nuevos desafíos en este campo.

Además, el programa integra la educación ambiental en el currículo escolar, sensibilizando a los estudiantes sobre la importancia de la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales. Se promueve el desarrollo de proyectos ambientales que involucren a la comunidad, fomentando prácticas sostenibles en diversos contextos educativos y sociales. Dumrauf y Cordero (2020) proponen un enfoque participativo para la formación profesoral continua en educación en ciencias naturales, ambiental y en salud, resaltando la relevancia de involucrar a la comunidad en estos procesos.

El programa responde a las necesidades educativas tanto regionales como nacionales, con un enfoque especial en áreas rurales y comunidades vulnerables. La formación de profesionales en ciencias naturales no solo impacta la educación formal, sino que también contribuye al desarrollo social y económico a través de la educación y la investigación. Gallego et al. (2004) analizan la formación inicial de profesores de ciencias en Colombia, destacando su impacto en la educación y el desarrollo regional.

Un eje fundamental del programa es su compromiso con la inclusión y la equidad. Se espera que los egresados sean profesores comprometidos con la educación inclusiva, capaces

de atender la diversidad en el aula y garantizar que todos los estudiantes tengan acceso a oportunidades de aprendizaje de calidad. González-Muñoz (1998) enfatiza la importancia de la formación y capacitación de profesores para la educación ambiental, subrayando su papel en la promoción de la equidad educativa.

El programa también promueve la investigación en educación y ciencias naturales, fomentando la producción de conocimiento en estas áreas y la generación de nuevas metodologías que benefician a la comunidad educativa. Quiroz-Londoño (2020) destaca la relevancia de la reflexión y la mediación didáctica en la enseñanza de las ciencias, subrayando su importancia en la formación profesoral.

Además, la innovación y la creatividad son aspectos clave en el impacto del programa. Se fomenta el desarrollo de soluciones innovadoras y efectivas para los desafíos educativos y ambientales, capacitando a los egresados para diseñar e implementar estrategias pedagógicas que respondan a las necesidades de su contexto. Chrobak (2008) señala la importancia de una enseñanza creativa para lograr aprendizajes creativos, enfatizando la necesidad de innovar en las prácticas educativas.

En el ámbito de la responsabilidad ambiental, el programa busca sensibilizar a los estudiantes sobre la importancia de la sostenibilidad y la conservación del medio ambiente. Se capacita a los futuros profesores para diseñar e implementar proyectos de educación ambiental que promuevan prácticas sostenibles en las instituciones educativas y en la comunidad. Amórtegui-Cedeño et al. (2017) abordan las prácticas de campo en la enseñanza de la biología y la formación profesoral, destacando su relevancia en la educación ambiental.

De igual modo, el programa promueve la participación comunitaria, fomentando la colaboración con organizaciones locales y la integración en redes profesionales. La participación en proyectos de extensión y servicio comunitario permite que los egresados apliquen sus conocimientos en beneficio de la sociedad, fortaleciendo los lazos entre la universidad y la comunidad. Forero (2000) discute la relación entre la comunidad científica colombiana y el desarrollo endógeno, resaltando la importancia de la participación comunitaria en la educación.

En lo referido al *ítem 9*, la U1 integra los contenidos sobre la estructura atómica en el núcleo de Química, distribuidos en los cursos de *Sistemas Químicos I a IV*. Estos cursos se desarrollan a lo largo del programa con distintos niveles de profundización, asegurando una comprensión progresiva de la materia.

En *Sistemas Químicos I*, los estudiantes adquieren nociones fundamentales sobre la estructura atómica, la tabla periódica y el enlace químico, estableciendo la base para estudios posteriores. En *Sistemas Químicos II*, se abordan los principios de la estructura atómica desde la química orgánica, ampliando la aplicación del conocimiento a compuestos moleculares. Posteriormente, en *Sistemas Químicos III*, se relacionan estos conceptos con la química analítica, aplicándolos a disciplinas como la salud y el medio ambiente. Finalmente, en *Sistemas Químicos IV*, se profundiza en la fisicoquímica y la relación entre materia y energía, consolidando los conocimientos adquiridos en los cursos previos.

Del total de 180 créditos del programa, 76 corresponden al componente disciplinar. De esos, los cursos de Sistemas Químicos I a IV suman 20 créditos, lo que representa aproximadamente el 11% del componente disciplinar que puede dedicar un espacio al contenido objeto de estudio.

4.1.2. Resultados U2

A continuación, se presenta el análisis del PEP de acuerdo con la guía para el programa de la U2. Con respecto al *ítem 1* de la Guía de Análisis Documental para el PEP, el análisis de la estructura curricular del programa de la U2 permite comprender el énfasis que se otorga a cada núcleo temático¹ del conocimiento dentro de la formación de los futuros profesores.

Así pues, es conveniente mencionar que La estructura y organización de los contenidos del programa de la U2 se basa en núcleos temáticos los cuales se componen en unidades temáticas las cuales cuentan con su respectivo número de créditos. A continuación, en la Tabla 4.2. se presenta de manera discriminada los núcleos temáticos con sus unidades temáticas y sus respectivos créditos.

¹ Esta es la denominación que el programa de la U2 ha establecido para organizar sus contenidos.

Tabla 4.2.

Peso porcentual por componente curricular U2

Conocimiento	Asignaturas	No. Cr	%
Conocimiento Disciplinar CD	La lectura y la escritura - 3 cr, Taller de lengua española - 3 cr, Expresiones artísticas - 3 cr, Representaciones espaciales - 3 cr, Lenguaje digital y audiovisual - 3 cr, Matemáticas I - 4 cr, Matemáticas II - 3 cr, Biología fundamental - 3 cr, Laboratorio de Biología fundamental - 1 cr, Química General - 4 cr, Laboratorio de Química General - 1 cr, Fundamentos de Física I - 4 cr, Fundamentos de Física II - 4 cr, Química Orgánica General - 4 cr, Laboratorio de Química Orgánica - 1 cr, Ciencias Naturales y Educación Ambiental I - 3 cr, Ciencias Naturales y Educación Ambiental II - 3 cr, Fenomenología, Materia y Energía - 3 cr, Los Sistemas - 3 cr, Lenguaje de las ciencias - 3 cr, Experimentación en Ciencias - 3 cr, Ecología - 3 cr, Estadística - 4 cr.	75	46.30
Conocimiento Pedagógico CP	Psicología del desarrollo - 3 cr, Psicología de la educación - 3 cr, Identidad, familia y sociedad - 3 cr, Educación y diversidad - 3 cr, Educación y salud - 1 cr, Memoria activa de la educación, la pedagogía y la didáctica - 3 cr, Historia y epistemología de la pedagogía - 3 cr, Currículo y evaluación - 3 cr, La escuela y sus prácticas pedagógicas - 3 cr, Epistemologías del conocimiento - 3 cr, Estrategias metodológicas de la investigación - 3 cr, Caracterización de contextos - 3 cr, Formación ciudadana - 3 cr, Espacio, naturaleza, sociedad y cultura - 3 cr, Educación, historia y región - 3 cr, Políticas públicas y gestión educativa - 3 cr, Educación ambiental y desarrollo regional - 3 cr.	49	30.25
Conocimiento Didáctico del Contenido CDC	Didáctica de las Ciencias Naturales y la Educación Ambiental I - 3 cr Didáctica de las Ciencias Naturales y la Educación Ambiental II - 3 cr Historia y enseñanza de las ciencias - 3 cr,	9	5.55
Conocimiento del Contexto CC	<i>Formulación de la propuesta de praxis - 3 cr, Praxis Educativa I - 3 cr, Praxis Educativa II - 3 cr, Trabajo de Grado I - 4 cr, Trabajo de Grado II - 4 cr</i>	17	10.49
No corresponde	Área de Interés Personal I - 3 cr, Área de Interés Personal II - 3 cr, Electiva 1 - 3 cr, Electiva 2 - 3 cr.	12	7.41

El plan de estudios se organiza en diez semestres, con una combinación de clases teóricas y prácticas, y requiere la aprobación de 156 créditos académicos para obtener el título de Licenciado en Ciencias Naturales y Educación Ambiental.

Esta distribución indica que el núcleo temático "Enseñanza de las Ciencias" posee el mayor peso en el currículo, representando el 40.3% del total de créditos. Este énfasis es coherente con el objetivo del programa de formar profesores con una suficiente base en ciencias naturales y educación ambiental.

El segundo núcleo con mayor representación es "Investigación Educativa y Prácticas Pedagógicas", con un 16.6% de los créditos. Esto subraya la importancia otorgada a la formación investigativa y a la aplicación práctica de estrategias pedagógicas, elementos esenciales en la preparación de profesores competentes.

Los núcleos "Lenguaje, Cultura y Comunicación" y "El Ser Colombiano y su Entorno" aportan cada uno un 9.7% de los créditos, mientras que "Sujeto, Educación y Cultura", "Prácticas Educativas" y "Electivas y Áreas de Interés Personal" contribuyen con un 7.7% cada uno. Esta distribución equilibra la formación disciplinar con componentes pedagógicos, culturales y electivos, proporcionando una educación integral.

Por otra parte, en cuanto al *Ítem 2* de la guía, el programa de la U2 no proporciona datos específicos sobre la cantidad de estudiantes inscritos ni sobre su distribución demográfica. Sin embargo, al estar ubicado en el departamento del Cauca, una región reconocida por su diversidad étnica y cultural es probable que el estudiantado refleje esta heterogeneidad. Según el Consejo Regional Indígena del Cauca (CRIC), el departamento alberga el mayor porcentaje de población indígena en Colombia, con 190.069 personas pertenecientes a ocho grupos étnicos reconocidos oficialmente, establecidos en 26 de los 39 municipios del Cauca. Además, el Cauca cuenta con una significativa población afrocolombiana, especialmente en municipios como Buenos Aires, Guapi y Timbiquí.

Desde una perspectiva socioeconómica, la Secretaría de Educación y Cultura de la Gobernación del Cauca (2022) ha implementado programas para apoyar el acceso y la permanencia en la educación superior, beneficiando a estudiantes de los estratos 1, 2 y 3 egresados de instituciones educativas oficiales. Esta diversidad étnica y socioeconómica

enriquece el ambiente académico y plantea desafíos en la formación profesoral, subrayando la necesidad de estrategias pedagógicas interculturales que promuevan la equidad y la inclusión en el proceso educativo.

De otro modo, en lo referido al *ítem 3*, el análisis de los recursos físicos y digitales disponibles para la enseñanza en el programa de la U2 es fundamental para comprender las condiciones en las que los estudiantes desarrollan su proceso de formación. Al respecto la U2 cuenta con laboratorios diseñados para cursos específicos como Biología Fundamental, Química General y Química Orgánica General, lo que sugiere la existencia de espacios adecuados para la experimentación y la aplicación de conocimientos científicos en el contexto educativo.

Asimismo, el programa de la U2 ofrece una amplia gama de recursos físicos y digitales para apoyar el estudio y la investigación, la biblioteca cuenta con más de 23,000 títulos en formato electrónico en español, accesibles a través de bases de datos multidisciplinarias

Para el caso del *ítem 4*, el programa de la U2 organiza el espacio de aprendizaje mediante un enfoque interdisciplinario, estructurado en núcleos temáticos que promueven una visión integral del conocimiento. Este enfoque facilita la conexión entre diversas áreas, fomentando una educación holística esencial para la formación de profesores en ciencias naturales y educación ambiental. Según Bell-Rodríguez et al. (2022), la interdisciplinariedad se convierte en un principio teórico-metodológico insoslayable para el diseño y aplicación de estrategias educativas dirigidas al logro de altos propósitos en la educación inclusiva.

Además, el programa enfatiza el trabajo en grupo, una estrategia que fortalece habilidades como la argumentación crítica y la disciplina colaborativa, fundamentales en la práctica docente. El aprendizaje colaborativo se define como un sistema de interacciones cuidadosamente diseñado que organiza e induce la influencia recíproca entre los integrantes de un equipo, promoviendo la construcción colectiva de significados comunes (Revelo-Sánchez et al., 2018).

En cuanto a la gestión del tiempo y espacio en el aula, el programa sigue una metodología presencial que integra los núcleos temáticos, permitiendo una construcción

progresiva del conocimiento y una comprensión profunda de los fenómenos científicos y educativos. El profesor actúa como facilitador y orientador, mientras que el estudiante es un participante activo y colaborativo en su proceso de aprendizaje. El diálogo y la reflexión son centrales en esta organización, promoviendo la interacción y el pensamiento crítico.

La práctica pedagógica investigativa es fundamental, brindando a los estudiantes la oportunidad de diseñar y desarrollar soluciones a problemas educativos concretos, aplicando metodologías de investigación en el ámbito educativo. Este enfoque interdisciplinario y colaborativo en la organización del espacio de aprendizaje prepara a los futuros profesores para enfrentar los desafíos de la educación contemporánea, promoviendo una formación integral y contextualizada.

Para el análisis de las estrategias didácticas empleadas en la enseñanza de la estructura atómica de la materia (*ítem 5*), el programa de la U2 emplea diversas estrategias didácticas para la enseñanza en general; aunque el documento no detalla explícitamente estas estrategias, se pueden inferir enfoques relevantes como:

Enfoque Interdisciplinario: la organización del currículo en núcleos temáticos permite integrar conceptos de química, física y biología, ofreciendo una comprensión holística de los conceptos. Este enfoque evita la fragmentación del conocimiento y promueve una visión integral de la materia. Según Bell-Rodríguez et al. (2022), la interdisciplinariedad es esencial para el diseño de estrategias educativas inclusivas. Así, menciona el trabajo práctico en laboratorios; integración de la Historia y Filosofía de la Ciencia, además de estrategias activas

La evaluación del aprendizaje (*ítem 6*) en el programa de la U2 es un aspecto fundamental dentro de la formación de los futuros profesores, ya que permite valorar el nivel de apropiación de los conocimientos y el desarrollo de competencias científicas, pedagógicas y didácticas. El programa emplea una combinación de evaluaciones formativas y sumativas para garantizar una comprensión integral del progreso estudiantil.

Las evaluaciones formativas se implementan durante el proceso de enseñanza con el objetivo de monitorear el avance de los estudiantes y ajustar las estrategias según sus necesidades (Chacón et al., 2023). Este enfoque permite identificar dificultades tempranas y

proporcionar retroalimentación oportuna, promoviendo una mejora continua en el aprendizaje.

Por otro lado, las evaluaciones sumativas se realizan al finalizar un periodo o curso con el propósito de medir el grado de cumplimiento de los objetivos de aprendizaje y certificar los conocimientos adquiridos. Esta dualidad en las estrategias evaluativas asegura una valoración integral del desempeño estudiantil. Como señalan Chacón et al. (2023), la evaluación sumativa se utiliza para medir el grado de cumplimiento de los objetivos de aprendizaje al final de un periodo o curso.

También, fomenta la participación en seminarios, talleres y eventos académicos es una estrategia evaluativa ideal en la formación del profesorado, ya que permite a los estudiantes demostrar su capacidad para analizar críticamente diversos temas, comunicarse de manera efectiva y argumentar sus posturas basándose en evidencia científica. Según Olmstead y Turpen (2016), los talleres de desarrollo profesional fomentan la interactividad y ofrecen marcos orientadores para la práctica docente, aspectos fundamentales para fortalecer las competencias profesionales del profesorado.

El programa de la U2 establece un conjunto de competencias generales (*ítem 7*) que abarcan habilidades fundamentales para el desempeño académico y profesional. El programa de la U2 establece un conjunto de competencias generales y específicas que los estudiantes deben desarrollar durante su formación en Ciencias Naturales y Educación Ambiental.

Así pues, entre estas competencias están, la comunicación escrita y la lectura crítica, las cuales desempeñan un papel central, ya que permiten a los futuros profesores elaborar textos argumentativos y analizar críticamente documentos académicos, lo que fortalece su capacidad de interpretar y contextualizar la información de manera reflexiva (Cassany, 2006).

Asimismo, el razonamiento cuantitativo es una habilidad esencial, dado que los profesores en formación deben comprender y utilizar información numérica para resolver problemas, interpretar datos científicos y diseñar estrategias didácticas basadas en evidencia, una competencia ampliamente respaldada en la literatura sobre enseñanza de las ciencias (Posner y Rudnitsky, 2006). Además, el programa enfatiza el desarrollo de competencias ciudadanas, promoviendo el conocimiento del modelo de Estado Social de Derecho en

Colombia y el análisis de problemáticas sociales desde diversas perspectivas. Este enfoque es relevante para fomentar una educación crítica y comprometida con la transformación social, en consonancia con lo propuesto por Giroux (2003) sobre la educación como práctica emancipadora.

Igualmente, se destaca la importancia de la competencia en inglés, la cual facilita el acceso a fuentes científicas internacionales y la participación en proyectos de cooperación académica a nivel global.

El programa también desarrolla competencias específicas que garantizan la idoneidad de los egresados para la enseñanza de las ciencias naturales y la educación ambiental

La gestión y promoción de proyectos ambientales es también una competencia clave, ya que permite a los egresados diseñar e implementar proyectos ambientales escolares (PRAES) y comunitarios (PROCEDA), en sintonía con la necesidad de promover la educación ambiental como un eje transversal en la formación de ciudadanos responsables (UNESCO, 2017).

De igual manera, la asesoría pedagógica constituye una competencia relevante, ya que capacita a los profesores en formación para orientar procesos de enseñanza y aprendizaje en el área de las ciencias naturales, contribuyendo a la formación del profesorado y al diseño de materiales educativos innovadores.

Finalmente, el desarrollo de competencias investigativas es otro pilar del programa, ya que permite a los estudiantes formular y ejecutar proyectos de investigación en el ámbito de la educación en ciencias, generando nuevo conocimiento y fortaleciendo su capacidad de innovación en el aula.

El impacto del programa de la U2 en la sociedad (*ítem 8*) estipula la formación de profesores altamente calificados en ciencias naturales y educación ambiental, asegurando su desempeño en instituciones urbanas y rurales.

Además, el programa enfatiza la educación ambiental, asegurando que los futuros profesores inculquen en sus estudiantes la importancia de la sostenibilidad y la conservación del medio ambiente. La necesidad de una educación ambiental efectiva es reconocida por autores como Sterling (2010), quien sostiene que la formación de ciudadanos ambientalmente

responsables debe integrarse en todos los niveles educativos. En este sentido, los egresados del programa diseñan e implementan estrategias de enseñanza que incorporan problemáticas ambientales locales y globales, fortaleciendo la formación ciudadana y el compromiso con la sostenibilidad.

El enfoque investigativo del programa también tiene un impacto social significativo, ya que fomenta la investigación en educación en ciencias como herramienta para la solución de problemas.

Asimismo, el desarrollo de habilidades de gestión y liderazgo en los estudiantes les permite coordinar e implementar iniciativas educativas y ambientales en sus comunidades. Estas habilidades son importantes para la ejecución de proyectos de educación ambiental, la gestión de recursos educativos y la articulación con instituciones y organizaciones que promueven el desarrollo sostenible. Los egresados del programa están preparados para liderar procesos de transformación en sus entornos, impulsando cambios que beneficien a la comunidad educativa y a la sociedad en general. Como señala Fullan (2001), el liderazgo en la educación es un factor clave para la implementación de innovaciones y la mejora continua de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

En relación con el *ítem 9*, se encuentra en el PEP que el curso que podrían abordar el contenido de la estructura atómica es principalmente Química General, donde menciona como principales temáticas los modelos atómicos, las partículas subatómicas, la tabla periódica, los números cuánticos, la distribución electrónica y la periodicidad química.

Para cuantificar el peso de estos contenidos dentro del currículo, se ha realizado un cálculo basado en la distribución de créditos académicos. Química General cuenta con 4 de 156 créditos, se estima que estos contenidos representan aproximadamente 2.56% del total del plan de estudios.

4.1.3. Resultados U3

En este apartado, se presenta la información analizada del PEP del programa de la U3, así pues, el análisis de la distribución curricular del programa de la U3 permite comprender la organización del plan de estudios en términos de sus componentes formativos y su peso relativo dentro del currículo. El programa se estructura en tres fases: Comunidad y

Diversidad (semestres I-III), Cultura Escolar (semestres IV-VII) y Dinámica de Aula (semestres VIII-X), lo que sugiere una progresión formativa que transita desde el desarrollo de habilidades generales hasta la especialización en el ámbito educativo; ahora bien, esta organización curricular se distribuye en tres componentes principales: Saberes Específicos y Disciplinarios, Pedagogía y Ciencias de la Educación, y Fundamentos Generales, a continuación se presenta la Tabla 4.3. donde se describe de manera minuciosa la distribución de los componentes, sus áreas y créditos, y su peso porcentual.

Tabla 4.3

Peso porcentual por componente curricular U3

Conocimiento	Asignaturas	No. Cr	%
Conocimiento Disciplinar CD	Biología - 24 cr, Química - 18 cr, Física - 12 cr, Matemática - 8 cr, Educación Ambiental - 18 cr, Investigación Disciplinar - 8 cr.	88	51.46
Conocimiento Pedagógico CP	Pedagogía - 21 cr, Didáctica - 9 cr,	30	17.54
Conocimiento Didáctico del Contenido CDC		0	0
Conocimiento del Contexto CC	Práctica Pedagógica e Investigación - 20 cr.	20	11.61
No corresponde	Comunicación - 18 cr, Complementarias - 3 cr, Institucional - 4 cr, Electivas - 8 cr.	33	19.30

El componente de *Saberes Específicos y Disciplinarios* representa el 51.46% del total del plan de estudios, siendo el más significativo en términos de carga académica. Este componente abarca áreas fundamentales para la formación de profesores en ciencias naturales y educación ambiental, incluyendo Biología (24 créditos), Química (18 créditos), Física (12 créditos), Matemática (8 créditos), Educación Ambiental (18 créditos) e Investigación Disciplinar (8 créditos). Este componente destaca la prioridad otorgada a al campo disciplinar

El componente de *Pedagogía y Ciencias de la Educación* constituye el 29.24% del plan de estudios, distribuyéndose en Pedagogía (21 créditos), Didáctica (9 créditos) y

Práctica Pedagógica e Investigación (20 créditos). Este componente refuerza la formación profesoral en términos de teoría educativa, estrategias de enseñanza y aplicación en contextos reales a través de la práctica pedagógica.

El componente de *Fundamentos Generales* representa el 19.30% del total del currículo, incluyendo asignaturas de Comunicación (18 créditos), Complementarias (3 créditos), Institucionales (4 créditos) y Electivas (8 créditos). Este componente busca fortalecer las habilidades transversales necesarias para el desempeño profesional, como la comunicación académica, la comprensión de textos científicos y la capacidad de análisis crítico.

En términos generales, la estructura curricular del programa de la U3 presenta un equilibrio entre la formación disciplinar y pedagógica, y un porcentaje pequeño en el componente de didáctica. En este sentido, si bien la estructura curricular enfatiza la formación científica, sería pertinente evaluar en qué medida las estrategias didácticas utilizadas en el programa favorecen la integración entre el conocimiento disciplinar y didáctico. Así Lederman y Gess-Newsome (1999) sugiere que muchos programas de formación del profesorado tienden a priorizar la enseñanza de conceptos científicos sin una conexión clara con estrategias de enseñanza, lo que puede afectar la capacidad de los profesores para enseñarlos

En cuanto a la proporción de créditos dedicados a la práctica pedagógica y la investigación educativa refuerza la importancia de la experiencia directa en contextos de enseñanza, promoviendo un enfoque reflexivo sobre la labor profesoral. Investigaciones como las de Zabalza (2007) y Coll et al. (1992) destacan la importancia de este equilibrio en la formación inicial del profesorado, señalando que una educación profesoral efectiva debe integrar conocimientos teóricos con oportunidades de aplicación práctica.

Con relación al *ítem 2* la U3 se encuentra en una región con una diversidad sociocultural significativa, es posible que su población estudiantil incluya estudiantes de diferentes municipios del departamento de Córdoba y otras regiones de la costa Caribe colombiana. Sin embargo, sin información detallada en el PEP, no es posible confirmar aspectos como la proporción de estudiantes provenientes de áreas rurales o urbanas, su nivel socioeconómico o su pertenencia a comunidades afrocolombianas, indígenas o mestizas.

Ahora, en el *ítem 3* para el programa de la U3, este cuenta con una infraestructura física y tecnológica que facilita el aprendizaje y la investigación en el área de las ciencias naturales. Dentro de los recursos disponibles se encuentran salas de informática, equipos audiovisuales, laboratorios especializados, bibliotecas y plataformas digitales que permiten a los estudiantes acceder a información actualizada y desarrollar actividades académicas y prácticas de manera efectiva.

En cuanto a la infraestructura física y tecnológica, el programa dispone de cinco salas de informática equipadas con 20 computadores cada una y con acceso a internet, lo que garantiza la posibilidad de realizar actividades digitales y académicas con herramientas informáticas. Además, cuenta con laboratorios de química, física y biología están dotados con materiales, reactivos y equipos especializados para la realización de experimentos y actividades prácticas que complementan la formación teórica. Asimismo, los estudiantes tienen acceso a diversos centros de práctica, incluyendo instituciones educativas en convenio, escenarios naturales dentro y fuera del departamento, y establecimientos como zoológicos, jardines botánicos, parques temáticos y laboratorios externos.

En relación con el acceso a laboratorios, bibliotecas y plataformas digitales, la biblioteca central ofrece una amplia colección de libros en áreas como biología, química, física, matemáticas y educación ambiental. Además, cuenta con el sistema de información bibliográfica, que permite a los estudiantes realizar consultas, préstamos, renovaciones y reservaciones de material bibliográfico de manera digital. En términos de bases de datos científicas, los estudiantes y profesores tienen acceso a recursos como Proquest, RefWorks, Ebrary, Elibro, Scopus, Embase, Engineering Village, ScienceDirect y Reaxsys, que contienen información especializada en diversas disciplinas científicas.

En cuanto a las plataformas tecnológicas, la U3 cuenta con un data center TIER II y servidores que operan con sistemas como Linux Redhat Enterprise Server 5, Linux CentOS Server 5, Oracle 11g, Postgress y SQL SERVER 2008 R2. Las estaciones de trabajo tienen sistemas operativos como Windows XP, Windows Vista y Windows 7. La conectividad a internet es de 270 MB, distribuida entre acceso dedicado y ADSL, con una red de datos institucional que cubre todas las sedes. Adicionalmente, la intranet institucional cuenta con un enlace inalámbrico entre las sedes, permitiendo el acceso a servicios digitales como salas

de videoconferencias, herramientas colaborativas como Google Apps, noticias, revistas electrónicas, hemeroteca, bases de datos, aulas virtuales y correo institucional.

Para el caso del *ítem 4*, el programa de la U3 implementa diversas estrategias para garantizar un ambiente inclusivo y colaborativo, optimizando la gestión del tiempo y del espacio en el aula, con el propósito de fortalecer la formación de los futuros licenciados en ciencias naturales y educación ambiental. Para ello, se promueve el desarrollo de competencias pedagógicas, investigativas y disciplinares a través de enfoques que integran la inclusión, la interdisciplinariedad y la flexibilidad curricular.

En cuanto a la educación inclusiva es un eje central en el programa, evidenciado en la oferta de cursos y actividades que permiten a los estudiantes adquirir herramientas para la atención a la diversidad en el aula. La inclusión educativa, entendida como un proceso que busca eliminar las barreras de aprendizaje y participación, ha sido ampliamente documentada en la literatura pedagógica (Ainscow, 2001).

En este sentido, el programa de la U3 incorpora proyectos de investigación sobre la comprensión lectora en la población sorda, con el fin de generar estrategias didácticas adaptadas a las necesidades de esta comunidad. Además, se ofrece el curso "Constitución y Educación para la Ciudadanía y Derechos Humanos", que proporciona conocimientos sobre equidad y derechos en la enseñanza. Otro elemento clave es la electiva "Adaptaciones Curriculares para la Inclusión", en la que los estudiantes desarrollan habilidades para ajustar sus prácticas pedagógicas a diversas necesidades educativas especiales.

La interdisciplinariedad es otro pilar del programa, evidenciado en la integración de conocimientos a través de actividades académicas como prácticas pedagógicas y de campo, pasantías, proyectos de investigación, cursos electivos y diplomados. Además, la participación en semilleros de investigación para fortalecer la formación en investigación.

En lo que respecta a la gestión del tiempo y del espacio en el aula, el programa se fundamenta en el modelo pedagógico cognitivo-social, el cual enfatiza el desarrollo de competencias cognitivas y socioemocionales mediante una enseñanza basada en la interacción y el aprendizaje cooperativo.

También, la práctica pedagógica ocupa un lugar central en el proceso formativo, ya que se articula con la investigación educativa y los cursos del componente pedagógico. Siguiendo la propuesta de Schön (2016) sobre la reflexión en la práctica docente, el programa permite que los estudiantes avancen progresivamente en su desarrollo profesional, desde la observación de contextos escolares hasta la realización de prácticas pedagógicas en diferentes niveles educativos. Este enfoque puede garantizar que los futuros profesores adquieran experiencia directa en la enseñanza y comprendan los desafíos del aula en la educación en ciencias naturales.

Por último, el programa de la U3 incorpora la flexibilidad curricular como estrategia clave para garantizar una formación adaptable a los intereses y necesidades de los estudiantes. La oferta de cursos electivos, prácticas pedagógicas e investigativas y opciones de grado permite a los estudiantes personalizar su trayectoria académica.

Para el caso del *ítem 5*, el programa de la U3 implementa una variedad de estrategias didácticas, combinando enfoques innovadores con el uso de tecnología educativa. Así, se encuentra el aprendizaje basado en el cuestionamiento y la discusión activa fomenta una comprensión más profunda de los conceptos científicos, lo que se refleja en la promoción de microclases en las que los estudiantes explican temas específicos, fortaleciendo sus habilidades comunicativas y su apropiación del contenido.

Otro método clave es la lectura comentada, la cual permite el análisis y la discusión de textos científicos. Este enfoque fomenta la integración de la teoría con los avances en la investigación científica y estimula el pensamiento crítico en los estudiantes. En este mismo sentido, la elaboración de informes experimentales y su sustentación oral refuerzan la capacidad de argumentación y consolidan la formación investigativa, lo que responde a la necesidad de promover una alfabetización científica desde la educación superior (Driver et al., 1994).

El programa también incorpora el uso de herramientas digitales para enriquecer el proceso de enseñanza-aprendizaje. Plataformas como Moodle proporcionan acceso a materiales educativos, foros de discusión y actividades en línea, permitiendo a los estudiantes interactuar con los contenidos de manera autónoma y flexible. Las simulaciones y modelos virtuales, como los desarrollados por PhET Interactive Simulations, facilitan la visualización

y manipulación de estructuras atómicas en entornos digitales, lo que contribuye a la comprensión de conceptos abstractos como la configuración electrónica y los enlaces químicos (Wieman y Perkins, 2005).

Otro aspecto relevante es la implementación de laboratorios virtuales, los cuales posibilitan la realización de experimentos simulados. Según De Jong et al. (2013), el uso de laboratorios virtuales en la enseñanza de las ciencias permite a los estudiantes explorar fenómenos científicos de manera interactiva, facilitando su aprendizaje y fortaleciendo su capacidad de experimentación.

En relación con el *ítem 6*, implementa una variedad de estrategias de evaluación con el propósito de medir el aprendizaje de los estudiantes desde distintos enfoques, asegurando no solo la verificación del dominio de contenidos, sino también el fortalecimiento de competencias analíticas, críticas y didácticas en los futuros profesores. Estas estrategias responden a la necesidad de diversificar los métodos de evaluación en la formación profesoral, promoviendo procesos que permitan la reflexión, la argumentación y la aplicación de conocimientos en distintos contextos educativos (Biggs y Tang, 2011).

Para garantizar esta diversidad evaluativa, el programa emplea exámenes individuales y grupales con preguntas de opción múltiple, de desarrollo y resolución de problemas, los cuales permiten medir la comprensión y análisis de los estudiantes. Además, se recurre a la presentación escrita de informes y su sustentación oral, estrategias clave en la formación académica, ya que exigen la elaboración de proyectos, experimentos o investigaciones cuyos resultados deben ser argumentados y defendidos ante la comunidad académica. Este enfoque fomenta habilidades de comunicación y argumentación, lo que contribuye a una mejor preparación para la enseñanza (Sadler, 1989).

Otra herramienta fundamental es la elaboración de ensayos y documentos académicos, que fortalece el pensamiento crítico y la escritura académica de los estudiantes, promoviendo la construcción de argumentos fundamentados en literatura científica y experiencias investigativas. De manera complementaria, las prácticas de campo y la elaboración de informes permiten evaluar la capacidad de aplicar conocimientos teóricos en escenarios reales, favoreciendo la integración de la teoría con la práctica y el desarrollo de

competencias profesionales esenciales para la enseñanza de las ciencias naturales (Nicol y Macfarlane-Dick, 2006).

El diseño de unidades didácticas es otro recurso clave en la evaluación, ya que permite medir la habilidad de los estudiantes para planificar y estructurar procesos de enseñanza en ciencias naturales. Asimismo, se implementan microclases en las que los estudiantes exponen conceptos específicos en sesiones breves, lo que les permite desarrollar su capacidad de transmisión del conocimiento de manera clara y efectiva, una habilidad indispensable para la docencia.

El programa también enfatiza la importancia de proporcionar retroalimentación constructiva mediante diversas estrategias. La retroalimentación escrita es una de las herramientas más utilizadas, donde los profesores incluyen comentarios detallados en los informes, ensayos y exámenes, señalando tanto los aciertos como las áreas de mejora. De manera complementaria, se realizan sesiones de retroalimentación individual, en las que los profesores orientan de manera personalizada a cada estudiante sobre su proceso de aprendizaje, fortaleciendo su autoconfianza y motivación académica (Hattie y Timperley, 2007).

De otra forma, en cuanto al *ítem 7*, el programa de la U3 establece un conjunto de competencias que permiten a los estudiantes desempeñarse eficazmente en distintos entornos educativos y profesionales, integrando conocimientos disciplinares, didácticos, investigativos, comunicativos y humanísticos.

Desde la perspectiva disciplinar, el programa garantiza el dominio de conceptos fundamentales en biología, química, física y educación ambiental, lo que permite a los estudiantes aplicar principios científicos en la resolución de problemas y la toma de decisiones basadas en evidencia. Esta formación científica es esencial para fomentar el pensamiento crítico y analítico en los futuros profesores, habilidades indispensables en la enseñanza de las ciencias naturales (Koehler y Mishra, 2009).

Además, en el ámbito didáctico, los licenciados desarrollan la capacidad de diseñar, implementar y evaluar estrategias didácticas innovadoras, adaptadas a distintos contextos y necesidades educativas.

Desde la dimensión investigativa, el programa fomenta habilidades para formular, ejecutar y evaluar proyectos de investigación, integrando métodos científicos en el análisis de problemas educativos y ambientales. Este enfoque investigativo permite a los profesores generar conocimiento en sus áreas de especialización y aplicar estrategias basadas en la indagación para la mejora continua de su práctica educativa (De la Torre, 2006). En paralelo, el desarrollo de la comunicación efectiva, tanto en lengua castellana como en inglés, refuerza la capacidad de los estudiantes para divulgar conocimientos científicos, utilizando tecnologías de la información y la comunicación como herramientas de enseñanza y aprendizaje. La integración de herramientas digitales en la educación es un requisito fundamental en la formación profesoral contemporánea (Laurillard, 2013).

Desde la dimensión humanística, el programa enfatiza la ética profesional y la responsabilidad social, promoviendo el trabajo colaborativo e interdisciplinario. La educación en valores y la formación ciudadana son fundamentales para la construcción de sociedades democráticas y sostenibles, y los profesores juegan un papel clave en su promoción dentro del aula (Freire, 2004). Además, el programa fomenta el liderazgo y la capacidad de gestión de proyectos educativos y ambientales, garantizando que los egresados puedan generar impacto positivo en la comunidad mediante la implementación de estrategias innovadoras y la toma de decisiones informadas (Hargreaves y Fullan, 2012).

Por otra parte, en cuanto al *ítem 8*, el programa de la U3 tiene un impacto significativo en la sociedad, tanto en la formación de profesionales altamente capacitados como en la transformación de las comunidades a través de la educación y el liderazgo en sostenibilidad ambiental. La formación de profesores con una sólida base en ciencias naturales y educación ambiental permite mejorar la enseñanza en las escuelas y fortalecer el aprendizaje de los estudiantes de educación básica y media. Además, el programa capacita a los futuros licenciados para liderar proyectos de educación ambiental que fomenten prácticas sostenibles y la conservación de los recursos naturales, sensibilizando a la población sobre la importancia de adoptar hábitos responsables con el entorno (Tilbury, 2011).

El desarrollo de competencias científicas en los profesores no solo mejora la enseñanza de las ciencias naturales, sino que también contribuye a la formación de ciudadanos con pensamiento crítico y una cultura de investigación desde edades tempranas.

Esto fortalece la generación de conocimiento y la solución de problemas locales y globales, alineándose con los objetivos de una educación para el desarrollo sostenible (Sterling, 2001). Asimismo, la educación ambiental tiene un impacto directo en la salud y el bienestar de la comunidad, ya que promueve prácticas saludables y sostenibles en la alimentación, el uso del agua, el manejo de residuos y la protección de los ecosistemas. Esta relación entre educación y sostenibilidad es clave para garantizar un desarrollo equilibrado y consciente de los recursos naturales (Gadotti, 2008).

En términos de identidad regional, el programa se orienta a las necesidades y características específicas del departamento de Córdoba, promoviendo el desarrollo local a partir de un enfoque educativo que valora la riqueza cultural y ambiental de la región. La incorporación de conocimientos sobre la biodiversidad local y las prácticas tradicionales de manejo ambiental refuerza el sentido de pertenencia y el compromiso de los estudiantes con su entorno. La educación ambiental contextualizada permite una enseñanza más efectiva y pertinente, facilitando la apropiación de conocimientos que responden a las problemáticas y potencialidades del territorio (Leff, 2004).

El programa también prepara a los estudiantes para actuar como agentes de cambio social y ambiental, capacitándolos en liderazgo para gestionar y participar en proyectos comunitarios que aborden problemáticas ambientales y educativas.

En el *ítem 9*, se infiere que la enseñanza de la estructura atómica se incluye en asignaturas tales como Química General y Química Inorgánica. No obstante, este contenido representa un porcentaje bastante bajo, especialmente si se tiene en cuenta que en este programa el componente disciplinar abarca un porcentaje significativo del 51.46%.

4.1.4. Resultados U4

Ahora bien, se presenta el análisis del PEP del programa de la U4. Con relación al *ítem 1* para el caso del programa de la U4, se debe precisar que se cuenta con tres áreas: Pedagogía, Ciencias Naturales, y Educación Ambiental, cada una de ellas tiene un conjunto de temáticas, entendidas como espacios académicos, a continuación, en la Tabla 4.4. se describe la composición de las áreas y sus respectivos números de créditos y peso porcentual.

Tabla 4.4

Peso porcentual por componente curricular U4

Conocimiento	Asignaturas	No. Cr	%
Conocimiento Disciplinar - CD-	Fundamentos de ciencias naturales - 4 cr, Matemáticas I - 2 cr, Biología celular - 3 cr, Química inorgánica - 3 cr, Matemáticas II - 3 cr, Microbiología - 3 cr, Bioestadística - 2 cr, Química orgánica - 3 cr, Bioquímica - 3 cr, Biología vegetal y animal - 3 cr, Física I Procesos mecánicos - 3 cr, Anatomía y fisiología humana - 3 cr, Física II Procesos ondulatorios y termodinámicos - 3 cr, Genética - 3 cr, Física III Procesos electromagnéticos - 3 cr, Biofísica - 3 cr, Ambiente y cultura - 2 cr, Problemas ambientales - 3 cr, Política y legislación ambiental - 2 cr, Proyectos ambientales escolares - 3 cr, Ecología y biodiversidad - 3 cr, Patrimonio hídrico - 2 cr, Gestión de riesgos naturales y antrópicos - 2 cr, Educación ambiental y desarrollo sostenible - 2 cr, Seminario integrado de educación ambiental y ciencias naturales - 3 cr, Formación humanística - 24 cr.	93	57.06
Conocimiento Pedagógico - CP-	Cognición y pedagogía I - 2 cr, Desarrollo socioafectivo, pedagogía e inclusión I - 3 cr, Desarrollo socioafectivo, pedagogía e inclusión II - 3 cr, Cognición y pedagogía II - 2 cr, Seminario de currículo y Ciencias Naturales y Educación Ambiental - 3 cr, Epistemología e historia de la pedagogía - 2 cr, Epistemología e historia de las Ciencias Naturales y Educación Ambiental - 2 cr, Historia de la educación colombiana - 3 cr, Procesos y prácticas de evaluación - 2 cr, Políticas y gestión educativas - 1 cr, Administración de las instituciones educativas - 1 cr, Seminario integrado de epistemología e historia de la pedagogía - 3 cr, Informática aplicada a la enseñanza de las Ciencias Naturales - 2 cr, Electiva de Ciencias Naturales y Pedagogía - 2 cr, Seminario de cognición y procesos biofísicoquímicos - 3 cr, Tecnología de la información y la comunicación para la educación - 3 cr, Electiva de tecnociencia y contexto - 2 cr, Ética y pedagogía - 2 cr.	41	25.15
Conocimiento Didáctico del Contenido CDC	Didáctica de las ciencias naturales y ambientales I- 3cr, Didáctica de las ciencias naturales y ambientales II- 3 cr	6	3.69
Conocimiento del Contexto CC	Práctica pedagógica, Investigación e Integral I - 2 cr, Práctica pedagógica, Investigación e Integral II - 2 cr, Práctica pedagógica, Investigación e Integral III - 2 cr,	23	14.10

	Práctica pedagógica, Investigación e Integral IV - 2 cr,		
	Práctica pedagógica, Integral e Investigativa V - 2 cr,		
	Práctica pedagógica, Integral e Investigativa VI - 2 cr,		
	Práctica pedagógica, Integral e Investigativa VII - 2 cr,		
	Práctica pedagógica, Integral e Investigativa VIII - 3 cr,		
	Práctica pedagógica, Integral e Investigativa IX - 3 cr,		
	Práctica pedagógica, Integral e Investigativa X - 3 cr		
No corresponde		0	0

Así, se encuentra que el área de pedagogía representa el 42,95% del currículo, con un total de 70 créditos, este porcentaje evidencia la relevancia que el programa otorga a la formación pedagógica. Dentro de este componente, se incluyen asignaturas relacionadas con la práctica pedagógica, la epistemología e historia de la pedagogía, la didáctica de las ciencias naturales y ambientales, la gestión educativa y las tecnologías aplicadas a la enseñanza. también, la presencia de cursos de práctica pedagógica integral e investigativa en cada semestre refuerza la idea de una formación progresiva que combina teoría y práctica, preparando a los estudiantes para desempeñarse de manera efectiva en distintos contextos educativos.

El área de ciencias naturales tiene un peso del 28,83%, con 47 créditos distribuidos en asignaturas fundamentales como biología celular, genética, química inorgánica y orgánica, bioquímica, microbiología, bioestadística, física en sus diferentes áreas (procesos mecánicos, ondulatorios, termodinámicos y electromagnéticos), entre otras. La inclusión de un componente representativo en ciencias naturales asegura que los estudiantes desarrollen un conocimiento significativo en estas disciplinas, permitiéndoles fundamentar científicamente su labor profesoral y contribuir a la enseñanza de la educación científica en el nivel escolar.

Ahora bien, el área de educación ambiental representa el 13,50% del plan de estudios, con 22 créditos enfocados en asignaturas como ambiente y cultura, problemas ambientales, política y legislación ambiental, ecología y biodiversidad, proyectos ambientales escolares, patrimonio hídrico y gestión de riesgos naturales y antrópicos.

Finalmente, el área de formación humanística constituye el 14,72% del currículo, con 24 créditos destinados a fortalecer el desarrollo integral de los estudiantes a través de cursos que abarcan aspectos éticos, filosóficos, culturales y sociales

La distribución de los créditos en el programa de la U4 evidencia un énfasis en la formación pedagógica, además de la relevancia del componente disciplinar y ambiental, asegurando que los egresados cuenten con las herramientas necesarias para abordar los desafíos de la enseñanza de las ciencias naturales y la educación ambiental.

Para el *ítem 2*, El análisis del contexto poblacional en el programa de la U4 refleja una comunidad académica caracterizada por su diversidad cultural, étnica y socioeconómica. Con 60 estudiantes en el primer periodo académico, el programa se distingue por integrar jóvenes provenientes de distintas regiones de Nariño y Putumayo, lo que permite un proceso de enseñanza-aprendizaje enriquecido por la multiplicidad de perspectivas y experiencias.

En términos de diversidad étnica, el programa cuenta con la participación de estudiantes pertenecientes a comunidades indígenas, afrodescendientes y mestizas, reflejando la riqueza cultural de la región. La presencia de estos grupos en la educación superior no solo aporta visiones diversas sobre los problemas ambientales y educativos, sino que también, fortalece el enfoque intercultural en la formación del profesorado. Según Walsh (2009), la inclusión de saberes y prácticas culturales en los programas educativos contribuye a la descolonización del conocimiento y a la construcción de pedagogías más equitativas y contextualizadas.

En cuanto a la diversidad socioeconómica, el programa acoge a estudiantes de distintos estratos económicos, incluyendo a jóvenes de sectores vulnerables. La U4, comprometida con la equidad educativa, realiza estudios socioeconómicos para determinar el valor de la matrícula, asegurando así el acceso a la educación superior para aquellos que enfrentan dificultades económicas. Esta práctica contribuye a la democratización del conocimiento y permite que estudiantes de diversas realidades accedan a una formación de calidad sin que las condiciones económicas sean una barrera (Hurtado y Sánchez, 2022).

Ahora bien, en cuanto al *ítem 3*, la institución cuenta con diversas aulas de informática, una de ellas equipada con 22 computadores, video-beam y tablero digital, y conexión a Internet. En cuanto a los laboratorios dispone de espacios para cursos relacionados con química, biología y física.

Desde el ámbito bibliográfico, el programa de la U4 dispone de una amplia red de bibliotecas y centros de documentación, con la biblioteca central albergando aproximadamente 5,000 obras en áreas de lingüística, literatura, educación y pedagogía. También ofrece la biblioteca digital que cuenta con acceso a bases de datos científicas, redes de revistas académicas y repositorios de trabajos de investigación. Adicionalmente, la Facultad de Educación cuenta con 2,450 obras, la Biblioteca de Docencia Universitaria con 820 obras y el Centro de Estudios Latinoamericanos (CEILAT) con material especializado en historia, educación y literatura regional.

Por otro lado, la universidad implementa plataformas digitales para optimizar la enseñanza y la gestión académica. La plataforma Moodle facilita la creación de cursos virtuales y la interacción entre profesores y estudiantes, además cuenta con un Sistema de Información Integrado Sapiens apoya la administración académica.

Ahora bien, para el *ítem 4*, la organización del espacio de aprendizaje en el programa de la U4 se orienta hacia la construcción de un entorno inclusivo y colaborativo, en el que la gestión del tiempo y del espacio favorece el aprendizaje significativo y la formación integral de los estudiantes. Para ello, se implementan diversas estrategias que articulan la docencia, la investigación y la proyección social en un marco interdisciplinario. Según Zabalza (2007), la gestión del aula debe garantizar la interacción entre los diferentes actores educativos, permitiendo la construcción de un conocimiento compartido que potencie la formación de los estudiantes.

El trabajo autónomo es otro componente esencial en la organización del aprendizaje, ya que fomenta la responsabilidad de los estudiantes sobre su propio proceso de formación y les permite desarrollar actividades académicas de manera independiente.

También se destaca que uno de los ejes fundamentales en la organización del aprendizaje es la Práctica Pedagógica Integral e Investigativa (PPII), que se desarrolla de manera progresiva desde el primer hasta el décimo semestre.

En lo referente al *ítem 5*, se sustenta en estrategias didácticas que facilitan la comprensión de conceptos complejos mediante metodologías activas y el uso de tecnologías educativas. Los seminarios y talleres constituyen espacios fundamentales de formación

Además, se menciona que las prácticas de laboratorio no solo refuerzan la fundamentación disciplinar del licenciado, sino que también se consolidan como una estrategia didáctica clave para su desempeño como docente e investigador.

Por otro lado, en cuanto al *ítem 6*, la evaluación del aprendizaje en el programa de la U4 se fundamenta en una combinación de estrategias formativas y sumativas que permiten medir la adquisición de conocimientos desde múltiples enfoques. Por otro lado, la evaluación sumativa se lleva a cabo al final de cada período académico

Así, más allá de las pruebas tradicionales, el programa de la U4 valora el aprendizaje a través de proyectos y trabajos de investigación que integran la teoría con la práctica, fomentando la aplicación de conocimientos en contextos reales. La realización de prácticas de laboratorio es un componente esencial del proceso formativo, en el cual los estudiantes son evaluados mediante informes detallados, observaciones directas y desempeño en la ejecución de experimentos. Según Harlen (2006), la evaluación basada en proyectos y experimentos permite un aprendizaje más auténtico, en el que los estudiantes pueden demostrar su comprensión a través de experiencias prácticas.

También, se encuentra que los métodos de retroalimentación constructiva como la retroalimentación continua permite que los estudiantes reciban observaciones sobre su desempeño de manera constante, facilitando la mejora progresiva de sus habilidades. Además, las sesiones de tutoría y asesorías individuales ofrecen espacios en los que se pueden resolver inquietudes, discutir dificultades y recibir orientación personalizada.

Otra estrategia relevante es la autoevaluación y la coevaluación, que permiten a los estudiantes reflexionar sobre su propio aprendizaje y recibir retroalimentación de sus compañeros, promoviendo la autorregulación y el desarrollo del pensamiento crítico. Según Boud y Falchikov (2006), la autoevaluación es una estrategia clave para la construcción del conocimiento, ya que permite que los estudiantes asuman un rol activo en su aprendizaje y se responsabilicen de su progreso.

Asimismo, el programa emplea rúbricas de evaluación para establecer criterios claros y niveles de desempeño, proporcionando a los estudiantes una referencia precisa sobre las expectativas académicas y cómo pueden mejorar su rendimiento. Andrade (2005) destaca

que el uso de rúbricas facilita la comprensión de los criterios de evaluación, permitiendo que los estudiantes identifiquen sus fortalezas y áreas de mejora de manera objetiva.

Ahora bien, en cuanto al *ítem 7*, El desarrollo de competencias en el programa de la U4 se orienta al desarrollo de competencias pedagógicas y didácticas, con las cuales, se espera que los futuros licenciados desarrollen habilidades para diseñar y aplicar estrategias didácticas innovadoras que faciliten el aprendizaje en ciencias naturales y educación ambiental, lo que implica el uso de metodologías innovadoras que integren el diseño de proyectos didácticos que fomenten el aprendizaje significativo.

Así, en el ámbito de la evaluación, los estudiantes deben ser capaces de diseñar instrumentos y estrategias que permitan medir el aprendizaje de manera integral, identificando fortalezas y aspectos a mejorar en las prácticas, y les permita lograr el fortaleciendo de la participación democrática en el aula.

En el ámbito de las competencias científicas y disciplinares, los graduados deben poseer un sólido conocimiento en áreas como química, física, biología y educación ambiental, comprendiendo y aplicando principios científicos en su ejercicio docente. Además, deben desarrollar pensamiento crítico y argumentativo para interpretar fenómenos naturales, resolver problemas y tomar decisiones fundamentadas, favoreciendo una enseñanza basada en la indagación y la experimentación.

La investigación es otro eje fundamental en la formación de los licenciados, ya que se espera que desarrollen competencias que les permitan generar conocimiento a partir del análisis y la reflexión sobre su práctica docente. Esto incluye la capacidad de diseñar y ejecutar proyectos de investigación educativa, utilizando herramientas metodológicas que favorezcan la mejora continua de los procesos de enseñanza y aprendizaje, contribuyendo así al avance de la educación en ciencias naturales y a la innovación pedagógica.

En cuanto al trabajo colaborativo, se fomenta la capacidad de planear, organizar, dirigir y evaluar el trabajo dentro y fuera del aula, promoviendo la colaboración entre profesores y la comunidad educativa. El enfoque del aprendizaje colaborativo, según Johnson et al. (2014), permite a los estudiantes desarrollar habilidades de trabajo en equipo y resolver

problemas de manera conjunta, lo que fortalece su preparación para enfrentar los retos del ejercicio profesoral.

La capacidad de análisis crítico y la formulación de soluciones a problemáticas educativas y ambientales también son competencias clave en la formación de los licenciados. Se espera que los egresados sean capaces de identificar desafíos en el ámbito educativo y proponer estrategias basadas en la evidencia para su resolución. La reflexión crítica sobre la propia práctica docente es un elemento esencial para la mejora continua, tal como lo plantea Schön (2016) en su teoría sobre el profesional reflexivo.

Por último, la ética profesional es un eje transversal en la formación de los licenciados, garantizando que actúen con responsabilidad y contribuyan al bienestar de la comunidad mediante una educación inclusiva y equitativa. Tardif (2014) enfatiza la importancia de la ética en la enseñanza, señalando que el compromiso social del profesor es importante para la construcción de una sociedad más justa y equitativa.

El impacto del programa (*ítem 8*) de la U4 en la sociedad se evidencia en la formación de profesionales altamente capacitados en la enseñanza de las ciencias naturales y la educación ambiental, con un fuerte compromiso hacia la mejora educativa y la sostenibilidad ambiental.

Una de las principales contribuciones que menciona el programa radica en la mejora de la calidad educativa en los niveles de educación básica y media. A través de estrategias didácticas innovadoras, los profesores formados en la U4 implementan enfoques que promueven un aprendizaje significativo en ciencias naturales y fomentan la investigación en el aula.

Otro aspecto relevante es la promoción de la conciencia ambiental y la sostenibilidad, un eje central del programa de la U4. La formación de los futuros licenciados incluye la adquisición de competencias para diseñar e implementar proyectos educativos y ambientales que permitan abordar problemas como el cambio climático, la conservación de la biodiversidad y la gestión de recursos naturales. Tilbury (2011) señala que la educación para el desarrollo sostenible debe empoderar a los estudiantes con conocimientos y habilidades

para actuar en favor del medio ambiente y la equidad social, lo que refleja el compromiso del programa con la transformación social.

Además, el programa enfatiza la formación en liderazgo educativo, preparando a los futuros profesores para gestionar y coordinar proyectos comunitarios que impacten positivamente en sus contextos. La capacidad de liderazgo es fundamental para movilizar recursos, generar redes de apoyo y promover el interés por la ciencia y la investigación entre niños y jóvenes. Según Fullan (2001), el liderazgo educativo desempeña un papel crucial en la transformación escolar y en la mejora de los procesos de enseñanza y aprendizaje, asegurando que los profesores sean facilitadores del cambio en sus comunidades.

En el ámbito de la cultura científica, el programa fomenta la integración de la investigación en la educación, promoviendo el desarrollo de habilidades en la formulación y ejecución de proyectos de investigación en didáctica y ciencias naturales

Ahora bien, para el caso del *ítem 9*, de acuerdo con la revisión del PEP de la U4, se encuentra que los contenidos sobre estructura atómica se abordan en las asignaturas de Fundamentos de ciencias naturales la cual posee 4 créditos y Química Inorgánica con 3 créditos académicos. Estas asignaturas abordan temas clave como los modelos atómicos, la configuración electrónica, los enlaces químicos y la interacción de los átomos con campos electromagnéticos, aspectos fundamentales para la formación en ciencias naturales y educación ambiental.

De ese modo, en términos porcentuales se estima que tan sólo el 4,3% del total del plan de estudios, dedica temáticas relacionadas con el estudio de la estructura atómica, algo que es relativamente insuficiente, teniendo en cuenta que el 28,83% del programa, enfatiza su estudio en las ciencias naturales.

4.1.5. Resultados U5

A continuación, se presenta el análisis del PEP del programa de la U5. Con relación al *ítem 1*, se debe precisar que este programa tiene dos componentes, un básico con dos núcleos (específico y facultad) y un complementario flexible igualmente con dos núcleos (institucional y programa), asimismo cada núcleo posee un número de cursos con sus

respectivos créditos; la Tabla 4.5. presenta de manera discriminada la anterior organización con énfasis en su peso porcentual.

Tabla 4.5.

Peso porcentual por componente curricular U5

Conocimiento	Asignaturas	No. Cr	%
Conocimiento Disciplinar CD	Matemáticas básicas - 3 cr, Biología celular - 3 cr, Química general - 3 cr, Cálculo 1 - 3 cr, Microbiología - 3 cr, Química inorgánica - 3 cr, Mecánica - 3 cr, Cálculo 2 - 3 cr, Botánica - 3 cr, Química orgánica - 3 cr, Ondas y fluidos - 3 cr, Estadística y probabilidad - 3 cr, Zoología - 3 cr, Química analítica - 3 cr, Termodinámica - 3 cr, Sistemática - 4 cr, Geociencias - 3 cr, Físicoquímica - 3 cr, Electromagnetismo - 1 cr, Fisiología humana - 3 cr, Gestión ambiental - 3 cr, Bioquímica - 3 cr, Óptica - 3 cr, Biología molecular - 3 cr, Ecología - 3 cr, Relatividad y conceptos de mecánica cuántica - 3 cr, Epistemología de las ciencias naturales - 3 cr, Química ambiental - 3 cr, Astronomía - 2 cr.	87	53.94
Conocimiento Pedagógico CP	Historia y filosofía de la educación - 3 cr, Psicología general y evolutiva - 3 cr, Psicología del aprendizaje - 3 cr, Pedagogía - 4 cr, Currículo - 3 cr, Metodología de la investigación - 3 cr, Informática educativa y medios audiovisuales - 2 cr, Gestión y desarrollo educativo - 3 cr, Sociología de la educación - 3 cr, Epistemología - 2 cr, Comunicación lingüística I - 2 cr, Comunicación lingüística II - 2 cr, Ética - 1 cr, Constitución política - 1 cr.	36	22.64
Conocimiento Didáctico del Contenido CDC	Didáctica uno - 3 cr, Didáctica 2 - 3 cr	6	3.72
Conocimiento del Contexto CC	Práctica pedagógica 1 - 4 cr, Práctica pedagógica 2 - 5 cr.	9	5.58
No corresponde	Formación humanística - 21 cr	21	14.12

Como se observa en la tabla, el componente básico representa el 84,28% del currículo y el componente complementario flexible representa el 15,72%. Dentro del componente básico se distinguen dos núcleos: el núcleo específico, que constituye el 64,15% del total del

currículo, y el núcleo de facultad, que abarca el 20,13%. En el componente complementario flexible, el núcleo institucional representa el 2,51%, mientras que el núcleo de programa equivale al 13,21% del total de créditos.

El componente básico, es el eje central de la formación y se divide en los núcleos específico y facultad, garantizando una preparación en ciencias naturales y educación ambiental. El núcleo específico, con 102 créditos, es el más representativo dentro del plan de estudios y está conformado por asignaturas que abordan contenidos fundamentales en matemáticas, biología, química y física, asegurando que los estudiantes adquieran una base sólida en el campo disciplinar. Además, asignaturas como Didáctica 1 y 2 (6 créditos en total), que el análisis del microcurrículo pone de manifiesto que son CDC, Epistemología de las Ciencias Naturales (3 créditos) y Gestión Ambiental (3 créditos) refuerzan la integración entre el conocimiento disciplinar y las metodologías de enseñanza.

En cuanto al núcleo de facultad, con 32 créditos, este núcleo complementa la formación del estudiante mediante cursos de pedagogía, psicología y metodología de la investigación, asimismo, este articula la formación científica con la formación didáctica, proporcionando herramientas para la enseñanza en diversos contextos educativos.

Ahora bien, en cuanto al componente complementario flexible, este otorga mayor autonomía a los estudiantes en su formación y se compone de los núcleos institucional y de programa. El núcleo institucional, con apenas 4 créditos, está diseñado para proporcionar conocimientos en áreas transversales de la formación profesional; si bien este núcleo tiene un peso menor en el currículo, sus asignaturas refuerzan la formación ciudadana y la capacidad de comunicación de los estudiantes. En cuanto al núcleo de programa, este cuenta con 21 créditos, asignados a la formación humanística, este espacio académico amplía la perspectiva de los estudiantes en temas filosóficos, culturales y sociales.

En términos generales, el programa de la U5 presenta un balance entre la formación científica, pedagógica y humanística, asegurando que los egresados adquieran tanto conocimientos disciplinares como herramientas metodológicas y éticas para su ejercicio profesional.

En cuanto al *ítem 2*, el programa de la U5 cuenta con una matrícula de 256 estudiantes, lo que refleja una comunidad académica diversa en términos culturales, étnicos y socioeconómicos. Esta diversidad se manifiesta en la procedencia geográfica de los estudiantes, quienes provienen de distintas regiones del departamento del Huila, así como del sur del Tolima, Putumayo y Cauca. La heterogeneidad regional permite un intercambio de saberes y experiencias que enriquecen el ambiente académico y fortalecen una perspectiva intercultural dentro del programa. Como afirma Banks (2004), la educación en contextos multiculturales fomenta la interacción y el entendimiento entre distintas comunidades, promoviendo el respeto por la diversidad y la inclusión en el ámbito educativo.

En cuanto al *ítem 3*, el programa de la U5 cuenta con una infraestructura importante, 121 aulas de clase con capacidad para 5,341 estudiantes. Además, dispone de 26 aulas especializadas para 130 estudiantes y 88 laboratorios, talleres y depósitos con capacidad para 1,760 estudiantes. Desde el punto de vista bibliográfico, la U5 cuenta con cinco bibliotecas con una capacidad combinada para 380 estudiantes, lo que asegura el acceso a material bibliográfico actualizado y espacios de estudio adecuados para la consulta e investigación, con estos espacios se pretende desarrollar competencias informacionales en los estudiantes, ya que, como señala García-Peñalvo (2021), las bibliotecas universitarias inciden en un buen porcentaje en la formación académica al proporcionar acceso a fuentes confiables de conocimiento y fortalecer la alfabetización científica.

En términos de infraestructura tecnológica, la U5 dispone de 25 salas de cómputo con un total de 496 equipos, lo que facilita el acceso a herramientas digitales esenciales para el aprendizaje y la investigación. Además, los seis auditorios, con una capacidad combinada de 2,071 personas, constituyen espacios ideales para la realización de eventos académicos, conferencias y seminarios. La integración de estos recursos físicos con tecnologías educativas refuerza la enseñanza basada en metodologías activas y en la interacción con materiales digitales (Laurillard, 2013). Además, los estudiantes tienen acceso a laboratorios especializados en Física, Química y Biología.

En cuanto al *ítem 4*, La organización del espacio de aprendizaje en el programa de la U5 se fundamenta en un modelo inclusivo y colaborativo, asegurando que los estudiantes reciban una formación integral. Este enfoque se sustenta en la diversidad cultural y

socioeconómica del estudiantado, incluyendo la participación de comunidades indígenas, afrodescendientes, desplazados por la violencia y reinsertados de los procesos de paz. Según Ainscow (2001), un modelo educativo inclusivo debe garantizar el acceso equitativo a la educación, eliminando barreras estructurales y promoviendo la diversidad dentro del aula, en este sentido, el programa de la U5 implementa políticas de bienestar universitario que incluyen servicios de salud, apoyo psicológico, actividades culturales y deportivas, y asistencia financiera para aquellos estudiantes con dificultades económicas.

La participación estudiantil es un eje central en la estructura académica del programa. Se promueve la autonomía y la toma de decisiones mediante la integración de los estudiantes en comités de currículo y de práctica pedagógica, lo que les permite incidir en los procesos académicos y administrativos. Este tipo de estrategias han sido destacadas por Freire (1970) como fundamentales en la educación liberadora, ya que fomentan la construcción colectiva del conocimiento y el desarrollo de un pensamiento crítico en los estudiantes.

Además, el programa fomenta la integración mediante actividades extracurriculares como talleres de danza, teatro, música y deportes, lo que fortalece el sentido de comunidad y la convivencia en el entorno universitario.

Además, el programa implementa un sistema de créditos académicos que favorece la flexibilidad curricular, permitiendo que los estudiantes elijan cursos electivos y organicen su tiempo de estudio de manera autónoma. Este modelo responde a las tendencias actuales en educación superior, que enfatizan la personalización del aprendizaje y la formación por competencias (Biggs y Tang, 2011).

En lo referido al *ítem 5*, con respecto a las metodologías, hacen un especial énfasis a las metodologías activas utilizadas como: aprendizaje basado en problemas (ABP): a través de situaciones reales, los estudiantes aplican conocimientos teóricos para resolver desafíos científicos; indagación: se incentiva la curiosidad científica mediante la formulación de preguntas abiertas y la realización de experimentos diseñados por los propios estudiantes, permitiendo un aprendizaje autónomo y exploratorio (Laurillard, 2013).

Además, contemplan el trabajo en equipo y actividades colaborativas; análisis de estudios de caso; prácticas de laboratorio; la integración de herramientas tecnológicas, en la

que contemplan simulaciones y software especializado: herramientas como PhET Interactive Simulations y Molecular Workbench permiten la interacción con modelos virtuales de átomos y moléculas, favoreciendo la exploración y la predicción de comportamientos atómicos en distintas condiciones (Wieman et al., 2008)

También, se destaca las aplicaciones móviles educativas: se promueve el uso de aplicaciones como *Periodic Table*, *Atom Visualizer* y *ChemCrafter*, que permiten estudiar y practicar conceptos en cualquier momento y lugar, reforzando el aprendizaje ubicuo (Traxler, 2009).

Pues bien, en lo referido al *ítem 6*, el programa de la U5 adopta un enfoque integral y diverso en la evaluación del aprendizaje, combinando métodos formativos, sumativos, diagnósticos y alternativos para garantizar una valoración completa del desarrollo de los estudiantes.

El programa promueve la autoevaluación y coevaluación, permitiendo que los estudiantes reflexionen sobre su progreso y reciban retroalimentación de sus compañeros, fortaleciendo el aprendizaje colaborativo. Además, las evaluaciones prácticas y experimentales incluyen actividades de laboratorio, trabajos de campo y proyectos aplicados,

Para el *ítem 7*, el programa de la U5 forma a sus estudiantes en un conjunto integral de competencias científicas, pedagógicas, investigativas, comunicativas, éticas y de gestión educativa, asegurando que puedan desempeñarse con éxito en el ámbito profesional y afrontar los desafíos del mundo educativo y científico. Desde el punto de vista científico, los futuros licenciados deben comprender y aplicar los principios fundamentales de la física, química y biología, integrando estos conocimientos para resolver problemas complejos y fomentar la innovación. La capacidad de realizar experimentos y prácticas de laboratorio con precisión y seguridad es esencial para consolidar la comprensión de los fenómenos científicos, lo que se alinea con la propuesta de Abrahams y Millar (2008), quienes destacan que la experimentación refuerza significativamente la adquisición de conocimientos científicos y el desarrollo del pensamiento crítico.

En el ámbito didáctico, los estudiantes desarrollan competencias para diseñar, planificar y ejecutar estrategias didácticas innovadoras que faciliten el aprendizaje de las ciencias naturales.

En cuanto al componente investigativo el programa enfatiza en la formación para la investigación, a través de la formulación de investigaciones de aula y aplicadas específicamente al componente disciplinar. Esto permite que los egresados puedan generar conocimiento y mejorar continuamente sus prácticas. Según Creswell (2014), la formación en investigación cualitativa y cuantitativa en la educación superior es crucial para desarrollar profesionales con una visión crítica y capacidad para proponer soluciones fundamentadas a problemáticas en su disciplina.

En términos de comunicación, se promueve la expresión oral y escrita para la divulgación científica, facilitando la transmisión efectiva del conocimiento y el trabajo en equipo dentro del aula. La argumentación y la comunicación clara son esenciales para la enseñanza de las ciencias, lo que concuerda con las ideas de Osborne (2010), quien señala que la argumentación científica fomenta una mejor comprensión de los conceptos y desarrolla el pensamiento crítico en los estudiantes.

Las competencias éticas y sociales incluyen actuar con responsabilidad y ética profesional, promoviendo la conciencia ambiental y fomentando valores de respeto, tolerancia e inclusión en los entornos educativos.

El programa también capacita a los futuros licenciados en gestión educativa, dotándolos de habilidades para coordinar proyectos, administrar recursos y colaborar con otros profesores en la mejora de la calidad educativa. Según Fullan (2001), el liderazgo profesoral es clave para impulsar cambios en el sistema educativo, asegurando que los educadores puedan contribuir a la transformación de sus comunidades y a la implementación de estrategias innovadoras en el aula.

Para enfrentar los desafíos profesionales, se fomenta la adaptabilidad y flexibilidad, permitiendo a los profesores ajustarse a distintos contextos educativos y responder a cambios con estrategias innovadoras.

La gestión del aula es otro aspecto clave, ya que los licenciados deben ser capaces de implementar estrategias efectivas para mantener un ambiente de aprendizaje positivo, manejar conflictos de manera justa y promover la disciplina basada en el respeto. La planificación y organización son esenciales para la gestión curricular y la optimización de los recursos educativos, asegurando que los estudiantes reciban una formación estructurada y de calidad. En este sentido, Zabalza (2007) subraya la importancia de la planificación en la enseñanza universitaria, destacando que una estructura curricular bien diseñada impacta directamente en el éxito académico de los estudiantes.

Finalmente, en el ámbito de la evaluación y retroalimentación, se capacita a los estudiantes para diseñar instrumentos de evaluación que reflejen el aprendizaje de los estudiantes y proporcionar retroalimentación constructiva para su mejora continua. La implementación de estrategias de evaluación diversificadas permite garantizar que los estudiantes no solo adquieran conocimientos, sino que también, desarrollen habilidades para aplicarlos en contextos reales. Hattie y Timperley (2007) enfatizan que la retroalimentación efectiva es uno de los factores clave para la mejora del rendimiento académico, ya que proporciona información específica sobre el progreso y guía a los estudiantes en su aprendizaje.

Para el caso del *ítem 8*, el programa de la U5 tiene un impacto significativo en la sociedad al formar profesionales capaces de impulsar el desarrollo científico, tecnológico y ambiental con un enfoque en la sostenibilidad y la inclusión. A través de metodologías innovadoras y la promoción de la ciencia y la tecnología, el programa fomenta el interés por la investigación y el desarrollo, contribuyendo así al avance del conocimiento en el país. Según Tilbury (2011), la educación para la sostenibilidad no solo debe transmitir conocimientos, sino también promover la toma de decisiones responsables y la implementación de prácticas sostenibles en la vida cotidiana, en este sentido, el programa integra prácticas pedagógicas orientadas a la conservación ambiental y el uso responsable de los recursos naturales, preparando a los egresados para actuar como agentes de cambio en sus comunidades.

Uno de los principales aportes del programa es su contribución a la equidad e inclusión en la educación, garantizando formación de calidad para todos los estudiantes y fomentando valores de respeto, tolerancia y solidaridad dentro y fuera del aula.

Además, el programa integra la educación para la sostenibilidad en el currículo, asegurando que los futuros profesores no solo transmitan conocimientos científicos, sino que también promuevan prácticas sostenibles en los entornos educativos y sociales. Según UNESCO (2017), la formación de profesores en ciencias y educación ambiental es esencial para consolidar ciudadanos comprometidos con la conservación del medio ambiente y la búsqueda de soluciones a problemáticas ecológicas globales y locales.

El programa también impulsa la innovación y la creatividad en la resolución de problemas sociales y ambientales, brindando herramientas para diseñar estrategias de enseñanza y proyectos de impacto que aborden desafíos reales. Esto se alinea con la propuesta de Fullan (2001), quien sostiene que los educadores deben ser líderes del cambio, promoviendo el desarrollo de iniciativas que transformen las instituciones educativas y generen mejoras en la sociedad. Asimismo, se incentiva el trabajo colaborativo y la creación de redes de apoyo entre estudiantes, profesores y la comunidad, facilitando la construcción de iniciativas conjuntas orientadas a la transformación educativa y social.

Finalmente, en cuanto al *ítem 9*, el PEP del programa de la U5 incluye contenidos explícitos sobre la estructura atómica en cursos como física y química, además, de cursos específicos que hacen referencia a la teoría cuántica, ejemplo: Relatividad y Conceptos de Mecánica Cuántica, y Física Cuántica

Así, estas asignaturas pueden garantizar que los estudiantes desarrollen una comprensión sobre la estructura atómica, su evolución teórica y sus aplicaciones en la enseñanza de las ciencias naturales. De acuerdo con el plan de estudios, las asignaturas mencionadas suman aproximadamente 18 créditos dentro de un total de 159 créditos del componente básico del programa, esto indica que alrededor del 11,32% del currículo disciplinar estaría dedicado específicamente al estudio de la estructura atómica y sus aplicaciones en química y física.

4.1.6 Análisis comparativo de los Proyectos Educativos de Programa (PEP)

Teniendo en cuenta lo encontrado es posible identificar patrones, diferencias y áreas de oportunidad en la formación de futuros licenciados en Ciencias Naturales y Educación Ambiental. A partir de la revisión de estos programas, se han categorizado las principales dimensiones que impactan la enseñanza del CDC

Los cinco programas presentan una distribución curricular que combina formación disciplinar, pedagógica y didáctica, aunque con diferentes proporciones. U1 y U3 asignan un mayor porcentaje de créditos al componente disciplinar (42.2% y 51.46%, respectivamente), lo que indica una fuerte orientación hacia la profundización en ciencias naturales. En contraste, U4 y U5 muestran un equilibrio distribuido entre pedagogía, ciencias naturales y educación ambiental. U2, por su parte, otorga una mayor relevancia a la enseñanza de las ciencias (40.3%), integrándola con la investigación educativa. En todas las licenciaturas en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de las cinco universidades analizadas —que, cabe recordar, representan aproximadamente un tercio del total de universidades—, se sigue el modelo de Dewey (1945), que considera que la formación del profesorado se basa en la suma de conocimientos disciplinares (CD) y conocimientos pedagógicos (CP) (Solbes, 2024). No se tiene en cuenta el modelo de Shulman (1987) que introdujo el concepto de Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC), como un componente central del conocimiento base del profesorado, junto a los conocimientos pedagógicos (CP) y los conocimientos disciplinares (CD). Esto se evidencia en la escasa presencia del CDC, en este caso didáctica de las ciencias, en las 5 licenciaturas. En U1 no se pueden saber con exactitud al estar unificado con las practicas, lo que nos da un 27,6 % de los créditos, en U2 5.55%, y para U4 y U5 supone un escaso 3,7 % y en U3 no hay (0,0 %). Esto refleja la necesidad de integrar el CDC (Shulman, 1987) para asegurar que los futuros profesores no solo posean conocimientos científicos y pedagógicos, sino que también desarrollen habilidades para la enseñanza de las ciencias en general, y de la estructura atómica en particular.

Los programas analizados reflejan una amplia diversidad cultural y socioeconómica en su matrícula. U5 cuenta con la mayor cantidad de estudiantes (256), seguida por U1 y U2 con una menor población, lo que indica una variabilidad en la cobertura y demanda del programa. U2 y U4 presentan una notable inclusión de comunidades indígenas y

afrodescendientes, promoviendo una formación intercultural que permite a los estudiantes abordar la educación desde perspectivas diversas. Este enfoque es clave en la educación ambiental y en la enseñanza de las ciencias, ya que permite integrar conocimientos locales con la formación académica formal (Banks, 2004).

En términos socioeconómicos, los cinco programas cuentan con mecanismos de apoyo a estudiantes en condiciones de vulnerabilidad, a través de becas, descuentos en matrículas y programas de bienestar universitario. Sin embargo, no todos los programas detallan estrategias específicas para garantizar la permanencia y éxito de estos estudiantes, lo que sugiere la necesidad de fortalecer políticas de acompañamiento académico y apoyo socioeconómico.

Los programas U1, U3 y U5 cuentan con una infraestructura robusta en términos de laboratorios y aulas especializadas, asegurando espacios adecuados para la formación experimental en ciencias naturales. U2 y U4 presentan una oferta de laboratorios más limitada, aunque complementada con el acceso a plataformas digitales y recursos en línea.

En términos de infraestructura tecnológica, U5 y U4 destacan por su inversión en TIC, con aulas digitales, plataformas de aprendizaje virtual y acceso a bases de datos científicas. U1 y U3 también integran herramientas digitales en su enseñanza, aunque con menor énfasis en el aprendizaje virtual. U2 muestra una combinación equilibrada entre recursos físicos y virtuales, promoviendo un modelo híbrido de enseñanza.

Esto sugiere que la disponibilidad de infraestructura impacta la forma en que los programas enseñan los contenidos científicos. Programas con mayor acceso a laboratorios físicos pueden enfatizar la experimentación directa, mientras que aquellos con limitaciones en este aspecto pueden recurrir a laboratorios virtuales y simulaciones para compensar la falta de espacios físicos (Wieman y Perkins, 2005).

La organización del espacio de aprendizaje en los cinco programas se orienta hacia un modelo constructivista y enfatizan en el aprendizaje activo. U1, U2 y U3 promueven el trabajo en equipo y la interdisciplinariedad, mientras que U4 y U5 enfatizan la flexibilidad curricular y la integración de tecnologías en la enseñanza.

En términos metodológicos, los cinco programas incorporan metodologías activas como el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), la indagación científica y el uso de simulaciones digitales. Sin embargo, U1 y U3 muestran una mayor inclinación hacia el uso de laboratorios físicos y metodologías experimentales, mientras que U2, U4 y U5 hacen mayor uso de recursos digitales e interactivos.

Esto se alinea con estudios sobre didáctica de las ciencias, que destacan la importancia de diversificar las estrategias de enseñanza para mejorar la comprensión de conceptos abstractos como la estructura atómica (Abrahams y Millar, 2008). Programas con una combinación de enseñanza experimental y digital parecen tener una ventaja en la enseñanza de estos contenidos.

Los cinco programas combinan evaluaciones formativas y sumativas, aunque con variaciones en su implementación. U1, U3 y U5 enfatizan la evaluación experimental mediante informes de laboratorio y proyectos de investigación, mientras que U2 y U4 incorporan un enfoque más amplio que incluye autoevaluación y coevaluación.

El uso de portafolios de aprendizaje en U2 y U4 es un elemento diferenciador, ya que permite a los estudiantes documentar su progreso de manera estructurada, promoviendo la metacognición y la autonomía en el aprendizaje (Paulson et al., 1991). En cambio, U1 y U3 se centran más en la evaluación mediante exámenes escritos y pruebas prácticas en laboratorios.

Este análisis sugiere que los programas con mayor diversidad en sus estrategias evaluativas pueden ofrecer una visión más completa del aprendizaje de los estudiantes, asegurando que no solo se midan conocimientos adquiridos, sino también habilidades de investigación y resolución de problemas (Talanquer, 2015)

Los cinco programas enfatizan la formación de competencias científicas, pedagógicas e investigativas, aunque con diferencias en su enfoque. U1 y U3 priorizan el dominio del conocimiento disciplinar, mientras que U2, U4 y U5 se observa un equilibrio entre la formación disciplina y los cursos de pedagogía.

En términos de formación en educación ambiental, U4 y U5 destacan por su integración de la sostenibilidad en el currículo, preparando a los egresados para abordar

problemáticas ambientales en sus contextos de enseñanza. Esto está en línea con la propuesta de la UNESCO (2017) sobre la importancia de formar profesores con conciencia ecológica y capacidad para promover la educación ambiental.

Por otro lado, U1, U4, U3 y U5 presentan un enfoque más investigativo, preparando a los estudiantes para diseñar y ejecutar proyectos de investigación en el aula, incorporando elementos de formación en investigación.

Los cinco programas tienen un impacto significativo en la sociedad, aunque con enfoques distintos. U1 y U3 buscan mejorar la calidad de la enseñanza de las ciencias naturales mediante la formación de profesores con un alto nivel de conocimiento disciplinar. U2 y U4 ponen mayor énfasis en la equidad educativa y la formación intercultural, mientras que U5 se centra en la sostenibilidad y la formación de líderes en educación ambiental.

Esto sugiere que cada programa responde a necesidades específicas de su región y comunidad, lo que refuerza la importancia de diseñar currículos contextualizados y alineados con los desafíos educativos y ambientales locales (Freire, 1970; Tilbury, 2011).

Ahora bien, en cuanto al *ítem 9* todos los programas incluyen contenidos sobre estructura atómica, generalmente dentro de asignaturas de química y física. Sin embargo, la profundidad con la que se abordan estos temas y el enfoque metodológico varía entre programas.

En términos de profundidad en la enseñanza, U5 es el programa que presenta los cursos más detallados, abordando el tema de estructura atómica y curso específico de teoría cuántica, mientras que U1, U4, U2, U3 establecen relaciones de los conceptos de estructura atómica como un contenido en los cursos de química y algunos aspectos de fundamentación en física.

4.2. Resultados del Análisis de los Microcurrículos

4.2.1. Resultados Rejilla de Análisis para Selección de Cursos que Aborden la Temática de Estructura Atómica LCN1

La LCN1, tiene una estructura curricular, diseñada para ofrecer una formación interdisciplinaria que integra la química, la física y la biología. Este enfoque refleja un

esfuerzo significativo por abordar la complejidad de las ciencias naturales desde diversas perspectivas.

Así, la revisión de los microcurrículos revela una estructura común que se refleja en todos los cursos analizados. Cada documento inicia con una identificación general que especifica el programa académico al que pertenece, el campo del saber, el núcleo académico y otros datos relevantes. Esta información proporciona un contexto básico que permite comprender cómo cada curso se integra dentro del plan de estudios general. Posteriormente, se presenta la identificación específica de cada curso, incluyendo los créditos académicos asignados y la distribución de horas, que se desglosa en docencia directa, docencia asistida y trabajo autónomo del estudiante, tanto a nivel semanal como semestral. Esta segmentación resulta clave para evaluar la carga académica y la metodología empleada en cada curso.

En la descripción del espacio de formación se presentan los problemas, la justificación y los propósitos del curso, los cuales incluyen los ejes temáticos principales que orientan el desarrollo de los contenidos. Cada eje temático está acompañado de preguntas orientadoras y se establece la duración asignada a cada tema. Además, se mencionan los elementos transversales, las competencias abordadas y la metodología empleada, la cual se divide en docencia directa y docencia asistida. Asimismo, se detalla el proceso de evaluación y se incluye una bibliografía recomendada para respaldar los contenidos y las actividades propuestas en el curso.

Por consiguiente, los microcurrículos de este programa constituyen una valiosa fuente de información para el objeto de estudio. En este sentido, la revisión se enfoca en el campo del saber en Ciencias Naturales, específicamente en el núcleo de física y química, y en el campo del saber pedagógico, con énfasis en el núcleo de didáctica.

Componente disciplinar

El análisis del núcleo de Física revela una estructura curricular que incluye un curso introductorio y tres cursos secuenciales bajo el título de Física Biológica. Estos cursos están diseñados para explorar las interacciones entre los fenómenos físicos y biológicos, destacando un enfoque interdisciplinario en la formación de licenciados en Ciencias Naturales.

Introducción a la Física: Este curso se imparte en el primer semestre y tiene una asignación de 3 créditos académicos, distribuidos de la siguiente manera: 4 horas de docencia directa, 2 horas de docencia asistida y 4 horas de trabajo autónomo del estudiante, sumando un total de 10 horas de trabajo semanal, equivalentes a 160 horas a lo largo del semestre.

El contenido del curso abarca aspectos epistemológicos relacionados con la naturaleza de la ciencia, la medición, los hitos históricos en la construcción de la física y el uso de modelos. Entre los ejes problemáticos destacados se incluyen la historia de la física, el modelo cosmológico de Ptolomeo, el heliocentrismo de Copérnico, las leyes de Kepler y conceptos filosóficos griegos como la concepción atómica de Demócrito y Leucipo. La inclusión de estos temas proporciona una base sólida para comprender la evolución del pensamiento científico.

Física Biológica: Este curso se imparte en el segundo semestre y cuenta con 3 créditos académicos, distribuidos de la siguiente manera: 4 horas de docencia directa, 3 horas de docencia asistida y 2 horas de trabajo autónomo del estudiante, sumando un total de 9 horas de trabajo semanal, equivalentes a 144 horas a lo largo del semestre.

El curso introduce conceptos fundamentales como la medición, las magnitudes, los vectores, el movimiento de los cuerpos, el concepto de fuerza y las leyes de Newton. También abarca temas como la física de oscilaciones, ondas, mecánica de fluidos y termodinámica, integrando su aplicación a los procesos biológicos, lo que refuerza una formación interdisciplinaria.

Física Biológica II: Este curso se desarrolla en el tercer semestre y tiene una asignación de 4 créditos académicos, distribuidos de la siguiente manera: 3 horas de docencia directa, 2 horas de docencia asistida y 3 horas de trabajo autónomo del estudiante, lo que equivale a 8 horas de trabajo semanal y un total de 128 horas a lo largo del semestre.

El contenido del curso pone énfasis en los fenómenos ondulatorios y su relación con los sistemas biológicos, explorando temas como la visión, la audición y la termodinámica. De esta manera, los estudiantes pueden comprender cómo los principios físicos se aplican directamente al estudio de los procesos biológicos.

Física Biológica III: Este curso se imparte en el cuarto semestre y tiene 4 créditos académicos, distribuidos de la siguiente manera: 3 horas de docencia directa, 2 horas de docencia asistida y 3 horas de trabajo autónomo del estudiante, sumando un total de 8 horas de trabajo semanal, equivalentes a 128 horas a lo largo del semestre.

El contenido se centra en las interacciones eléctricas y los fenómenos electromagnéticos, abarcando temas como cargas eléctricas, circuitos y magnetismo, proporcionando una base fundamental para la comprensión de los efectos electromagnéticos en sistemas biológicos.

La revisión realizada evidencia un enfoque en la integración de la física con la biología a través de los cursos secuenciales de Física Biológica. La inclusión de aspectos epistemológicos en el curso Introducción a la Física, junto con la exploración de temas históricos y filosóficos, proporciona una base sólida para comprender la evolución del pensamiento científico en el campo de la física.

Además, la progresión de los cursos de Física Biológica, desde conceptos fundamentales hasta fenómenos más complejos, refleja un enfoque integral en la comprensión de las interacciones entre la física y la biología. Si bien se destaca la inclusión de temas relevantes en estos cursos, sería recomendable considerar la integración de conceptos de física moderna en futuras actualizaciones curriculares, con el fin de enriquecer aún más la formación de los estudiantes en este campo interdisciplinario.

Ahora bien, en el núcleo de química del programa se desarrolla a través de cinco cursos secuenciales denominados: Sistemas Químicos I, II, III, IV y V. Estos cursos están diseñados para fundamentar un enfoque centrado en la biología como núcleo articulador de las ciencias naturales, evidenciando una coherencia curricular orientada hacia la interdisciplinariedad.

Sistemas Químicos I: Este curso se imparte en el primer semestre y cuenta con 4 créditos académicos, distribuidos de la siguiente manera: 4 horas de docencia directa, 4 horas de docencia asistida y 4 horas de trabajo autónomo del estudiante, sumando un total de 12 horas de trabajo semanal, equivalentes a 192 horas a lo largo del semestre.

El contenido introduce conceptos fundamentales de la química y el método científico, abordando temas como la naturaleza de los materiales, las sustancias, la estructura atómica, la tabla periódica, el enlace químico y la estequiometría.

En este curso, el eje problemático 2 abarca contenidos clave relacionados con la estructura atómica, incluyendo los modelos atómicos, la masa atómica, la interacción materia-energía, la radiación electromagnética, las configuraciones electrónicas y el modelo atómico de la mecánica cuántica.

Sistemas Químicos II: Este curso se imparte en el segundo semestre y cuenta con 4 créditos académicos, distribuidos de la siguiente manera: 4 horas de docencia directa, 4 horas de docencia asistida y 4 horas de trabajo autónomo del estudiante, sumando un total de 12 horas de trabajo semanal, equivalentes a 192 horas a lo largo del semestre.

El curso aborda los fundamentos teóricos de la química orgánica, incluyendo nomenclatura, estereoquímica y tipos de reacciones. Aunque estos temas son relevantes para la formación, no tienen una aplicación directa en el análisis del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) sobre la estructura atómica, razón por la cual este curso no se incluye en el análisis específico.

Sistemas Químicos III: Este curso se imparte en el tercer semestre y cuenta con 4 créditos académicos, distribuidos de la siguiente manera: 4 horas de docencia directa, 4 horas de docencia asistida y 4 horas de trabajo autónomo del estudiante, sumando un total de 12 horas de trabajo semanal, equivalentes a 192 horas a lo largo del semestre.

La temática se centra en los procedimientos, modelos, teorías y conceptos de la química analítica, con un contenido orientado al desarrollo de habilidades analíticas, fundamentales para la comprensión y aplicación de esta disciplina.

Sistemas Químicos IV: Este curso se imparte en el cuarto semestre y cuenta con 4 créditos académicos, distribuidos de la siguiente manera: 4 horas de docencia directa, 4 horas de docencia asistida y 4 horas de trabajo autónomo del estudiante, sumando un total de 12 horas de trabajo semanal, equivalentes a 192 horas a lo largo del semestre.

La temática abarca conceptos de química general y fisicoquímica, con un enfoque en la naturaleza de la materia, sus propiedades y su relación con diversas formas de energía.

Este curso resulta especialmente útil para la comprensión de fenómenos fisicoquímicos en contextos ambientales; sin embargo, no tiene una aplicación directa en el análisis específico de la estructura atómica.

Sistemas Químicos V: Este curso se imparte en el quinto semestre y cuenta con 4 créditos académicos, distribuidos de la siguiente manera: 4 horas de docencia directa, 4 horas de docencia asistida y 4 horas de trabajo autónomo del estudiante, sumando un total de 12 horas de trabajo semanal, equivalentes a 192 horas a lo largo del semestre.

El curso explora conceptos clave de bioquímica, incluyendo las propiedades de las enzimas, su clasificación y los factores que afectan su cinética. Además, abarca temas de bioenergética y metabolismo de biomoléculas, fundamentales para una comprensión interdisciplinaria de la química en contextos biológicos. No obstante, su enfoque no se centra específicamente en el estudio de la estructura atómica.

El análisis del núcleo de Química muestra que el programa está bien estructurado y diseñado para ofrecer una formación integral e interdisciplinaria en ciencias naturales. La integración de la química con otras disciplinas, como la biología, constituye una fortaleza clave de este enfoque curricular. No obstante, aunque el curso *Sistemas Químicos I* aborda directamente el objeto de investigación, es necesario fortalecer y ampliar los contenidos relacionados con la estructura atómica y la mecánica cuántica en los cursos subsecuentes. Esto permitiría a los estudiantes adquirir una comprensión más profunda y actualizada de estos temas, fundamentales para enfrentar los desafíos educativos y científicos contemporáneos.

Didáctica

En este programa, la didáctica se integra dentro del núcleo de práctica pedagógica, lo que constituye una particularidad destacable. Esto se ejemplifica en Práctica V, que incluye un módulo introductorio sobre didáctica y otro dedicado a la enseñanza de la Biología. De manera similar, Práctica VI incorpora un módulo de didáctica general, junto con módulos específicos para la enseñanza de la Física y la Química.

Sin embargo, debido a la falta del microcurrículo de Práctica VI, el análisis se centró en el curso correspondiente a Práctica V, con el propósito de identificar un panorama general sobre el abordaje de la didáctica en el programa.

Práctica V: Este curso se imparte en el quinto semestre y tiene un total de 5 créditos. Se estructura en 4 horas de docencia directa, 2 horas de docencia asistida y 9 horas de trabajo autónomo del estudiante. De esta manera, el curso suma un total de 64 horas de docencia directa, 32 horas de docencia asistida y 144 horas de trabajo autónomo. El contenido del curso se divide en dos aportados, el primero, aborda diversos aspectos de la didáctica, incluyendo su evolución, orígenes, las ideas de Piaget, así como las ideas alternativas en el aprendizaje. También se analizan modelos de cambio científico y se estudia la didáctica como un campo de investigación, junto con teorías sobre el aprendizaje en las ciencias.

El segundo apartado incluye un módulo específico dedicado a la Biología. Este módulo contempla temas como los errores conceptuales en el aprendizaje biológico, la importancia de la experimentación, la herencia biológica y las interpretaciones de los científicos sobre casos específicos, como la respiración y el concepto de ecosistemas. Además, se abordan la teoría celular y los contenidos escolares, así como la teoría de la evolución por selección natural. Estos elementos sugieren que el curso proporciona una didáctica específica para la enseñanza en el ámbito de la Biología y que puede proporcionar las bases necesarias para una enseñanza adecuada en este campo.

Al analizar este primer apartado, resulta preocupante que, dentro del núcleo de Física, no se incluyan cursos que aborden explícitamente la estructura atómica. Esta omisión es significativa, ya que una comprensión adecuada de la estructura atómica requiere de fundamentos en Física, permitiendo describir y explicar la existencia y el comportamiento de los átomos.

La estructura atómica, vista desde una perspectiva interdisciplinaria que combine Física y Química, permitiría a los estudiantes desarrollar una comprensión más profunda sobre la naturaleza de la materia y las interacciones fundamentales que la rigen.

Por lo tanto, la rejilla de análisis solo se aplica al curso correspondiente al núcleo de Química, denominado Sistemas Químicos I, como se presenta a continuación.

4.2.2. Resultados Rejilla de Análisis de Microcurrículos para la Estructura Atómica LCN1

Sistemas químicos: como se mencionó anteriormente, el curso es de 4 créditos, equivalentes a 192 horas distribuidas de la siguiente manera: 4 horas semanales de docencia directa, 4 horas semanales de docencia asistida y 4 horas de trabajo independiente, sumando un total de 12 horas de trabajo semanal. Ahora bien, la temática objeto de estudio, tiene un tiempo estimado de 10 horas presenciales de trabajo en aula que representa el 15.63% del total de la asignatura

Ahora bien, en curso en el eje problemático II se aborda el tema estructura atómica y teoría cuántica. En el cual se intenta resolver dos interrogantes que están enunciado en el programa de curso ¿Cómo podemos entender el comportamiento de la materia a partir de la explicación que dan los diferentes modelos atómicos sobre su composición? y ¿Cuál es la importancia de estudiar el comportamiento de los electrones en el átomo, para entender el comportamiento de los diferentes elementos de la tabla periódica?

Teniendo en cuenta una de las preguntas de la rejilla de análisis: ¿Se diferencia claramente que los modelos de Thomson y Rutherford son clásicos, Bohr y Sommerfeld son pre-cuánticos y Schrödinger es cuántico?, se encuentra que se mencionan los modelos atómicos clásicos, como Dalton, Thomson y Rutherford, abordando conceptos como partículas subatómicas e isótopos, así como el modelo de Bohr y el modelo cuántico. Es importante señalar que el modelo de Bohr se trata de forma independiente, sin vincularlo explícitamente con los modelos clásicos ni con el modelo cuántico.

En cuanto al *ítem* referido al efecto fotoeléctrico, se observa que se abordan conceptos relacionados, como radiaciones electromagnéticas, espectros de absorción y emisión, y el efecto fotoeléctrico en sí mismo. Estos fenómenos físicos contribuyen a la comprensión del concepto y características del fotón. Por otro lado, en un apartado vinculado con el *ítem* sobre las relaciones de indeterminación, se introduce el modelo mecánico cuántico y se menciona el principio de incertidumbre. En relación con la pregunta de si se explica al electrón como un objeto cuántico que requiere una nueva descripción, este aspecto podría estar implícito en las temáticas de dualidad onda-partícula, radiación electromagnética y los espectros de absorción y emisión.

Respecto a la introducción de los niveles de energía como solución de la ecuación de Schrödinger y los números cuánticos (n , l , m) como parte de esta solución, no se hace mención explícita a la ecuación de Schrödinger. Sin embargo, dentro del desarrollo del modelo mecánico cuántico, se abordan conceptos como los números cuánticos, la distribución electrónica, el principio de exclusión de Pauli, que establece que ningún electrón de un mismo átomo puede compartir los mismos números cuánticos, la regla de Hund, según la cual los electrones ocupan primero todos los orbitales de un subnivel antes de emparejarse, y el principio de construcción, que indica que los orbitales atómicos se llenan en orden de menor a mayor energía.

Es importante destacar que el curso no aborda de manera explícita la crisis de la mecánica clásica, un aspecto clave para comprender las limitaciones de esta teoría y la relevancia de la mecánica cuántica. Asimismo, se omite la discusión sobre la ecuación de Schrödinger, la cual es fundamental para entender el comportamiento de los átomos. La metodología empleada en el curso busca proporcionar a los estudiantes una formación tanto teórica como práctica en la enseñanza de la química, organizada en dos fases. La primera fase, centrada en la docencia directa, tiene como objetivo dotar a los estudiantes de bases teóricas sobre la evolución histórica y epistemológica de la química. Se enfatiza el uso de clases magistrales, acompañadas de lecturas de textos científicos y la realización de experimentos en laboratorio, con el fin de establecer una conexión entre teoría y práctica. La segunda fase, correspondiente a la docencia asistida, está diseñada para promover la interacción entre docentes y estudiantes, lo que facilita la aclaración de dudas y la consolidación de conocimientos, enriqueciendo así el aprendizaje.

El esquema de evaluación del curso otorga un peso significativo a los exámenes, que representan el 60 % de la calificación final. Además, se incluyen trabajos y presentaciones sobre la historia de la química, así como actividades de laboratorio, que conforman un 30 % adicional de la evaluación. La bibliografía proporcionada en el curso incluye libros de referencia ampliamente utilizados en el ámbito universitario, tales como *Química. La Ciencia Central* de Brown, *Química* de Whitten, *Química* de Chang y *Química, Principios y Reacciones* de Masterton y Hurley. Estos textos destacan por su enfoque claro y detallado en los principios fundamentales de la química y constituyen referencias esenciales para

estudiantes y docentes. No obstante, se identificó la ausencia de artículos científicos y material complementario propuesto por los docentes. La incorporación de una mayor variedad de recursos bibliográficos, incluyendo investigaciones recientes y material adicional, enriquecería el proceso de aprendizaje y ofrecería a los estudiantes una perspectiva más completa y actualizada sobre los temas abordados.

El análisis del curso *Sistemas Químicos I* revela un enfoque estructurado en la enseñanza de la estructura atómica y la teoría cuántica. Sin embargo, se han identificado áreas de mejora, como la necesidad de incluir la crisis de la física clásica en la enseñanza, con el propósito de contextualizar la transición hacia la mecánica cuántica. Además, sería beneficioso enfatizar tanto los alcances como las limitaciones de los modelos atómicos presentados, así como hacer referencia a la ecuación de Schrödinger para facilitar una comprensión adecuada del comportamiento y las características del átomo.

4.2.3. Resultados Rejilla de Análisis para Selección de Cursos que Aborden la Temática de Estructura Atómica LCN2

En el caso de la LCN2, la revisión de los microcurrículos y la aplicación de la rejilla de análisis para la estructura atómica presentaron diversas limitaciones debido a la insuficiencia de información disponible en los documentos. Este déficit de datos hizo necesario complementar la información con lo establecido en el Proyecto Educativo del Programa (PEP). Sin embargo, se identificaron discrepancias entre los datos contenidos en los microcurrículos y lo especificado en el PEP, lo que representó un desafío adicional para el proceso de análisis y validación de la información.

Los microcurrículos presentan una estructura sencilla que incluye la definición del objetivo del curso, los objetivos específicos, los créditos y la carga horaria semanal en algunos casos, los contenidos y la bibliografía. En cuanto a la distribución de los cursos, estos se organizan a través de núcleos temáticos estructurados de la siguiente manera: Desarrollo Humano, Prácticas Educativas, Pensamiento y Conocimiento Científico, El Ser Colombiano y su Entorno, Lenguajes, Cultura y Comunicación, Investigación Educativa y Prácticas Pedagógicas.

En el marco del análisis, se revisaron los microcurrículos correspondientes al núcleo de Pensamiento y Conocimiento Científico, considerado el más relevante para este estudio.

Cabe destacar que, en cuanto al componente de didáctica, se identificaron dos cursos: Didáctica de las Ciencias Naturales y Didáctica de las Ciencias Naturales y Medio Ambiente. Sin embargo, no fue posible su revisión debido a la ausencia de los microcurrículos correspondientes.

Componente disciplinar

Química General: impartido en el séptimo semestre, cuenta con 3 créditos académicos y abarca un apartado específico sobre el estudio del átomo, incluyendo la evolución de los modelos atómicos, las partículas subatómicas, la masa y el número atómico, los elementos e isótopos, así como el modelo atómico contemporáneo. También se exploran conceptos avanzados, como los números cuánticos, el principio de Aufbau, el principio de exclusión de Pauli, las reglas de Hund, la distribución electrónica y las tendencias periódicas en química. Además, se estudian aspectos como el radio atómico, el potencial de ionización, la afinidad electrónica, la electronegatividad y los estados de oxidación, junto con temas adicionales como el enlace químico, la estequiometría, los estados de la materia, las soluciones y el equilibrio químico. Este curso constituye un referente fundamental para el estudio de la estructura atómica y su relación con las propiedades químicas de los elementos, integrando tanto aspectos históricos como contemporáneos. Sin embargo, a pesar de su importancia, se evidencia que la densidad de su contenido dificulta la dedicación de un tiempo significativo a los temas indispensables para una comprensión profunda de la estructura atómica desde la perspectiva de la teoría cuántica.

Química Orgánica General Este curso no presenta información sobre créditos ni sobre la carga horaria presencial e independiente. Su contenido profundiza en la Teoría Estructural, permitiendo comprender la disposición de los átomos en las moléculas y su relación con las propiedades químicas. Se abordan temas fundamentales sobre los compuestos orgánicos, con un enfoque que incluye el desarrollo histórico de la química orgánica, su estado actual y sus proyecciones futuras. Este curso amplía los conocimientos adquiridos en Química General, aplicando conceptos de estructura atómica a moléculas más complejas y destacando la relevancia de la disposición atómica en la determinación de propiedades químicas. No obstante, aunque se aborde la Teoría Estructural, se identifica una

falta de vinculación explícita con los principios de la teoría cuántica, necesarios para una comprensión más profunda de las interacciones atómicas y moleculares.

Fundamentos de Física I, ofertado en el sexto semestre, cuenta con 3 créditos académicos y se enfoca en las interacciones fundamentales de la materia en el espacio y el tiempo, con el propósito de comprender fenómenos naturales relacionados con la posición, el desplazamiento, la velocidad, la aceleración, el trabajo y la energía de los cuerpos, tanto a nivel macroscópico como microscópico. Su enfoque principal radica en el estudio de la mecánica y la termodinámica. Aunque este curso establece bases sólidas para entender fenómenos físicos fundamentales, el análisis revela una integración limitada de conceptos relacionados con la estructura atómica. A pesar de que se mencionan interacciones a nivel microscópico, el curso mantiene un enfoque predominantemente clásico en la descripción de fenómenos físicos.

Fundamentos de Física II: no presenta información sobre créditos ni carga horaria presencial e independiente. Su contenido profundiza en las interacciones fundamentales de la materia en el espacio y el tiempo, abordando la mecánica, la termodinámica, la óptica y el electromagnetismo, principios que corresponden a la física clásica. Este curso complementa a Fundamentos de Física I, ampliando los conceptos con mayor detalle, aunque manteniendo un enfoque centrado en la física clásica. Si bien estos principios son esenciales para la formación científica, se considera que el curso podría beneficiarse de una mayor integración de la teoría cuántica, especialmente en temas de electromagnetismo y óptica, los cuales tienen implicaciones directas en la comprensión de la estructura atómica y las propiedades de la materia a nivel subatómico.

Ciencias Naturales y Medio Ambiente I: tiene 3 créditos, su contenido se basa en los principios establecidos en la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA, 1992), para tratar temas relacionados con el agua y su conservación. Aunque el curso presenta un enfoque ambiental significativo.

En este contexto, el análisis de los microcurrículos del núcleo de Pensamiento y Conocimiento Científico pone de manifiesto una serie de características que lo distinguen de otros programas dentro del ámbito disciplinar. Aunque este núcleo se presenta como más especializado en comparación con otros enfoques educativos, resulta notable que los cursos

tienden a integrar una amplia variedad de contenidos debido a la ausencia de asignaturas adicionales que podrían complementar el aprendizaje. Esta integración plantea interrogantes sobre la posibilidad de profundizar en los temas relevantes para el campo disciplinar.

En relación con el objeto de estudio, el curso de Química General abarca aspectos clave como la evolución de los modelos atómicos, el análisis de las partículas subatómicas, el modelo atómico contemporáneo, los números cuánticos, el principio de Aufbau, el principio de exclusión de Pauli, las reglas de Hund y la distribución electrónica. La inclusión de estos temas sugiere un esfuerzo por proporcionar a los estudiantes una base sólida en los principios fundamentales de la química. Sin embargo, como se ha mencionado, existe el riesgo de que estos conceptos sean abordados de manera superficial, lo que podría impedir que los estudiantes adquieran una comprensión profunda y crítica de los mismos.

4.2.4. Resultados Rejilla de Análisis para Selección de Cursos que Aborden la Temática de Estructura Atómica LCN3

Los microcurrículos de la LIC3 evidencia una estructura curricular organizada en torno a cursos de física y química, los cuales son fundamentales para la comprensión de conceptos clave en ciencias naturales. Sin embargo, al evaluar específicamente la enseñanza del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) relacionado con la estructura atómica, se observaron importantes limitaciones, tanto en la profundidad de los contenidos.

Los microcurrículos revisados siguen una estructura común que abarca información básica, incluyendo datos generales como la facultad, el área, los créditos, el número de horas de acompañamiento docente y las horas de trabajo independiente. Además, cada microcurrículo presenta una justificación, los propósitos de formación, las competencias generales del curso, las unidades de aprendizaje con sus respectivos objetivos específicos, los criterios de evaluación, los indicadores de desempeño y los resultados de aprendizaje. Asimismo, se incorporan competencias transversales y de investigación, estrategias metodológicas, actividades prácticas y bibliografía.

La revisión se llevó a cabo exclusivamente en el componente disciplinar de las áreas de física y química. En cuanto al componente de didáctica, el plan de estudios contempla dos asignaturas: Didácticas de las Ciencias Naturales I, impartida en el sexto semestre con 3 créditos, y Didácticas de las Ciencias Naturales II, ofrecida en el séptimo semestre con 3

créditos. Sin embargo, no fue posible realizar su análisis debido a la ausencia de los documentos correspondientes.

Ahora bien, los cursos revisados en el componente disciplinar son:

Física I: impartido en el tercer semestre, cuenta con 4 créditos académicos, distribuidos en 4 horas semanales, lo que equivale a 48 horas de acompañamiento docente durante el semestre y 96 horas de trabajo independiente. Su contenido se centra en la medición de magnitudes físicas y la teoría de errores, así como en la introducción al análisis vectorial, la dinámica y las leyes de Newton. Además, incluye la aplicación de herramientas TIC y laboratorios sobre trabajo, energía, dinámica rotacional y equilibrio. Dado que este curso no aborda de manera directa el objeto de estudio, no se aplica la rejilla de análisis.

Física II: ofrecido en el cuarto semestre, tiene una asignación de 3 créditos académicos, distribuidos en 3 horas de trabajo semanal, con 48 horas de acompañamiento docente y 96 horas de trabajo independiente. Sus contenidos incluyen carga y campos eléctricos, ley de Gauss y potencial eléctrico; corriente eléctrica, resistencia y circuitos de corriente continua; capacitancia y dieléctricos, campo magnético y leyes del electromagnetismo, así como circuitos de corriente alterna. Aunque se abordan principios fundamentales de la física, no se puede aplicar la rejilla de análisis, ya que el curso no hace referencia directa al tema objeto de estudio.

Física III: impartido en el quinto semestre, cuenta con 3 créditos académicos, 48 horas de acompañamiento docente y 96 horas de trabajo independiente. Dentro de sus contenidos, se abordan temas como movimiento oscilatorio, movimiento ondulatorio, ondas sonoras, superposición y ondas estacionarias, ondas electromagnéticas, espejos y lentes, así como interferencia y difracción. Estas temáticas permiten explicar fenómenos físicos que son importantes para comprender el comportamiento atómico de la materia.

Es importante señalar que el curso aborda el concepto de fotón, con énfasis en la absorción y dispersión de la radiación electromagnética. En cuanto al criterio de dualidad onda-partícula, se trata de manera parcial a través de temas como la interferencia de doble rendija, el diagrama de interferencia y la difracción de doble rendija. Sin embargo, aunque estos conceptos se relacionan con el objeto de estudio, no se desarrolla explícitamente la estructura atómica, lo que impide la aplicación de la rejilla de análisis.

Física IV: impartido en el sexto semestre, cuenta con 3 créditos académicos, 48 horas de acompañamiento docente y 96 horas de trabajo independiente. Sus temáticas incluyen estática de fluidos, dinámica de fluidos, temperatura, teoría cinética de los gases y la segunda ley de la termodinámica. Dado que no aborda directamente el tema de estudio, no se aplica la rejilla de análisis.

En el campo de la física, se observa que el enfoque en la estructura atómica dentro de estos cursos es indirecto y limitado, ya que las temáticas centrales se orientan hacia la física clásica y ondulatoria, dejando la teoría cuántica posiblemente en un segundo plano. Esto sugiere que, aunque los conceptos fundamentales relacionados con la estructura atómica están presentes, no se abordan con la profundidad necesaria para garantizar una comprensión integral de los mismos.

Química General: curso de primer semestre, cuenta con 3 créditos académicos, 48 horas de acompañamiento docente y 96 horas de trabajo independiente. Los temas que se abordan incluyen: conceptos básicos de química (materia y energía), estructura de la materia y tabla periódica, enlace químico, reacciones y estequiometría, estados de agregación de la materia (sólidos, líquidos y gases), soluciones y equilibrio químico. Ahora bien, de las siete unidades que componen el curso, dos están directamente relacionadas con la estructura atómica, constituyendo el 28.57% del contenido total. Sin embargo, no se aplicó la rejilla de análisis debido a la falta de información detallada.

Química Inorgánica: por su parte, este curso es de segundo semestre, con 3 créditos académicos y un total de 144 horas, distribuidas en 48 horas de trabajo presencial y 96 horas de trabajo independiente. Abarca seis unidades temáticas, en las que la unidad uno estudia el modelo atómico de Bohr y la unidad dos desarrolla la teoría de los orbitales moleculares. Sin embargo, considerando la distribución temática, solo el 7.28 % de la asignatura se enfoca en la estructura atómica de la materia. Aunque estos temas son fundamentales para entender el comportamiento de átomos y moléculas en los compuestos inorgánicos, su tratamiento es limitado y se centra en conceptos clásicos.

Química Orgánica: curso de tercer semestre, cuenta con 3 créditos académicos, distribuidos en 5 horas de trabajo semanal, 48 horas de acompañamiento docente y 96 horas de trabajo independiente. La temática que se aborda incluye aspectos generales de los

compuestos orgánicos, estereoquímica, hidrocarburos, haluros de alquilo, compuestos oxigenados, compuestos nitrogenados e introducción a las biomoléculas (carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos). No se aplica la rejilla de análisis.

Química Analítica: este curso se oferta en cuarto semestre, se compone de 4 créditos académicos, distribuidos en 5 horas de trabajo semanal, 48 horas de acompañamiento docente y 96 horas de trabajo independiente. Las unidades que se abordan incluyen soluciones y conceptos básicos introductorios, análisis gravimétrico, análisis volumétrico y volumetría de neutralización, además de otros métodos volumétricos. No se aplica la rejilla de análisis.

Fisicoquímica: este curso se oferta en quinto semestre, contempla 3 créditos académicos, distribuidos en 3 horas de trabajo semanal, 48 horas de acompañamiento docente y 196 horas de trabajo independiente. A continuación, se detallan los temas que se abordarán: definiciones básicas y gases, líquidos y sólidos, cinética química, energía y la primera ley de la termodinámica, energía y la segunda ley de la termodinámica.

Bioquímica: este curso se estipula para sexto semestre, cuenta con 3 créditos académicos, distribuidos en 48 horas de acompañamiento docente y 96 horas de trabajo independiente. La temática que aborda incluye proteínas, enzimas, coenzimas, vitaminas, hormonas, carbohidratos y metabolismo de las macromoléculas. Este curso ofrece una visión integral de los componentes bioquímicos esenciales y su relevancia en los procesos biológicos, pero por su temática no se aplica la rejilla de análisis.

De esta revisión en área de química se puede mencionar que, aunque algunos cursos abordan aspectos esenciales de la estructura atómica, dentro de su temática no incluyen un estudio detallado de la estructura atómica y las aportaciones de la cuántica, posiblemente debido a la complejidad del tema, que exige una comprensión avanzada tanto a nivel matemático como conceptual o por la poca importancia que le confieren.

Después de esta revisión, no fue posible la aplicación de la rejilla de a Rejilla de análisis de micro- currículos para la estructura atómica. Por consiguiente, se concluye que el enfoque de la Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental (U3) en el campo de la física se centra predominantemente en la física clásica, con un mayor énfasis en temas como la mecánica, las oscilaciones, las ondas y el electromagnetismo. No se brinda una cobertura

adecuada a la física moderna, particularmente a conceptos fundamentales como los avances de Planck en la radiación del cuerpo negro y los de Einstein en el efecto fotoeléctrico, los cuales son esenciales para una comprensión integral de la estructura atómica.

En el campo de la química, aunque se introduce la teoría atómica como base para temas como los enlaces químicos, la formación de moléculas y la estructuración de la tabla periódica, la estructura de la materia se aborda más como una introducción que como un tema central. Esto refleja una visión curricular que subestima la importancia de una comprensión profunda de la estructura atómica, fundamental para una formación sólida en ciencias naturales.

4.2.5. Resultados Rejilla de Análisis para Selección de Cursos que Aborden la Temática de Estructura Atómica LCN4

Los resultados de este programa, tal como se mencionaba en el (PEP) distingue tres áreas de formación: Ciencias Naturales, pedagogía y educación ambiental. En este contexto, los cursos revisados pertenecen al área de ciencias Naturales y pedagogía. Al analizar cada uno de los microcurrículos, se observa que, en el caso de la (U4) presentan una estructura común que incluye componentes como la identificación de la asignatura dónde se puede observar los créditos y horas de manera detallada, es decir, indican las horas de trabajo presencial y de trabajo independiente tanto a nivel semanal como a nivel semestral. Además, se presenta la metodología, las competencias, las actividades evaluativas, y las referencias bibliográficas.

Componente disciplinar

Física I (Procesos Mecánicos): es ofrecido en cuarto semestre, tiene 3 créditos académicos, lo que equivale a 5 horas de trabajo independiente y 5 horas de trabajo presencial durante 16 semanas, para un total de 160 horas. Su contenido se enfoca en conceptos tradicionales como movimiento, fuerza y energía. No incluye contenidos relacionados con la estructura atómica ni con avances contemporáneos de la física cuántica.

Física II (Procesos Ondulatorios y Termodinámicos): ofrecido en quinto semestre, cuenta con 3 créditos académicos, lo que se traduce en 5 horas de trabajo independiente y 5 horas de trabajo presencial durante 16 semanas, para un total de 160 horas. Aborda mecánica

de fluidos, física de ondas y termodinámica, y en la última unidad la Gravitación, pero no se incluyen contenidos sobre la teoría de la relatividad, ni especial ni general. Este es un aspecto relevante, considerando que en la educación secundaria se plantea como una temática necesaria y pertinente, aunque no se aborde en la mayoría de las instituciones educativas.

Física III (Procesos Electromagnéticos): este curso se ofrece en sexto semestre, tiene 3 créditos académicos, lo que equivale a 5 horas de trabajo independiente y 5 horas de trabajo presencial durante 16 semanas, para un total de 160 horas. Su contenido aborda los principios del electromagnetismo y la naturaleza de la carga eléctrica, con énfasis en el cálculo vectorial, la ley de Coulomb, la ley de Gauss, el potencial eléctrico, la capacitancia, la corriente eléctrica, la resistividad, el electromagnetismo y la inducción electromagnética. Además, se profundiza en la naturaleza de la carga, lo que facilita una comprensión más detallada de partículas subatómicas como el electrón y el protón, esenciales para el estudio de la estructura de la materia. Aunque esta asignatura contribuye significativamente al desarrollo de competencias en física, se identifica una ausencia de contenidos relacionados con la física moderna y contemporánea.

Biofísica: se imparte en el séptimo semestre, cuenta con 3 créditos académicos, lo que equivale a 4 horas de trabajo presencial y 4 de trabajo independiente durante 16 semanas, para un total de 128 horas. Esta materia representa un campo interdisciplinario en el que se abordan procesos biológicos desde una perspectiva física.

Fundamentos de Ciencias Naturales: curso ofertado en primer semestre, tiene 4 créditos académicos, lo que representa 6 horas de trabajo presencial y 6 horas de trabajo independiente durante 16 semanas, para un total de 192 horas. Su contenido se centra en conceptos base de física y química. Cabe destacar que, tras la revisión, se identificó que incluye temas relacionados con la estructura atómica, por lo que se selecciona para la aplicación de la rejilla de análisis.

Química I (Química Inorgánica): es un curso que se ofrece en segundo semestre, tiene 3 créditos académicos, representados en 5 horas de trabajo presencial y 5 horas de trabajo independiente durante 16 semanas, para un total de 160 horas. La temática incluye conceptos básicos como la tabla periódica, los enlaces químicos, la estequiometría, la dispersión y el equilibrio químico. Es importante señalar que la estructura temática presentada combina

aspectos de química general e inorgánica, no obstante, no se hace referencia explícita a la estructura atómica.

Química Orgánica: se ofrece en tercer semestre y cuenta con 3 créditos académicos, representados en 5 horas de trabajo presencial y 5 horas de trabajo independiente durante 16 semanas, para un total de 160 horas. Aborda los diferentes compuestos orgánicos, explorando generalidades, nomenclatura, métodos de obtención y reacciones químicas. Cabe destacar que en una de las unidades se aborda "Estructura y Propiedades", la cual hace referencia a la estructura atómica y molecular, sin embargo, no se aplica la rejilla de análisis por carecer de información detallada.

Bioquímica: curso que se ofrece en cuarto semestre, cuenta con 3 créditos académicos, representados en 5 horas de trabajo presencial y 5 horas de trabajo independiente, durante 16 semanas, para un total de 160 horas. Aborda aspectos moleculares y celulares, sin una conexión explícita con los temas de estructura atómica.

Didáctica

Didácticas de las Ciencias Naturales y Educación Ambiental: el curso está disponible en quinto semestre, cuenta con 3 créditos académicos, distribuidos en 4 horas de trabajo directo y 4 horas de trabajo independiente durante 16 semanas, para un total de 128 horas. La temática del curso se centra en la fundamentación de la didáctica, incluyendo estrategias y su clasificación, la elaboración de unidades didácticas y guías, así como la implementación de metodologías activas y estrategias didácticas innovadoras. También se enfoca en el desarrollo de habilidades críticas y en cuestiones socio-científicas, además de la enseñanza de contenidos específicos relacionados con la educación ambiental, la física y la química.

Es importante destacar que una de las unidades del curso se dedica a la enseñanza de la física y la química moderna, representando aproximadamente el 8.9% del contenido total del curso, lo que equivale a alrededor de 11 horas, distribuidas entre trabajo en clases y trabajo independiente. No obstante, no se aplica la rejilla de análisis, ya que no se proporciona una descripción detallada de los temas abordados. Sin embargo, se reconoce que el tema objeto de estudio está presente en esta asignatura.

Epistemología e Historia de las Ciencias Naturales: este curso se ofrece en cuarto semestre, consta de 2 créditos académicos, distribuidos en 3 horas de trabajo presencial y 3 horas de trabajo independiente a lo largo de 16 semanas, lo que totaliza 96 horas. Su contenido abarca la naturaleza y el alcance del conocimiento, la ciencia y la pseudociencia, además del estudio de diversos epistemólogos de las ciencias naturales, como el Círculo de Viena, Karl Popper, Gaston Bachelard, Imre Lakatos, Thomas Kuhn y Paul Feyerabend. También se abordan la contribución del origen del universo y la vida, la teoría celular, la herencia y la genética, así como la teoría atómica y la teoría electromagnética. Finalmente, el curso examina los grandes debates socio-científicos que han influido en la evolución del conocimiento científico a lo largo del tiempo.

Si bien el curso contempla aspectos de la teoría atómica, no es posible aplicar la rejilla de análisis, ya que no se proporciona una descripción detallada de los subtemas.

El análisis realizado muestra que, aunque los microcurrículos incluyen temas relacionados con la estructura atómica, especialmente en tres de ellos, solo es posible aplicar la rejilla de análisis al curso de Fundamentos de Ciencias Naturales, que se presenta a continuación.

4.2.6. Resultados Rejilla de Análisis de Microcurrículos para la Estructura Atómica LCN4

Fundamentos de Ciencias Naturales. La estructura del curso se divide en dos apartados principales: el primero aborda temas de física, organizados en tres unidades relacionadas con nociones básicas de física y medición; el segundo se centra en temas de química, distribuidos en ocho unidades. De estas, dos unidades están dedicadas específicamente a la estructura de la materia, lo que representa el 12,5 % del total de la asignatura.

El análisis del curso teniendo en cuenta los 7 ítem evidencia que la temática incluye, de manera explícita, los modelos atómicos clásicos y precuánticos, para luego introducir la teoría cuántica. Dentro de este enfoque, se abordan temas como las propiedades de los objetos cuánticos, las relaciones de indeterminación y los números cuánticos. Sin embargo, se destaca la ausencia de la ecuación de Schrödinger

Además, el curso no hace referencia explícita al efecto fotoeléctrico ni a otros fenómenos históricos que ilustran la crisis de la física clásica. Al abordar el mundo cuántico,

es esencial incluir el efecto fotoeléctrico y el descubrimiento de la constante de Planck, dado que estos experimentos fueron decisivos para demostrar la necesidad de una nueva teoría que pudiera explicar fenómenos que la física clásica no lograba abordar. La falta de referencias claras a estos conceptos podría limitar la comprensión de los estudiantes sobre la naturaleza cuántica de la materia y los principios fundamentales de la física moderna.

En cuanto a la metodología propuesta en el microcurrículo, se plantea una enseñanza de corte convencional que combina clases magistrales para la fundamentación teórica con experimentos sencillos para la práctica. Asimismo, se promueve el uso de guías de actividades y la elaboración de protocolos de clase como herramientas didácticas para fortalecer el aprendizaje. Además, se resalta la importancia de integrar la historia de las ciencias y la epistemología, con el objetivo de contextualizar y dinamizar el proceso de enseñanza y aprendizaje en ciencias naturales.

Respecto a la evaluación, esta se centra en las guías de actividades, los protocolos de clase, las evaluaciones escritas sobre los temas abordados y la participación en las clases. Aunque las evaluaciones formales tienen un rol predominante, los materiales elaborados por los estudiantes también desempeñan un papel importante en el aula, tal como se detalla en el microcurrículo.

Por último, la bibliografía recomendada incluye autores reconocidos como Chang y Goldsby (2013), Atkins y Jones (2005), Brown et al. (2009), y Petrucci et al. (2011), entre otros. También se mencionan recursos en línea y artículos científicos sobre la enseñanza de las ciencias.

Por consiguiente, la revisión del curso *Fundamentos de Ciencias Naturales* evidencia un tratamiento adecuado de ciertos aspectos de la estructura atómica y su relación con la teoría cuántica. Sin embargo, debido a la cantidad de temas abordados, los contenidos relacionados con la estructura atómica no disponen de tiempo suficiente, lo que puede limitar la comprensión de estos conceptos, los cuales requieren un período considerable para su asimilación.

Además, la metodología convencional empleada, basada en clases magistrales y experimentos sencillos, podría enriquecerse mediante enfoques didácticos más innovadores

y la incorporación de recursos tecnológicos, con el fin de potenciar la enseñanza y el aprendizaje de estos contenidos fundamentales.

En conclusión, el análisis detallado de los microcurrículos de la LIC4 evidencia una estructura curricular organizada y coherente, orientada al desarrollo de competencias fundamentales para la formación docente en ciencias. No obstante, se identifican áreas de mejora significativas, en particular en la profundidad y actualización de los contenidos relacionados con la estructura atómica.

Así, en el área de Ciencias Naturales, los cursos revisados presentan un abordaje básico de conceptos fundamentales de física y química. Si bien se incluyen temas como los modelos atómicos clásicos y precuánticos y ciertos elementos de la teoría cuántica, la falta de referencias explícitas a conceptos clave de la física moderna, como la ecuación de Schrödinger y el efecto fotoeléctrico, pueden limitar una comprensión integral de la estructura atómica. Esta omisión puede afectar la capacidad de los futuros docentes para transmitir conocimientos actualizados y pertinentes en sus aulas.

En el ámbito de la didáctica, los cursos *Epistemología e Historia de las Ciencias Naturales* y *Didácticas de las Ciencias Naturales y Educación Ambiental* abordan aspectos fundamentales de la enseñanza de las ciencias naturales y hacen referencia a temas relevantes de las ciencias modernas.

4.2.7. Resultados Rejilla de Análisis para Selección de Cursos que Aborden la Temática de Estructura Atómica LCN5

A continuación, se presentan los resultados de la aplicación de la rejilla de análisis para la selección de cursos que abordan la temática de estructura atómica en la U5. En primer lugar, se evidencia que los microcurrículos revisados presentan una estructura académica bien definida y organizada, la cual incluye la identificación del curso, presentación general, establecimiento de los créditos, tiempo de trabajo académico del estudiante, justificación y competencias generales (saber, hacer y ser).

En segundo lugar, se observa que la U5 presenta una programación semanal, en la que se detallan nuevamente los temas, actividades y estrategias pedagógicas, junto con la distribución de las horas. En tercer lugar, la U5 establece la evolución de los aprendizajes,

presentando en su mayoría actividades con porcentajes específicos, y, finalmente, se incluye la bibliografía correspondiente.

Ahora bien, en lo referente a los cursos que abordan la temática de estructura atómica, se identificaron cursos clasificados en cinco áreas principales: química, física, componente flexible, investigación y didáctica, sobre las cuales se analizaron los siguientes:

Componente disciplinar

Química General: este curso se oferta en primer semestre, con 3 créditos que se desarrollan de 5 horas semanales para un total de 80 horas semestrales y 64 horas de trabajo independiente. Este curso aborda parcialmente la temática de estructura atómica a través de 10 unidades de contenido que se denominan: Hombre, Naturaleza y química, Materia y energía, átomos y moléculas, Estructura Atómica y naturaleza de la luz, Enlace Químico, Tabla Periódica, Nomenclatura Química, Reacciones Químicas y Estequiometría, Teoría de los gases, Soluciones I, y, Soluciones II.

Química inorgánica: es un curso de segundo semestre, tiene 3 créditos distribuidos en 5 horas semanales para un total de 64 horas presenciales en el semestre y 80 horas de trabajo independiente. La temática que aborda es: Cinética Química, Equilibrio químico, Análisis grupos, Análisis metales de transición, Hidrógeno y oxígeno, el agua, Mecánica Cuántica, Teorías del enlace, Teorías y compuestos de coordinación, Nomenclatura Inorgánica, y, Medio ambiente y ciclos. Este curso aborda parcialmente la temática de estructura atómica

Química Analítica: Tiene 3 créditos académicos que se organizan en 5 horas presenciales semanales, para un total de 80 semestrales y un trabajo independiente de 64 horas que debe realizar el estudiante. Este curso proporciona los fundamentos teóricos y prácticos para el estudio de los métodos de análisis químico, enfocándose en la detección y caracterización de los componentes de una muestra. No se aplica rejilla de análisis

Química Orgánica: 3 créditos académicos que se organizan en 5 horas presenciales semanales, para un total de 80 semestrales y de trabajo independiente 64 horas que debe realizar el estudiante. Explora los principios fundamentales de la estructura, propiedades y reactividad de los compuestos basados en el carbono, en el cual, se inicia con el estudio de

la estructura de los compuestos orgánicos, abordando la disposición molecular, la hibridación de los átomos de carbono y la resonancia, se analizan los hidrocarburos, Finalmente, se profundiza en las funciones oxigenadas y nitrogenadas.

Bioquímica: Este curso posee 3 créditos académicos que se organizan en 5 horas presenciales semanales, para un total de 80 semestrales y un trabajo independiente de 64 horas que debe realizar el estudiante. Aborda los principios fundamentales de la química de los seres vivos, enfocándose en la estructura y función de las biomoléculas y su metabolismo. A través de este curso, se fomenta la comprensión de los procesos bioquímicos clave y su aplicación en contextos biomédicos, industriales y biotecnológicos. Este curso no tiene temáticas que conlleven al estudio de la estructura atómica, por lo tanto, no se le aplica rejilla de análisis.

Química Ambiental: Este curso posee 3 créditos académicos que se organizan en 5 horas presenciales semanales, para un total de 80 semestrales y un trabajo independiente de 64 horas que debe realizar el estudiante. Explora la interacción de los elementos químicos con el entorno y los impactos de las actividades humanas en los ecosistemas.

En ese orden de ideas, a pesar de que existen en este apartado dos cursos que abordan parcialmente la temática citada, el que cumple para la aplicación de la Rejilla de análisis de micro- currículos para la estructura atómica es el curso *Química general*, ya que aborda temas como: hombre, naturaleza, química, materia y energía; átomos y moléculas. El curso *Química Inorgánica* se descarta debido a que en él se menciona una temática sobre física cuántica, pero no se proporciona una descripción detallada.

Electromagnetismo es un curso que se imparte en el cuarto semestre y se compone de 3 créditos académicos. Este curso incluye 5 horas de clase a la semana, lo que suma un total de 80 horas presenciales, además de 64 horas de trabajo independiente. La temática del curso abarca aspectos fundamentales como cargas y campos eléctricos, la Ley de Gauss, el potencial eléctrico, la capacitancia y los dieléctricos, así como la inductancia, la corriente continua y la corriente alterna. Aunque se aborda de manera parcial la estructura atómica, en la primera unidad, titulada "Cargas y campos eléctricos", ofreciendo una introducción a la estructura de la materia. Sin embargo, es importante mencionar que en el microcurrículo no se incluye una descripción detallada de esta temática.

Óptica: es un curso de cuarto semestre que compone de 3 créditos, 5 horas a la semana para un total de 80 presenciales y 64 de trabajo independiente. Entre la temática que aborda se encuentra: naturaleza y propagación de la luz, óptica Geométrica y polarización, interferencia, difracción, instrumentos ópticos. Este curso aborda de manera parcial la temática de estructura atómica en la unidad 1 Naturaleza y propagación de la luz en la cual se realiza una importante introducción para establecer el concepto de la luz de manera adecuada y su comportamiento dual pero no se da de manera detallada de la temática abordada por lo cual no se aplica rejilla de análisis

Relatividad y conceptos de Mecánica Cuántica: es un curso de séptimo semestre, cuenta con 3 créditos que se desarrollan en clases semanales de 5 horas para un total de 80 horas semestrales y 64 horas de trabajo independiente. Este curso cumple con la temática de estructura atómica, dado que se compone de 5 unidades que abordan la temática citada: Relatividad, Teoría Cuántica de la luz, Ondas de Materia, Estructura Atómica y, Mecánica Cuántica en una Dimensión.

Física Cuántica: este curso tiene 3 créditos que se completan en sesiones de 4 horas a la semana para un total de 64 horas presenciales al semestrales y 80 de trabajo independiente. La temática que aborda es teoría de Schrödinger de la mecánica cuántica, Soluciones a la ecuación de Schrödinger, Teoría cuántica del átomo con un electrón Moléculas y materia condensada y Física nuclear.

Mecánica: Este curso posee 3 créditos académicos que se organizan en 5 horas presenciales semanales, para un total de 80 semestrales y un trabajo independiente de 64 horas que debe realizar el estudiante. Introduce los principios fundamentales del movimiento y las fuerzas. Se estudia vectores, cinemática, dinámica, se profundiza en el concepto de trabajo y energía, También se abordan los choques, examinando la conservación del momento y la energía en colisiones elásticas e inelásticas. Finalmente, se analiza el movimiento rotacional, incluyendo torque, momento de inercia y equilibrio rotacional. No se le aplica rejilla de análisis.

Termodinámica: Este curso posee 3 créditos académicos que se organizan en 5 horas presenciales semanales, para un total de 80 semestrales y un trabajo independiente de 64. Proporciona una comprensión profunda de los principios que rigen la energía, el calor y el

trabajo en los sistemas físicos. Así, se estudia el primer principio de la termodinámica, el segundo principio de la termodinámica y, se abordan los diagramas y propiedades termodinámicas. Este curso es fundamental para la comprensión y optimización de procesos en áreas como la ingeniería mecánica, la energética y la sostenibilidad. No se aplica rejilla de análisis.

Astronomía: Este curso posee 2 créditos académicos que se organizan en 4 horas presenciales semanales, para un total de 48 semestrales y un trabajo independiente del estudiante de 64 horas semestrales. Explora los principios fundamentales que rigen el universo y los cuerpos celestes. Se inicia con el estudio del Sistema Solar, las estrellas, abordando su ciclo de vida, composición, clasificación y los procesos físicos que determinan su evolución. Finalmente, se estudian los sistemas estelares, incluyendo cúmulos estelares, galaxias y la interacción gravitacional entre estrellas. A lo largo del curso, se fomenta el pensamiento crítico y la observación astronómica, proporcionando una base sólida para comprender la estructura y evolución del cosmos. No se aplica rejilla de análisis

Propiedades de los Materiales: este curso, con 3 créditos académicos, se organiza en 4 horas presenciales semanales, totalizando 64 horas semestrales, y requiere 80 horas de trabajo independiente. Proporciona un conocimiento detallado sobre las características y clasificación de materiales en ingeniería y ciencia, comenzando por las propiedades mecánicas, eléctricas, magnéticas y ópticas, que son esenciales para el diseño y selección. Se exploran los metales, incluidos aceros y materiales no férricos, sus aplicaciones industriales, y se analizan diagramas de fase y comportamiento óptico. También se estudian materiales cerámicos y polímeros, enfocándose en su estructura y propiedades, y se examinan semiconductores y compuestos, relevantes en electrónica y nuevas tecnologías. No se aplica rejilla de análisis

Fisicoquímica: Este curso posee 3 créditos académicos que se organizan en 5 horas presenciales semanales, para un total de 80 semestrales y un trabajo independiente del estudiante de 64 horas semestrales. Explora los principios fundamentales que rigen la relación entre la química y la física en los sistemas materiales. Se inicia con el estudio de las cantidades físicas y dimensiones, abordando magnitudes fundamentales, conversiones y su aplicación en el análisis químico. Luego, se analizan los estados de la materia, incluyendo

gases, líquidos y sólidos, junto con las transiciones de fase y propiedades termodinámicas. Finalmente se estudia el equilibrio químico y los sistemas no lineales.

Así, de la revisión del área de física se seleccionan los siguientes cursos para aplicar la rejilla de análisis de micro- currículos para la estructura atómica: Relatividad y Conceptos de mecánica cuántica y de física cuántica, que se enfocan en describir estructura del átomo y el comportamiento de sus componentes.

Componente flexible:

Espectroscopia: este curso aborda parcialmente la temática de estructura atómica, desde un enfoque epistemológico y la configuración de los conceptos de la física en general. Además, en la unidad 7 se estudia el lenguaje de la mecánica cuántica y su indeterminismo. Posee 3 créditos académicos, con una intensidad horaria de 4 horas semanales, para un total de 64 horas semestrales y 80 horas de trabajo independiente. No se aplica la rejilla de análisis.

Historia de la Física: este curso aborda de manera parcial la temática de estructura de la materia, realizando una revisión histórica de la física y los modelos atómicos. Se compone de 3 créditos académicos, con una intensidad horaria de 4 horas semanales, sumando 64 horas semestrales y 80 horas de trabajo independiente.

Por lo tanto, se aplicó la rejilla de análisis al curso de Historia de la Física, dado su enfoque pertinente en el recorrido histórico de las teorías y experimentos realizados desde la Grecia antigua hasta el siglo XX, incluyendo también los descubrimientos más recientes en física cuántica y física de partículas. Este análisis proporciona una visión integral de la evolución de la comprensión del universo y de las leyes que lo rigen.

Investigación:

Epistemología de las Ciencias Naturales (física) curso que se oferta en octavo semestre, tiene 3 créditos, 4 horas semanales, 64 horas presenciales al semestrales y de trabajo independiente de 80 horas. La temática que aborda lo realiza desde una desde una perspectiva epistemológica y filosófica para configuración de conceptos de la física en general; cabe resaltar que en la unidad 7 se menciona implícitamente el estudio del lenguaje de la mecánica cuántica y su indeterminismo, así como el principio de causalidad, azar e indeterminismo; sin embargo. No se aplica la rejilla de análisis.

Didáctica:

Didáctica de la Física, el cual se imparte en el sexto semestre y se compone de 3 créditos académicos, 4 horas semanales, 80 semestrales y 64 horas de trabajo independiente. Los objetivos de este curso incluyen abordar problemáticas histórico-epistemológicas que han surgido en torno a los conceptos científicos, trabajar en las dificultades de aprendizaje en el campo de la física y estudiar los aportes relevantes de la psicología cognitiva y genética.

La temática abordada incluye mecánica (movimientos, fuerzas de Newton, energía, momentum y colisiones), oscilación y ondas (movimientos periódicos como armónicos simples y péndulos, fenómenos ondulatorios y ópticos) y electromagnetismo con sus cuatro leyes fundamentales (ley de Gauss para el campo eléctrico, ley de Gauss para el campo magnético, ley de Faraday-Henry y ley de Ampère-Maxwell). Lo anterior indica que, los campos de estudio se centran en la física clásica y no tienen en consideración aspectos de la física moderna. Se entiende que enseñar conceptos de física cuántica en las escuelas puede ser un desafío que demanda a los licenciados aprender sobre enfoques que permita llevar al aula este importante conocimiento.

4.2.8. Resultados Rejilla de Análisis de Microcurrículos para la Estructura Atómica LCN5

Química General: este curso, tiene 3 créditos académicos y un total de 144 horas, distribuye 72 horas en actividades presenciales y 72 en trabajo independiente. Dentro de las unidades del curso, se identificaron dos que abordan específicamente la estructura atómica y su comportamiento. Cada una de estas unidades tiene asignadas 22 horas para trabajo independiente y presencial, representando el 15,28 % del tiempo total del curso-

La temática de la estructura atómica se aborda explícitamente en la unidad sobre materia y energía, átomos y moléculas. Este contenido se complementa con el laboratorio titulado "Cálculo experimental del número de Avogadro", que permite a los estudiantes determinar experimentalmente el número de partículas en un mol de sustancia. Esta actividad proporciona una comprensión práctica de la relación entre la masa y el número de átomos o moléculas presentes en una muestra.

El estudio de los modelos atómicos clásicos destaca que el concepto de electrón y su descripción desde una perspectiva cuántica están presentes en el programa o pueden abordarse parcialmente. Este aspecto se desarrolla en la unidad temática "Estructura Atómica

y Naturaleza de la Luz", junto con el laboratorio "Tubos de Rayos Catódicos", que permite explorar los principios de emisión de electrones en un tubo de vacío bajo la influencia de un campo eléctrico. Esta práctica refuerza los conceptos teóricos sobre la naturaleza de la materia y las interacciones electromagnéticas. El concepto de electrón se examina en el contexto de la naturaleza de la luz, explorando las teorías corpuscular, ondulatoria y electromagnética, lo que proporciona una comprensión más profunda de la dualidad onda-partícula y su relación con las propiedades cuánticas de las partículas subatómicas.

Es fundamental destacar que el curso de Química General debe abordar la estructura del átomo como base de la materia y de las reacciones químicas. Es crucial proporcionar una introducción clara sobre los componentes básicos del átomo, como protones, neutrones y electrones, así como su distribución en los niveles de energía. También es necesario tratar conceptos esenciales como el número atómico, el número de masa, la configuración electrónica y la tabla periódica, estableciendo la relación entre la estructura atómica, el comportamiento químico de los elementos y su capacidad para formar moléculas.

Sin embargo, la revisión revela que el curso se centra en un modelo atómico clásico y no incluye el modelo precuántico ni el modelo cuántico. Tampoco se mencionan antecedentes relevantes de la física moderna, aspectos esenciales para una comprensión adecuada del modelo atómico actual. Además, no se discuten temas clave como la dualidad onda-partícula o las relaciones de indeterminación. La descripción de las unidades en el microcurrículo no es suficientemente específica, lo que podría derivar en que ciertos temas no se aborden en las clases magistrales. La profundidad con la que se trate cada tema depende significativamente del docente a cargo, quien dispone de aproximadamente dos semanas para enseñar esta temática.

La metodología propuesta para el curso incluye clases magistrales y prácticas de laboratorio. Este enfoque tradicional, aunque permite a los estudiantes adquirir conocimientos teóricos y aplicarlos en experimentos, podría enfocarse excesivamente en la memorización, descuidando el desarrollo de habilidades críticas y analíticas. Por tanto, sería pertinente considerar la integración de enfoques más innovadores y participativos, que fomenten un aprendizaje activo y significativo.

En cuanto a la evaluación, el curso establece exámenes parciales con porcentajes asignados, lo que podría limitar la capacidad de los estudiantes para demostrar su aprendizaje de manera integral.

La bibliografía del curso incluye libros ampliamente utilizados en el ámbito universitario, como Mahan y Myers (1987), Petrucci (1999) y Chang (2002). Sin embargo, se observó que no se incluyen textos complementarios ni recursos tecnológicos que podrían enriquecer y actualizar el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

Relatividad y Conceptos de Mecánica Cuántica: Este curso, se divide en cinco unidades, de las cuales, la unidad 2 Teoría Cuántica de la luz, la unidad 3 Ondas de Materia, la unidad 4 Estructura Atómica y la unidad 5 Mecánica Cuántica en una Dimensión, abordan temas directamente relacionados con el objeto de estudio, representando 109 horas, que equivalen al 75,69 % del tiempo total del curso. El curso trata explícitamente la naturaleza de la materia, con un enfoque en la estructura atómica y sus modelos. Se examina el modelo atómico clásico, destacando las contribuciones de Rutherford, y se exploran conceptos fundamentales como la constante de Planck y la radiación del cuerpo negro, los cuales se discuten en la unidad 2 bajo la temática "Radiación de Cuerpo Negro, Ley de Rayleigh-Jeans y Ley de Planck", complementado con una práctica orientada al cálculo de la constante de Planck mediante la Ley de Duane y Hunt.

El curso también aborda el concepto de fotón en el contexto de la radiación de cuerpo negro y la Ley de Rayleigh-Jeans, mientras que el efecto fotoeléctrico se analiza mediante una práctica experimental. Asimismo, se introduce el principio de indeterminación de Heisenberg y se explora la dualidad onda-partícula, incluyendo una descripción experimental de la difracción de electrones. Sin embargo, no se aborda directamente el cálculo de los números cuánticos n , l , y m , aunque se confirma la existencia de los niveles de energía atómicos a través del experimento de Franck-Hertz (1914) y se discute el Principio de Correspondencia de Bohr (1923).

A pesar de la cobertura temática amplia, se identificó que la transición del modelo precuántico de Bohr al modelo cuántico no está claramente delineada. Esta omisión puede generar confusiones en los estudiantes, dado que a menudo se denomina al modelo de Bohr como cuántico, lo cual es impreciso. Según Solbes (2018), este modelo es considerado

precuántico, ya que incorpora conceptos clásicos inconsistentes con los principios de la mecánica cuántica.

El curso incluye un componente práctico significativo, con doce laboratorios que abordan experimentos históricos fundamentales para el desarrollo del modelo atómico actual. Estas prácticas son relevantes para la formación de los licenciados, ya que permiten explorar conceptos de manera experimental. Sin embargo, la intensidad horaria del curso (4 horas semanales) y la cantidad de prácticas pueden limitar el tiempo disponible para clases magistrales, o provocar que algunas prácticas no se realicen en su totalidad, según lo descrito en el microcurrículo.

Dada la complejidad de los temas tratados, sería pertinente incluir en el plan de estudios cursos adicionales como Cálculo Vectorial y otras materias que faciliten la comprensión de este campo, dado que el curso actualmente solo contempla el cálculo integral. La profundidad con la que se aborden los temas dependerá del enfoque del curso, de la relevancia para el estudiante de la licenciatura en ciencias naturales, y de los objetivos formativos planteados.

La metodología empleada sigue un enfoque convencional que incluye la exposición del profesor, la interpretación y el análisis de conceptos y teorías, la formulación y resolución de problemas prácticos en laboratorio, consultas bibliográficas y la presentación de informes. Aunque este enfoque estructurado garantiza resultados previsibles, también puede limitar la comprensión profunda de los conceptos y la creatividad de los estudiantes.

En cuanto a la evaluación, el curso emplea un enfoque tradicional, similar al utilizado en el curso de Relatividad y Mecánica Cuántica, combinando evaluaciones escritas, intervenciones de los estudiantes, resolución de problemas, trabajos de consulta y evaluaciones de laboratorio, con un porcentaje específico asignado a cada componente. Si bien este enfoque resulta adecuado para medir el conocimiento teórico y las habilidades prácticas, tiende a reforzar la memorización más que la comprensión y aplicación funcional de lo aprendido.

La bibliografía del curso incluye textos de autores reconocidos, como Serway (2003) y Resnick (1993), así como libros avanzados sobre relatividad y mecánica cuántica. No obstante, se observa la ausencia de artículos científicos y material complementario que

podrían enriquecer el aprendizaje y ofrecer una perspectiva más actualizada y contextualizada de los temas abordados.

Física Cuántica: El curso está organizado en cinco temáticas, cada una con un porcentaje de dedicación especificado en el microcurrículo. Dentro de ellas, la unidad 3, Teoría Cuántica del Átomo con un Electrón, se centra en el objetivo de esta investigación y representa el 18,75 % del tiempo total de la asignatura.

Este curso aborda de manera implícita la estructura atómica y su comportamiento, profundizando en temas como los números cuánticos y la complementación del modelo atómico final. Se estudia el modelo atómico cuántico, con énfasis en el momento magnético orbital, los experimentos de Stern y Gerlach (relacionados con el descubrimiento del spin) y la interacción spin-órbita.

Asimismo, se abordan los niveles de energía como solución de la ecuación de Schrödinger, junto con los números cuánticos, valores y funciones propios, así como las densidades de probabilidad asociadas con la órbita y el impulso angular total.

Aunque no se introduce directamente la constante de Planck o la radiación del cuerpo negro, su importancia es reconocida en el desarrollo temático del curso. Sería recomendable incluir las relaciones de indeterminación, ya que la ecuación de Schrödinger se utiliza como base para explorar temas como el potencial de escalón y los potenciales de pozo cuadrado. Aunque no se ofrece una explicación explícita de la dualidad onda-partícula, esta se aborda en el contexto del comportamiento ondulatorio y corpuscular en diferentes unidades temáticas.

Es importante tener en cuenta que el curso de Física Cuántica es avanzado y aborda temáticas con un nivel de complejidad similar al de otros cursos de física. Sin embargo, los estudiantes de la licenciatura en ciencias naturales presentan limitaciones en el manejo de cálculo diferencial e integral, lo que puede dificultar la comprensión de los conceptos avanzados. La falta de formación en áreas como cálculo vectorial, ecuaciones diferenciales, matemáticas especiales y probabilidad podría llevar a interpretaciones incorrectas de las temáticas y generar confusión entre los estudiantes.

Además, dado que los estudiantes tienen un enfoque multidisciplinario que abarca física, química, biología y medio ambiente, el énfasis en la física cuántica podría reducir el tiempo dedicado a otras áreas relevantes en su formación. Esta asignatura representa un

desafío adicional, ya que se aleja de las expectativas comunes de los estudiantes y está más alineada con programas especializados de física o licenciaturas en física.

La metodología propuesta para el curso sigue un enfoque convencional, similar al utilizado en otros cursos, que incluye la exposición por parte del profesor, la interpretación y el análisis de conceptos y teorías, la resolución de problemas prácticos en laboratorio, consultas bibliográficas y la presentación de informes. Si bien este enfoque estructurado garantiza una organización adecuada, podría limitar la creatividad y la comprensión profunda de los conceptos por parte de los estudiantes, especialmente en temas tan abstractos y complejos como la física cuántica.

En cuanto a la evaluación, se emplea un enfoque que combina evaluaciones escritas, intervenciones de los estudiantes, resolución de problemas, trabajos de consulta y evaluación de laboratorio. Este método resulta adecuado para evaluar tanto el conocimiento teórico como las habilidades prácticas necesarias para comprender y aplicar los conceptos de la física cuántica. Sin embargo, se observó que este enfoque es similar al utilizado en el curso de Relatividad y Mecánica Cuántica, lo cual podría no captar de manera óptima las diferencias en la complejidad y los objetivos específicos de cada curso.

La bibliografía propuesta incluye textos de autores como Eisberg y Resnick (1985), De la Peña (2006), Velarde (2002) y Strathern (1999). Aunque estos textos ofrecen una visión detallada y rigurosa de la mecánica cuántica, sería necesario evaluar la profundidad con la que se abordan los temas en este curso, considerando que está dirigido a un programa de formación de docentes. Además, se identificó la ausencia de artículos científicos y herramientas complementarias que podrían utilizarse en las clases para proporcionar un enfoque más dinámico y actualizado, ajustado a las necesidades formativas de los futuros licenciados.

Historia de la Física: Este curso dedica 60 horas a la unidad 4 denominada Los grandes descubrimientos y teorías físicas de los siglos XIX y XX, lo que representa el 41,67 % del tiempo total de la asignatura. Esta unidad examina los avances significativos en la física a través de sus principales representantes. Aunque no están explícitamente mencionados en el microcurrículo, se revisan los modelos atómicos clásicos desde la antigua Grecia, incluyendo a Demócrito y Leucipo como exponentes del concepto filosófico del

átomo. También se estudian figuras clave como Joseph John Thomson, con su descubrimiento del electrón en 1897, y Ernest Rutherford, con su hallazgo del núcleo en 1909, contribuciones fundamentales para entender los avances en los modelos atómicos clásicos.

El curso también analiza los modelos atómicos precuánticos, abordando las aportaciones de científicos como Niels Bohr, Enrico Fermi y Wolfgang Pauli al desarrollo de la teoría atómica. Este enfoque histórico es valioso, ya que permite comprender la transición de lo precuántico a lo cuántico, explorando conceptos como el modelo orbital de Bohr, el principio de exclusión de Pauli y las relaciones de indeterminación de Werner Heisenberg. Sin embargo, se identifican omisiones significativas en la revisión de los avances de los siglos XIX y XX, como la falta de mención del efecto fotoeléctrico de Einstein, la catástrofe ultravioleta descrita por Rayleigh-Jeans, la respuesta de Planck con su constante universal y la dualidad onda-partícula propuesta por Louis de Broglie.

La metodología del curso incluye exposiciones tanto del profesor como de los estudiantes, interpretación y análisis de conceptos y teorías en un contexto histórico, talleres individuales y grupales, consulta bibliográfica e investigación en Internet. Este enfoque histórico pone un énfasis significativo en la contribución de la historia de la ciencia a la enseñanza, permitiendo a los estudiantes comprender cómo las ideas científicas han evolucionado con el tiempo.

En cuanto a la evaluación, el curso utiliza un enfoque tradicional que incluye exámenes parciales, talleres y cuestionarios, con porcentajes asignados a cada actividad. Si bien este esquema permite medir el desempeño individual de los estudiantes, podría limitar su capacidad para demostrar su aprendizaje de manera integral y creativa. Sería beneficioso incorporar evaluaciones formativas que ofrezcan retroalimentación continua y fortalezcan el proceso de aprendizaje.

La bibliografía seleccionada incluye textos como los de Gamow (1959, 2002), Wiechowski (1966), Udías Vallina (2004) y Kuhn (1962), que son esenciales para comprender el desarrollo histórico y filosófico de la física. No obstante, se observa una carencia de documentos complementarios, materiales elaborados por el docente y herramientas tecnológicas, cuya incorporación podría enriquecer significativamente la experiencia de aprendizaje de los estudiantes.

Después de la revisión de la LCN5, se puede afirmar que posee un enfoque sólido en el campo disciplinar, lo que contribuye significativamente a la formación del profesor de ciencias naturales. Además, el tema objeto de estudio se aborda de manera explícita y con mayor profundidad que en otros programas. Sin embargo, la extensa variedad de temas tratados puede generar confusiones durante el proceso de enseñanza.

Si bien el dominio del contenido es esencial, la forma en que se presentan los conceptos en el aula, la selección de los temas más pertinentes, la identificación de ideas alternativas, así como la adaptación de estrategias de enseñanza y evaluación, constituyen un complemento fundamental para quienes enseñan la materia.

Por lo tanto, es necesario encontrar un equilibrio, dado que el programa de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental abarca tres áreas del conocimiento: física, química y biología. Esta diversidad puede generar una dispersión en la formación y, en consecuencia, derivar en confusiones en el ejercicio profesional.

4.2.9. Valoración Conjunta

Después de la revisión de los microcurrículos de los cinco programas de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, se presenta un análisis general de los resultados obtenidos. Para ello, se ha elaborado la Tabla 4.6., en la que se detallan los 59 cursos estudiados y se identifican aquellos que están alineados con el objeto de estudio.

Tabla 4.6.

Síntesis de resultados obtenidos del estudio de los cinco programas de licenciatura

Licenciatura	Área	Cursos Analizados	Parcialmente Estructura Atómica	Estructura Atómica con aportaciones de Física Cuántica	Créditos	Semestre
LIC1	Disciplinar	Introducción a la Física			3	1
		Física Biológica			3	2
		Física Biológica II			4	3
		Física Biológica III			4	4
		Sistemas Químicos I		X	4	1
		Sistemas Químicos II			4	2
		Sistemas Químicos III			4	3
		Sistemas Químicos IV			4	4

	Didáctica	Sistemas Químicos V		4	5
		Practica Pedagógica V (didáctica de la biología)		5	5
		Practica pedagógica VI (didáctica de la química y física)		5	6
LIC2	Disciplinar	Química General	X	3	7
		Química Orgánica		NI	NI
		Fundamentos de Física I	X	3	6
		Fundamentos de Física II		NI	NI
	Didáctica	Ciencias Naturales y Medio Ambiente I		3	
		Didáctica de las ciencias naturales		3	8
		Didáctica de las Ciencias Naturales y Medio ambiente,		3	9
		Física I		4	3
		Física II		3	4
LIC3	Disciplinar	Física III	X	3	5
		Física IV		3	6
		Química General	X	3	1
		Química Inorgánica	X	3	2
		Química Orgánica		3	3
		Química Analítica		4	4
		Fisicoquímica		3	5
		Bioquímica		3	6
		Didácticas de las Ciencias Naturales I		3	6
		Didácticas de las Ciencias Naturales II		3	7
		Física I		3	4
		Física II		3	5
		Física III		3	6
LIC4	Disciplinar	Biofísica		3	7
		Fundamentos de Ciencias Naturales	X	4	1
		Química I (Química Inorgánica)	X	3	2
		Química Orgánica		3	3
		Bioquímica		3	4
	Didáctica	Didácticas de las Ciencias Naturales y Educación Ambiental	X	3	5

LIC5	Disciplinar	Epistemología e Historia de las Ciencias Naturales	X	2	4
		Química General	X	3	1
		Química Inorgánica	X	3	2
		Química Analítica		3	
		Química Orgánica		3	
		Bioquímica		3	
		Química Ambiental		3	
		Electromagnetismo		3	
		Óptica		3	
		Relatividad y conceptos de Mecánica Cuántica	X	3	
		Física Cuántica	X	3	
		Mecánica		3	
		Termodinámica		3	
		Astronomía		2	
		Propiedades de los Materiales		3	
		Fisicoquímica			
		Espectroscopia	X	3	
		Historia de la Física	X	3	
		Epistemología de las Ciencias Naturales	X	3	8
	Didáctica	Didáctica de la Física		3	6

Nota: NI = No hay información

Como se observa, una característica notable del análisis es la diversidad de cursos ofrecidos en el ámbito disciplinar. Cuatro de los programas analizados incorporan un sólido componente en Física y Química, lo que sugiere un enfoque integral en estas áreas. No obstante, resulta llamativo que uno de los programas solo ofrezca dos cursos específicos en estos componentes. Asimismo, se identifica que los cursos fundamentales, como Química General, Química Orgánica, Química Inorgánica y Física I, II y III, son comunes en casi todos los programas; sin embargo, los contenidos de estos cursos presentan diferencias significativas entre las distintas licenciaturas.

Ahora bien, la LIC5 se caracteriza por tener un enfoque sólido en el componente de Física, ofreciendo cursos avanzados como Física Cuántica y Relatividad, sin descuidar aspectos relevantes en Didáctica, tanto generales como específicas. Por su parte, la LIC4 centra su programación en cursos básicos de Física (Física I, II, III) y Química (Química I,

Orgánica, Bioquímica), incluyendo un curso de Fundamentos de Ciencias Naturales en el primer semestre, que es introductorio y multidisciplinario, desarrollando el tema de estructura atómica. Cabe destacar que, en el curso Didáctica y Epistemología de las Ciencias, se hace referencia a la enseñanza de la estructura atómica.

En cuanto a la LIC2, se observa un componente disciplinar limitado en Química y Física, además de presentar únicamente cursos de didácticas generales. En contraste, la LIC1 tiene una estructura equilibrada en las áreas de Física y Química, y un aspecto significativo es que, dentro de la Práctica Pedagógica, se integran los cursos de didáctica, los cuales contemplan un apartado de didáctica general y otro de didácticas específicas. También se evidencia una interdisciplinariedad, donde la Biología confluye con los cursos de Química y Física, aunque no hay ninguna asignatura de didáctica de las ciencias.

En el programa de la LIC3, se ofrece una secuencia clara de cursos de Física (Física I a IV) y Química (Química General a Bioquímica), incluyendo Fisicoquímica como un curso integrador de ambas áreas. Sin embargo, no se hace una alusión clara al componente de estructura atómica. En lo que respecta a los cursos de Didáctica, se presentan tres asignaturas.

Por otro lado, de los 58 cursos analizados, 18 abordan parcialmente los aspectos relacionados con la estructura atómica. Esta situación podría deberse a la escasa relevancia atribuida a este tema, lo que contribuye a una comprensión limitada de la ciencia y sus implicaciones en el mundo actual. La falta de un enfoque integral en la enseñanza de la estructura atómica puede derivar en una formación menos sólida para los estudiantes, quienes necesitan este conocimiento para enfrentar los desafíos científicos contemporáneos y comprender fenómenos fundamentales en diversas disciplinas.

Además, se destaca que solo 5 de los cursos analizados abordan de manera explícita la estructura atómica y las contribuciones de la teoría cuántica, por lo que se les aplica la segunda rúbrica (Tabla X). Sin embargo, la forma en que se tratan estos temas presenta variaciones significativas, influenciadas por el enfoque disciplinario de cada curso. Por ejemplo, el curso de Química General de LCN1 ofrece una visión coherente y estructurada de los modelos atómicos, abarcando desde las propuestas de Dalton hasta las teorías de Schrödinger. Este curso enfatiza particularmente la configuración electrónica y su relación

con las propiedades químicas de los elementos. A pesar de ello, su tratamiento desde la perspectiva de la teoría cuántica es limitado.

En contraste, los cursos "Relatividad y Conceptos de Mecánica Cuántica" y "Física Cuántica" desarrollan la teoría cuántica de manera más profunda. Estos cursos incluyen temas esenciales como radiación de cuerpo negro, efecto fotoeléctrico, dualidad onda-partícula y la ecuación de Schrödinger. No obstante, presentan algunas omisiones en lo que respecta a los números cuánticos. A pesar de ello, estos cursos proporcionan una sólida base teórica.

Adicionalmente, al considerar la similitud temática de los cursos "Historia de la Física" en la LIC5 y "Fundamentos de Ciencias Naturales" en la LIC4, se puede inferir que ambos adoptan un enfoque histórico y filosófico, revisando la evolución de los modelos atómicos, sin profundizar en los aspectos matemáticos y experimentales que sustentan la mecánica cuántica. Este enfoque es valioso para comprender el desarrollo conceptual de la física y su importancia en la configuración del conocimiento científico.

Asimismo, se encuentra que la mayoría de los cursos abordan los modelos atómicos, pero no se enfatiza la clasificación de los mismos. No se diferencia claramente que los modelos de Thomson y Rutherford son clásicos, que los modelos de Bohr y Sommerfeld son precuánticos, y que el modelo de Schrödinger es cuántico. Por ejemplo, en uno de los cursos se identificó que la transición del modelo precuántico de Bohr al modelo cuántico no está claramente definida. Esta omisión puede generar confusiones entre los estudiantes, ya que a menudo se refiere al modelo de Bohr como cuántico, lo cual es impreciso. Además, a pesar de que se mencionan las relaciones de indeterminación, en los microcurrículos se enuncian erróneamente como "principio de incertidumbre". Por último, no se realiza una mención explícita sobre los niveles de energía como parte de la solución de la ecuación de Schrödinger.

En este contexto, se observa que los cursos de Química presentan un enfoque más aplicado en la estructura electrónica y las propiedades periódicas de la materia, mientras que los de Física profundizan en los fundamentos teóricos de la mecánica cuántica. Sin embargo, persisten omisiones en algunos aspectos clave, lo que sugiere la necesidad de una mayor integración de los conceptos cuánticos en los programas académicos, para brindar una comprensión más completa de la estructura atómica.

Para finalizar, es fundamental realizar una revisión curricular que refuerce tanto los aspectos disciplinares como los didácticos en la enseñanza de las ciencias. Esta revisión debe enfatizar la incorporación con las ciencias modernas, con el propósito de garantizar una formación integral y actualizada para los futuros docentes de ciencias naturales

4.3. Resultados Cuestionario Profesores

El cuestionario aplicado a los profesores de licenciaturas en ciencias naturales en Colombia tuvo como propósito principal responder al objetivo 3: determinar el papel que los profesores de estas licenciaturas asignan a la enseñanza de la estructura atómica de la materia. A través del cuestionario, se buscó analizar cómo los profesores abordan la estructura atómica en sus clases, cuáles son los conceptos priorizados y las estrategias pedagógicas empleadas, así como las dificultades que enfrentan al integrar la teoría cuántica en la enseñanza.

En ese orden de ideas, la Tabla 4.7. muestra una de las características de identificación los profesores a quienes se aplicó el instrumento. En total fueron 32 los docentes consultados de los cuales el 96.9% poseen estudios de postgrado y el 3.1% no presenta

Tabla 4.7

Clasificación de la muestra por estudios realizados

¿El profesional consultado tiene estudios de Postgrado?	%
No	3.1%
Sí	96.9%

De acuerdo con esta primera característica, se podría inferir que la población encuestada posee un conocimiento claro del saber disciplinar, lo que sugiere que la enseñanza de temáticas complejas, como la teoría cuántica, se está abordando desde una perspectiva probablemente más alineada con los desarrollos recientes en sus campos, integrando las últimas teorías y descubrimientos en su enseñanza. No obstante, esto no garantiza el aprendizaje de los estudiantes, ya que este depende de múltiples factores.

En ese sentido, para obtener un mayor detalle sobre la población encuestada, se indagó acerca del área de conocimiento o saber disciplinar en el cual los docentes realizaron sus estudios, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla 4.8. y Tabla 4.9.

Tabla 4.8.*Clasificación de docentes por tipo de estudio*

Título de Pregrado	Porcentaje (%)
Física	28,1
Ingeniería de sistemas	3,1
Ingeniería Física	9,4
Licenciatura en Biología	6,3
Licenciatura en Biología y Química	3,1
Licenciatura en Ciencias de la Educación - Especialidad Química	6,3
Licenciatura en Ciencias de la Educación - Especialidad Química	3,1
Licenciatura en Ciencias Naturales: Física, Química y Biología	3,1
Licenciatura en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental.	3,1
Licenciatura en Física	6,3
Licenciatura en Matemáticas y Física	15,6
Licenciatura en Matemáticas y Física Área Mayor Física	6,3
Licenciatura en Química	3,1
Química	3,1

Tabla 4.9.*Clasificación de docentes por tipo de estudio*

Tipo de estudios de posgrado	Respuesta	Porcentaje
Doctorado	Sí	56,25%
	No	43,75%
Maestría	Sí	78,13%
	No	21,87%

Es importante señalar que, en Colombia, las licenciaturas son los títulos que habilitan para ejercer como profesores universitarios, de secundaria o de primaria, mientras que los títulos en Física, Química, entre otros, habilitan para el ejercicio profesional en sus respectivos campos.

Además, de acuerdo con el Decreto 1278 de 2002, las personas con formación diferente a la licenciatura en educación pueden ser contratadas para ejercer como profesores

en cualquier nivel académico. Por esta razón, la población encuestada se conforma a partir de los siguientes títulos de pregrado y posgrado.

Tabla 4.10.

Estudios de posgrado en detalle

No.	Título de pregrado	Títulos de posgrado
1	Física	Maestría y Doctorado.
2	Licenciatura en Matemáticas y Física	Especialista en Física, maestro en ciencias físicas.
3	Ingeniería Física	Doctor en Física, Maestría en Ciencias: Física, Ingeniería Física.
4	Física	Maestría en Astronomía y Astrofísica
5	Física	Maestría y doctorado
6	Física	Magister en Ciencias-Física
7	Licenciatura en Matemáticas y Física Área Mayor Física	Doctorado en Geofísica
8	Licenciatura en Matemáticas y Física Área Mayor Física	
9	Física	Magister en Matemáticas, Master un Physics, PhD Physics.
10	Licenciatura en Matemáticas y Física	Magíster en Física de la Universidad Industrial de Santander y Doctor en Ciencias Físicas de la Universidad Politécnica de Cataluña.
11	Licenciatura en Matemáticas y Física	Magíster en Física y Doctor en Ciencias Físicas
12	Ingeniería Física	Magíster en Ingeniería
13	Ingeniería de Sistemas	Magíster en Ingeniería
14	Ingeniería Física	
15	Licenciatura en Matemáticas y Física	Maestría en educación y doctorado en enseñanza de las ciencias
16	Física	Maestría en Educación, Maestría en enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales
17	Física	Doctorado en física
18	Física	Master y doctor en física
19	Física	Maestría en Física y Doctorado en Física

20	Licenciatura en Física	M.Sc. en Geofísica de la FSU-Jena (Alemania), Doctora en Física de la Universidad de Antioquia
21	Licenciatura en Ciencias de la Educación - Especialidad Química	Maestría en ciencias de la educación, especialista en investigación
22	Licenciatura en Ciencias de la Educación - Especialidad Química	Magíster en Docencia de la Química, Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales (Educación)
23	Licenciatura en Física	Magister en docencia de la física
24	Licenciatura en Biología	Magister en gestión de la tecnología educativa
25	Licenciatura en ciencias naturales y educación ambiental	Magíster en enseñanza de las ciencias y Doctorado en Educación
26	Licenciatura en Biología	
27	Licenciatura en Ciencias Naturales: Física, Química y Biología	Maestría en Ciencias Química
28	Licenciatura en Biología y Química	Magister en Ciencias Química, Doctor en Ciencias
29	Licenciatura en Matemáticas y Física	Maestría en Enseñanza de las ciencias, Doctorado en Educación para Ciencia
30	Química	Maestría en ciencias químicas - Doctorado en química.
31	Licenciatura en Química	
32	Licenciatura en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental.	Doctora en Educación y Cultura Ambiental.

Así pues, la distribución de los docentes según su formación inicial refleja una predominancia de áreas relacionadas con las ciencias exactas y naturales, como se evidencia en la Tabla 4.10. Un 28,1% de los docentes posee un título en Física, lo que posiciona esta disciplina como la más representativa dentro del grupo analizado. Esto podría deberse a que la Física, como disciplina base, tiene aplicaciones amplias y fundamentales en la enseñanza de ciencias, especialmente en niveles avanzados. La combinación de Física y Matemáticas en licenciaturas específicas (21,09%) también destaca, subrayando la importancia de integrar estas áreas en la formación de docentes. Las licenciaturas en Biología y Química presentan porcentajes menores (6,3% y 3,1 respectivamente), pero muestran una diversificación

relevante hacia disciplinas aplicadas y la enseñanza integrada de las ciencias. Por otro lado, títulos en Ingeniería de Sistemas (3,1%) y áreas específicas como Química (3,1%) están menos representados, lo que podría estar relacionado con la menor frecuencia con la que estas disciplinas se orientan hacia la docencia.

La progresión académica desde los títulos de pregrado hacia los estudios de posgrado revela un fuerte compromiso con la profesionalización y especialización en el ámbito educativo y científico. De los datos analizados, se destaca que el 45% de los docentes ha cursado maestrías, siendo este el nivel de posgrado más frecuente. Esto sugiere un interés predominante por consolidar conocimientos en un área específica, como se observa en la Maestría en Física, la Enseñanza de las Ciencias y la Educación Ambiental. El 35% han alcanzado un doctorado, lo cual indica un nivel de especialización significativo. Los títulos de doctorado se concentran principalmente en áreas como Física, Química, etc. Sólo hay 1 en Didáctica de las Ciencias o similares, lo que no fortalece la capacidad investigativa y la generación de conocimiento en el campo educativo. Por su parte, el 3,13% tienen estudios postdoctorales, reflejando un nivel académico avanzado, aunque minoritario. Esta situación puede ser consecuencia de las limitaciones en la oferta de programas postdoctorales o de los recursos necesarios para acceder a ellos.

La coherencia en la trayectoria académica es evidente en aquellos docentes con títulos de pregrado en Física, quienes en su mayoría avanzaron hacia maestrías y doctorados en áreas relacionadas. En contraste, los docentes con formación en Biología, Química y Ciencias Naturales han diversificado sus estudios hacia áreas aplicadas, como la gestión ambiental y la educación, lo que evidencia una orientación hacia problemáticas sociales y ambientales contemporáneas. El análisis de las tablas muestra varias tendencias clave, como el predominio de la Física como formación base. La alta proporción de docentes con títulos en Física y disciplinas relacionadas resalta la importancia de esta ciencia como eje en la enseñanza y formación docente. Esto también indica que los temas de alta complejidad, como la teoría cuántica, tienen el potencial de ser abordados por profesionales con una sólida base conceptual, por ello sorprende que la enseñanza de estructura atómica en las licenciaturas no tenga muy en cuenta la teoría cuántica, lo que puede ser debido a los microcurrículos y los planes de estudio, como hemos visto. La diversificación en posgrados, especialmente en

maestrías, refleja un enfoque hacia la mejora de las competencias educativas y científicas. Esta tendencia es particularmente relevante para fortalecer la calidad educativa y enfrentar los retos asociados con la enseñanza de ciencias. Sin embargo, el bajo porcentaje de estudios postdoctorales (2%) señala un área de oportunidad para fortalecer las capacidades investigativas y fomentar la internacionalización del cuerpo docente.

En cuanto al enfoque en didáctica y gestión educativa, los títulos de posgrado en Didáctica de las Ciencias, educación científica o enseñanza de las ciencias destacan como una respuesta a la necesidad de mejorar las prácticas educativa. Esto es consistente con la creciente demanda de innovación en la enseñanza y con la importancia de la inclusión de temas sociales y ambientales en la formación docente. La distribución de los títulos de pregrado y posgrado en la muestra analizada evidencia un perfil académico sólido, con un énfasis notable en la profesionalización docente. La alta proporción de docentes con títulos avanzados sugiere que el cuerpo académico está bien preparado para enfrentar los desafíos educativos en áreas complejas, como la enseñanza de la teoría cuántica y otros conceptos científicos avanzados. Sin embargo, el bajo porcentaje de estudios doctorales, si se compara con otros países, refleja la necesidad de políticas institucionales de reducción de costos y otras que promuevan y faciliten el acceso a este tipo de formación. Además, sería pertinente explorar cómo estas altas credenciales académicas se traducen en resultados efectivos de aprendizaje en el aula, considerando factores como la didáctica empleada, los recursos metodológicos y la diversidad de los estudiantes.

Aunque la formación avanzada de los docentes presenta un panorama alentador, es esencial continuar promoviendo oportunidades de desarrollo académico y fortalecimiento de las redes académicas nacionales e internacionales para enfrentar los retos educativos contemporáneos. La distribución de la formación docente, con una fuerte presencia de profesionales altamente calificados en ciencias exactas y naturales, junto con un enfoque creciente en la educación inclusiva y las estrategias didácticas, puede contribuir significativamente al desarrollo del sistema educativo. Resulta pertinente promover mayores oportunidades de acceso a estudios postdoctorales y especializaciones en áreas emergentes, lo que permitiría avanzar en la formación de un cuerpo docente más completo y preparado para abordar los retos actuales y futuros de la educación.

Ítem 1: ¿Qué contenidos desarrolla en el tema de estructura del átomo con sus estudiantes?

El Ítem 1 del cuestionario exploró específicamente los contenidos que los profesores desarrollan en el tema de estructura atómica, evaluando si incluyen conceptos clásicos, pre-cuánticos o cuánticos en su enseñanza. Este análisis permitió identificar la profundidad y relevancia de los contenidos tratados en relación con las demandas científicas, didácticas y pedagógicas contemporáneas. A continuación, se presenta la Tabla 4.11. de las respuestas obtenidas y, posteriormente, el análisis de los resultados

Tabla 4.11.

Resultados Ítem 1

Ítem 1: ¿Qué contenidos desarrolla en el tema de estructura del átomo con sus estudiantes?	Porcentaje (%)
Clásico	46,88
Pre-cuántico	12,50
Cuántico	40,63

El análisis de las respuestas obtenidas en el Ítem 1 del cuestionario refleja una visión diversa sobre cómo los profesores abordan la enseñanza de la estructura atómica en los programas de licenciatura en ciencias naturales en Colombia. Este análisis es crucial para verificar la Hipótesis 1 de la investigación, que plantea que la enseñanza de los CDC de la estructura atómica en estos programas no integra de manera adecuada la teoría cuántica ni las últimas aportaciones didácticas. Además, este ítem aborda el Objetivo 3, cuyo propósito es determinar cómo los profesores valoran y asignan importancia a los conceptos relacionados con la estructura atómica y los aportes desde la cuántica.

Los resultados obtenidos que se muestran en la Tabla 4.6, la mayoría de los docentes (46.88 %), se adhieren a un enfoque clásico, el cual, se centra exclusivamente en los modelos atómicos tradicionales, tales como los modelos de Dalton, Thomson y Rutherford, sin introducir conceptos de la teoría cuántica. Este resultado sugiere una preferencia de contenidos clásicos posiblemente más fáciles de entender para los estudiantes, como se aprecia en la siguiente respuesta: “No discuto estos temas por qué son avanzados para el nivel de ambos cursos” (RP3). Sin embargo, al limitar la enseñanza de esta temática haciendo

uso solo de la mecánica clásica, estos docentes podrían estar privando a los estudiantes de una visión más amplia de la naturaleza evitando comprender fenómenos atómicos y moleculares en contextos más reales y actuales (Chamizo, 2010; Muñoz Burbano, 2020).

Por otro lado, los resultados indican que un pequeño porcentaje de los docentes participantes (12,50 %), adopta un enfoque pre-cuántico, el cual, incluye los modelos clásicos, pero también pone un énfasis particular en los aportes de la cuantización del modelo de Bohr. Este enfoque actúa como un puente entre la mecánica clásica y la teoría cuántica, como en este ejemplo: *“Cubro desde los modelos atómicos históricos (como el modelo de Dalton, Thomson, Rutherford, y Bohr) hasta la mecánica cuántica aplicada al átomo. Hablamos sobre los componentes del átomo (protones, neutrones, electrones), la naturaleza cuántica de los electrones, y los números cuánticos que describen su comportamiento.”* (RP12)

Es posible apreciar cómo el modelo pre-cuántico, el de Bohr, es fundamentales para dirigir la mirada hacia una comprensión más precisa de la temática. Esto recuerda que los avances científicos son el resultado de un proceso en el cual cada generación de teorías construye sobre las anteriores, de ahí que, el modelo de Bohr representa un importante punto de inflexión en la enseñanza de la estructura del átomo, al proporcionar la base para introducir la idea de la cuantización y preparar a los estudiantes para comprender teorías más complejas (Solbes y Sinarcas, 2010)

En contraste, un número significativo de docentes que representa el 40,63% desarrolla contenidos respecto al tema de estructura del átomo desde un enfoque cuántico, lo cual, es representativo en la aceptación creciente de la necesidad de enseñar la física moderna y de proporcionar a los estudiantes una comprensión más profunda y actualizada de la estructura del átomo, como se observa en las siguientes respuestas: *“En física moderna, átomo de Bhor (sic), cuantización de Wilson-Sommerfeld, ecuación de Schrodinger (sic) para el átomo de Hidrógeno”* (RP1), *“Realizó un desarrollo histórico desde mediados de 1800 hasta 1927, hablando de movimiento Browniano, modelos atómicos, radiación de cuerpo negro, espectros atómicos, efecto Compton, dispersión de Rutherford, hipótesis de Planck, átomo de Bohr y termino con Schrödinger, Heisenberg y Dirac”* (RP2).

Esta tendencia hacia el enfoque cuántico refleja un avance significativo en la manera en que los docentes abordan la enseñanza de la estructura del átomo. Según los comentarios, los profesores integran conceptos clave como el átomo de Bohr, la cuantización de Wilson-Sommerfeld y la ecuación de Schrödinger para el hidrógeno. Este cambio indica una aceptación progresiva de la física moderna en la enseñanza. Además, Solbes, et al (1987) sostienen que la incorporación gradual de conceptos cuánticos es esencial para que los estudiantes comprendan el salto epistemológico que representó el paso de los modelos clásicos a los cuánticos, enriqueciendo así su visión de la estructura atómica.

En este contexto, es relevante señalar que la preferencia por los modelos clásicos puede estar influenciada por varios factores, como la percepción de su facilidad de enseñanza y comprensión, o la falta de preparación o comodidad de los docentes. Por tanto, es crucial proporcionar formación adicional a los docentes en formación este ámbito para que puedan reconocer la importancia de enseñar estos contenidos a sus estudiantes. Por consiguiente, se recomienda actualizar los planes de estudio para incluir un enfoque más amplio en la enseñanza de la física, asegurando de esta manera que los estudiantes reciban una educación completa y actualizada (Muñoz Burbano, 2020).

Desarrollar y distribuir materiales didácticos que faciliten la enseñanza de la teoría cuántica, como simulaciones, visualizaciones y experimentos interactivos, puede ayudar a los docentes a explicar estos conceptos de manera más efectiva. También implementar métodos de evaluación que midan la comprensión de los principios cuánticos. (Muñoz Burbano, 2020)

La formación continua y la actualización de los docentes en temas de física moderna y teoría cuántica son fundamentales para una enseñanza que integre tanto conceptos clásicos como teorías contemporáneas. Como destaca Solbes (2019), "la capacitación docente en teorías modernas es crucial para que los estudiantes desarrollen una comprensión completa y actualizada de los modelos científicos".

En general, los resultados muestran que, aunque un 40,63% de los profesores aborda los conceptos cuánticos, la enseñanza de la estructura atómica en las licenciaturas de ciencias naturales sigue dominada por enfoques clásicos o pre-cuánticos, o incluso por la omisión total de estos contenidos.

Ítem 2 ¿Es importante enseñar conceptos cuánticos en estructura del átomo a los docentes en formación en ciencias naturales? ¿Por qué?

Ahora bien, el *Ítem 2* del cuestionario buscó explorar las percepciones de los profesores sobre la importancia de incluir conceptos cuánticos en la enseñanza de la estructura del átomo, indagando particularmente en la solidez de sus argumentos y la profundidad conceptual de sus respuestas. Este análisis resulta fundamental para comprender cómo los profesores en formación en ciencias naturales valoran e integran los principios de la mecánica cuántica en sus prácticas, un tema clave para evaluar la alineación entre la enseñanza actual y los avances científicos modernos.

En el contexto de la formación docente, los conceptos cuánticos no solo representan una base teórica esencial para la comprensión de la estructura de la materia, sino que también desafían los paradigmas tradicionales de enseñanza en ciencias. Este *ítem* permitió identificar el nivel de apropiación conceptual y el enfoque didáctico que los profesores atribuyen a estos contenidos. Las respuestas se clasificaron en tres categorías principales: aquellas que argumentan sólidamente la importancia de enseñar estos conceptos como parte integral del modelo atómico actual, aquellas que reconocen su relevancia, pero presentan una argumentación insuficiente, y aquellas que no consideran importante incluirlos en su enseñanza.

Los resultados obtenidos (Tabla 4.12) reflejan no solo el grado de conocimiento conceptual de los profesores, sino también sus actitudes hacia la incorporación de enfoques cuánticos en la formación de futuros profesores. Este análisis proporciona una visión integral de las brechas existentes en la enseñanza de los CDC (Conocimiento Didáctico del Contenido) sobre la estructura del átomo, permitiendo evaluar la hipótesis de que las prácticas actuales pueden no estar suficientemente alineadas con los avances en teoría cuántica y didáctica.

Tabla 4.12.

Resultados Ítem 2

<i>Ítem 2: ¿Es importante enseñar conceptos cuánticos en la estructura del átomo a los docentes en formación en ciencias naturales? ¿Por qué?</i>	Porcentaje (%)
--	-----------------------

1. Sí, y argumenta las razones conceptuales dado que el desarrollo de las teorías de la física moderna y la cuántica son las que estructuran el modelo atómico actual.	84,38
2. Sí, pero no hay una argumentación clara al respecto desde la teoría cuántica	9,38
3. No, no lo considera importante.	6,25

De acuerdo con los datos recopilados, el 84,38% de los docentes considera que es relevante enseñar estos conceptos, y argumentan que las teorías de la física moderna y la cuántica son fundamentales para brindar una mejor explicación sobre el modelo atómico en el aula, como se expresan en comentarios como: *“Si, los conceptos cuánticos proporcionan la base teórica para comprender la estructura y el comportamiento de los átomos, una particularidad que nos permite llegar a comprender las relaciones entre los átomos y en particular de las partículas subatómicas”* (RP32) así como también llama la atención que los docentes consideren que: *“Es fundamental, porque debería enseñarse en la escuela profesional y media conceptos recientes de las ciencias, por ejemplo lo relacionado a la cuántica que se planteó hace varias décadas, pero no es un derrotero actual de la formación científica escolar, y así ese en las demás áreas del conocimiento de las ciencias naturales”* (RP30), además un profesor afirma que: *“La sola posibilidad de la pregunta me parece "complicada". No entendería como un docente de ciencias naturales puede comprender y explicar la materia sin tener elementos del relato cuántico del átomo. Un docente debe tener los elementos conceptuales mínimos para dar una discusión sobre el átomo a muchos niveles. Dicho de otra forma, uno no puede enseñar lo que no sabe* (RP21) es decir, este resultado refleja un reconocimiento amplio de la importancia de la teoría cuántica en la comprensión contemporánea de la estructura atómica.

Adicionalmente, las respuestas en esta categoría reflejan una alineación con la necesidad de actualizar los enfoques didácticos para equipar a los futuros profesores con una formación sólida y contextualizada. Este enfoque permite superar los modelos obsoletos o simplificados, integrando las ideas de probabilidad y los principios de la mecánica cuántica como la base de la comprensión científica actual.

Por otro lado, aunque un 9,38% de los encuestados considera importante enseñar conceptos cuánticos, sus respuestas muestran una aceptación más intuitiva que

fundamentada, como se evidencia en expresiones como: “*Sí, para una mayor comprensión del funcionamiento de la naturaleza*”, “*sí, se entiende de mejor manera qué está pasando en el material*” o menciones como que sirve “*PARA DESARROLLAR PENSAMIENTO CUÁNTICO*” (RP10).

Esto sugiere que, aunque existe un reconocimiento generalizado de la relevancia de los conceptos cuánticos, en algunos casos, los docentes pueden carecer de una comprensión teórica profunda que respalde sus argumentos. Tal situación no necesariamente contradice la aceptación del enfoque cuántico, sino que pone de manifiesto una oportunidad para fortalecer la formación continua de los profesores de ciencias. Este refuerzo es crucial para superar las dificultades inherentes a la enseñanza de temas complejos, como los de física cuántica, y para garantizar que los docentes puedan traducir estos conceptos en experiencias de aprendizaje significativas y accesibles para los estudiantes (Izquierdo et al., 2016).

Finalmente, un 6,25% de los docentes considera que no es necesario enseñar conceptos cuánticos en la estructura del átomo a los docentes en formación en ciencias naturales, como se refieren en comentarios como estos: “*Creo que se deben tocar de manera superficial a no ser que se pretenda estudiar con más seriedad el tema*” (RP11).

Algunas de estas respuestas podrían estar influenciadas por diversos factores, como la preferencia por enfoques tradicionales en la enseñanza, la percepción de la complejidad de los conceptos cuánticos debido a su naturaleza abstracta, o la falta de actualización en los contenidos de física moderna. Estos elementos evidencian la persistencia de cierta resistencia al cambio y destacan la necesidad de implementar iniciativas de actualización curricular y didáctica que subrayen la importancia de integrar la teoría cuántica en la formación de los profesores. En este sentido, la actualización curricular en ciencias resulta esencial para facilitar la conexión entre los modelos clásicos y modernos, promoviendo una enseñanza de las ciencias más alineada con los avances científicos actuales (Solbes et al., 1988).

En términos generales, los resultados del *Ítem 2* respaldan la hipótesis de que la enseñanza de la estructura atómica debe incorporar los fundamentos de la mecánica cuántica para estar alineada con los avances actuales de la ciencia. Sin embargo, la diferencia en la profundidad de los argumentos presentados pone de manifiesto una brecha en la formación de los profesores en relación con los conceptos cuánticos. Esto evidencia la necesidad de

reforzar su capacitación en física moderna y en estrategias didácticas específicas que les permitan transmitir estos conocimientos de manera efectiva. Por lo tanto, es fundamental implementar programas de formación continua que promuevan una comprensión más profunda y aplicada de la teoría cuántica y su importancia en la enseñanza de la estructura atómica.

Ítem 3: ¿Cuáles cree que son las principales dificultades que pueden tener con los maestros en formación a la hora de tratar en clase el tema de estructura del átomo?

De otra manera, el *Ítem 3* del cuestionario fue diseñado para identificar las barreras más comunes que enfrentan los profesores al abordar la enseñanza de la estructura del átomo en programas de licenciatura en ciencias naturales. Este análisis buscó comprender las dificultades desde tres perspectivas principales: el estudiante, el saber y el profesor. Las respuestas proporcionadas permitieron explorar cómo las concepciones erróneas, la complejidad de los conceptos abstractos y las limitaciones en la formación de los profesores influyen en la enseñanza de esta temática fundamental. Además, el *ítem* incluyó la categoría de quienes no reconocen dificultades en este proceso, lo que ofreció un contraste interesante sobre las percepciones en torno a los desafíos educativos.

A través de este *ítem*, se obtuvieron datos que reflejan las múltiples dimensiones que impactan la enseñanza de la estructura atómica, desde las ideas previas y creencias de los estudiantes, hasta la capacidad de los profesores para manejar la complejidad teórica y conceptual del tema. El análisis de las respuestas reveló patrones significativos que permitieron identificar las áreas de oportunidad para mejorar la enseñanza de los conceptos cuánticos y su aplicación didáctica, alineándose con el objetivo de fortalecer las prácticas educativas en los programas de formación docente. A continuación, se presentan los resultados

Tabla 4.13.

Resultados Ítem 3

Ítem 3: ¿Cuáles cree que son las principales dificultades que pueden tener con los maestros en formación a la hora de tratar en clase el tema de estructura del átomo?	Porcentaje (%)
---	-----------------------

1. Origen en el estudiante. Concepciones, creencias o ideas erróneas de los estudiantes.	18,75
2. Origen en el saber. Conceptos abstractos (todo surge desde un proceso de imaginación, de aproximaciones desde las soluciones matemáticas)-complejidad en el saber,	59,38
3. Origen en el profesor. Falta de formación en las diferentes áreas de las ciencias básicas (matemáticas, física, química).	9,37
4. No reconoce ninguna dificultad	12,50

Según las respuestas, el 59,38% identifica que las dificultades tienen su origen en el Saber, como se refiere en comentarios como:” Los *estudiantes a menudo enfrentan retos en comprender conceptos abstractos y matemáticos, como la mecánica cuántica. Además, la visualización de modelos atómicos y el entendimiento de conceptos como orbitales y números cuánticos pueden ser toda una tarea*”(RP12) o “*Las dificultades podrían radicar en las bases matemáticas de muchos de estos temas, así como la comprensión teórico conceptual de los mismos, por ejemplo como la dualidad onda-partícula*”(RP17), es decir, los problemas que enfrentan los estudiantes están relacionados con la naturaleza abstracta y compleja de los conceptos teóricos sobre la estructura del átomo. También, varias respuestas apuntan a la dificultad que tienen los estudiantes para comprender fenómenos como la dualidad onda-partícula o el principio de incertidumbre, conceptos que requieren procesos de imaginación y modelización complejos. Este resultado sugiere que la enseñanza de estos temas no está suficientemente adaptada para facilitar la construcción progresiva de estos conceptos, lo que podría estar afectando negativamente la comprensión de los estudiantes.

El predominio de las dificultades relacionadas con el saber indica que los profesores identifican la complejidad intrínseca de los conceptos cuánticos como la barrera más relevante. Las respuestas clasificadas en esta categoría destacan la abstracción de los contenidos y su dependencia de un lenguaje matemático avanzado, como las funciones de onda, los números cuánticos y las aproximaciones teóricas.

La complejidad inherente a estos temas se convierte en una barrera significativa, especialmente para estudiantes que carecen de una base sólida en matemáticas y física. Como señala Chamizo (2010), estas dificultades no son insuperables, pero exigen un cambio en las prácticas pedagógicas tradicionales. Este resultado sugiere la necesidad de implementar

estrategias didácticas innovadoras que permitan a los estudiantes acceder a estos conceptos de manera gradual y comprensible.

En ese aspecto, una posible solución radica en el uso de explicaciones claras y bien estructuradas, acompañadas de analogías que conecten los conceptos abstractos con experiencias y conocimientos cotidianos. Además, las visualizaciones mediante simulaciones y animaciones pueden ofrecer representaciones dinámicas y accesibles de fenómenos como la distribución de densidad electrónica o la dualidad onda-partícula (Fanaro et al., 2009). Herramientas interactivas, como laboratorios virtuales y actividades basadas en el aprendizaje activo, también pueden jugar un papel crucial. Estas permiten a los estudiantes explorar conceptos complejos a través de experiencias prácticas y experimentales, promoviendo una comprensión más profunda y significativa. De acuerdo con Chamizo (2010), estas estrategias no solo facilitan el aprendizaje, sino que también contribuyen a desmitificar la física cuántica como un campo inaccesible, fomentando así una mayor confianza en los estudiantes.

De otro modo, continuando con el análisis de los resultados mostrados en la Tabla 4.8 se observa que el 18,75% de los profesores considera que las principales dificultades provienen de los estudiantes, como se observa en las siguientes respuestas: *“Las falsas ideas, asociadas a imágenes precuánticas. Por ejemplo, imaginar el átomo como un sistema planetario” (RP1)* o *“Pienso que una dificultad puede estar en la falta de bases químicas; me explico, muchos estudiantes toman sus cursos, pero han olvidado la química básica del colegio y en los programas de Licenciatura en Física, muchos no contemplan un curso de química que refuerce conceptos básicos” (RP22)*.

Estas respuestas reflejan que las concepciones erróneas, las creencias previas y la falta de preparación académica son factores significativos que limitan el aprendizaje de los estudiantes. Además, como lo refiere uno de los participantes encuestados, la carencia de una base sólida en matemáticas, física o química básica, que se evidencia en los programas académicos de licenciatura, puede hacer que los conceptos relacionados con la estructura atómica y la teoría cuántica sean especialmente desafiantes. La falta de continuidad en el aprendizaje de estos fundamentos durante la transición entre la educación secundaria y

superior contribuye a la dificultad que enfrentan los estudiantes al abordar conceptos más avanzados.

Este análisis subraya la importancia de implementar estrategias didácticas que no solo aborden las concepciones erróneas, sino que también refuercen las bases conceptuales de los estudiantes. La intervención temprana a través de cursos propedéuticos o talleres que fortalezcan conceptos fundamentales de matemáticas, química y física podría ser una solución efectiva. Además, el uso de actividades basadas en el aprendizaje conceptual, como las estrategias de conflicto cognitivo y el aprendizaje situado, puede contribuir a superar estas ideas erróneas al incorporar la complejidad del saber en el proceso educativo. Este enfoque permite que los estudiantes no solo confronten sus concepciones previas con evidencia científica, sino también comprendan cómo los conocimientos científicos son construidos, negociados y contextualizados dentro de marcos epistemológicos más amplios (Adúriz-Bravo y Izquierdo, 2002). Esto facilita un proceso de reestructuración del conocimiento que no se limita a corregir errores puntuales, sino que promueve una comprensión más profunda y matizada de los conceptos científicos.

Por otra parte, el 9,38% de los docentes opina que las dificultades tienen su origen en el profesor, dado que como se mencionan en algunos comentarios que llaman la atención “*Que no tienen la formación adecuada, no existen libros de texto adecuados con esta información, los cursos que reciben los maestros no tienen estos contenidos*” (RP6), “*Que ellos mismos no comprendan el tema. Y además que no sean conscientes de que no lo entienden*” (RP7) o que se evidencia “*Falta de formación y conocimiento en la temática cuando es un licenciado, y cuando es un profesional pasa lo contrario, sabe mucho de la temática (por ejemplo, un químico) pero está persona no tiene pedagogía ni didáctica para abordarlo significativamente*” (RP30)

Estas respuestas reflejan un problema estructural en la formación inicial y continua de los docentes. Por un lado, la falta de una preparación adecuada en ciencias básicas limita la capacidad de algunos profesores para enseñar conceptos complejos y abstractos, como los relacionados con la estructura del átomo y la teoría cuántica. Por otro lado, cuando los docentes poseen un conocimiento profundo en la disciplina —como ocurre con profesionales especializados en química o física—, frecuentemente carecen de las habilidades pedagógicas

y didácticas necesarias para traducir ese conocimiento en estrategias de enseñanza accesibles y significativas para los estudiantes (López, 2019).

Este desequilibrio pone de manifiesto la necesidad de un enfoque más integral en la formación de los docentes, que les permita desarrollar la capacidad para transformar el contenido disciplinar y la selección de estrategias adecuadas para que sea enseñable el contenido. Shulman (1986) lo describe como el “conocimiento didáctico del contenido” (PCK, por sus siglas en inglés), el cual integra el conocimiento del qué enseñar con el cómo enseñarlo y evaluarlo. La ausencia de este enfoque en los programas de formación docente contribuye a una enseñanza fragmentada, especialmente en áreas científicas avanzadas.

Además, la percepción de algunos profesores sobre la inexistencia de materiales adecuados y de oportunidades formativas específicas pone en evidencia la necesidad de recursos y programas que respondan a las demandas actuales de la enseñanza de las ciencias. Esto incluye la selección de libros de texto actualizados y pertinentes, plataformas digitales interactivas y talleres que permitan a los docentes familiarizarse con los avances científicos y tecnológicos, así como con nuevas estrategias didácticas (Arana, 2005)

Por último, es relevante destacar que un 12,50% de los profesores mencionaron no identificar dificultades específicas en relación con la pregunta planteada en el ítem 3, dado que se refieren: *“Ausencia de estudios que relacionan la Historia de las Ciencias y la Filosofía de las Ciencias con la Didáctica de las Ciencias” (RP26)*, así como también algunos docentes mencionan que *“Ni idea. Mi experiencia con estudiantes desde primeros semestres (de carreras de ciencias e ingeniería) hasta estudiantes avanzados de física y astronomía es que el tema de la estructura del átomo es uno de los más sencillos y naturales (en sus diferentes niveles de complejidad). La idea del átomo se puede enseñar muy bien a niños y jóvenes. Comparada con otras ideas de la física (leyes de Newton), la estructura atómica de la materia y los modelos atómicos se comprenden mucho mejor (RP21).*

Algunas razones que podrían explicar este resultado incluyen la confianza en sus habilidades de enseñanza y conocimiento, la percepción sobre si, los estudiantes tienen las bases suficientes para comprender, y la creencia de que los materiales y métodos actuales son adecuados. Sin embargo, esta perspectiva podría no considerar completamente las posibles

barreras que los estudiantes enfrentan, y de una reflexión más profunda sobre los desafíos que enfrenta esta temática a enseñar.

Ítem 4: ¿Qué indicadores utiliza para averiguar que el estudiante ha comprendido el tema de estructura del átomo?

De otra manera, el *Ítem 4* del cuestionario tuvo como objetivo analizar las estrategias utilizadas por los profesores para evaluar la comprensión de los estudiantes en relación con el tema de la estructura del átomo. Este *ítem* fue diseñado para identificar y categorizar los métodos de evaluación empleados por los profesores, con especial énfasis en las prácticas utilizadas para verificar si los estudiantes han comprendido los conceptos implicados. Las estrategias consideradas abarcaron desde enfoques tradicionales hasta métodos más dinámicos como actividades experimentales y proyectos.

Los resultados obtenidos reflejan una marcada preferencia por los métodos de evaluación tradicionales, seguidos de proyectos y problemas como segunda opción más empleada; las actividades experimentales y simuladas ocuparon un lugar menos representativo, mientras que algunos profesores indicaron que no aplicaban estrategias específicas para evaluar estos conceptos. Este panorama permite identificar tendencias significativas en las prácticas evaluativas y su relación con la efectividad del aprendizaje de los conceptos de estructura atómica.

Tabla 4.14.

Resultados Ítem 4

Ítem 4: ¿Qué indicadores utiliza para averiguar que el estudiante ha comprendido el tema de estructura del átomo?	Porcentaje (%)
1. Evaluación tradicional. Pruebas escritas u orales para evaluar el conocimiento del estudiante sobre los conceptos clave relacionados con la estructura atómica	
Resolución de problemas relacionados con la estructura del átomo y observación de cómo aplican sus conocimientos para resolverlos.	71,88
Participación del estudiante durante las clases evidenciando interés en el tema, y elaborando preguntas conceptuales y prácticas.	

2.Actividades experimentales. Se propone actividad en el laboratorio de docencia en la que el estudiante tiene la posibilidad de interactuar con la teoría y prácticas.	0,00
3.Actividades simuladas. Se propone actividad con simuladores en la que el estudiante tiene la posibilidad de interactuar con la teoría y prácticas.	12,50
4.Proyectos de indagación. Se propone el diseño, desarrollo y presentación de un proyecto que atienda a una situación específica en la que el estudiantado puede hacer uso de la teoría para interpretar y explicar lo observado en el resultado del proceso- (artefacto)	15,62

En la Tabla 4.14., se observa que el 71,88% de los docentes recurren principalmente a métodos establecidos y estructurados que en el instrumento se denominan evaluaciones tradicionales, como pruebas escritas u orales, resolución de problemas y observación de la participación en clase, como se evidencia en comentarios como: *“Hay elementos cuantitativos y cualitativos. En los cuantitativos el estudiante debe ser capaz de explicar y entender las series de Balmer, desde la visión de Bhor (sic), hasta la visión de Schrodinger (sic). En lo cualitativo, hay ejercicios que consideran a los orbitales como densidades de carga. Esa es una visión más próxima a la visión moderna del átomo” (sic) (RP1) “Me fijo si pueden explicar los conceptos en sus propias palabras, si resuelven correctamente los ejercicios y si pueden aplicar lo aprendido a nuevos problemas” (RP13) “Para la comprensión de la temática, más que un indicador son estrategias que permiten identificar dicha significación. Entre estas, aunque ortodoxas, son necesarias, realizar ejercicios en el tablero y talleres; de manera adicional, ejercicios digitales que complementan la temática”*

Este resultado pone de manifiesto que, si bien las pruebas y exámenes permiten evaluar de manera directa la capacidad de los estudiantes para recordar y aplicar conceptos clave relacionados con la estructura atómica, este enfoque puede no capturar completamente la comprensión profunda y la capacidad de los estudiantes para aplicar estos conceptos en contextos prácticos y experimentales. Las pruebas tradicionales, aunque eficaces para evaluar conocimientos teóricos y habilidades básicas de resolución de problemas, no son suficientes para medir competencias más complejas como la capacidad de los estudiantes para integrar conceptos, formular hipótesis, diseñar experimentos o analizar datos de manera crítica y creativa. Este tipo de habilidades es esencial para formar científicos y educadores que no solo

comprendan la teoría, sino que también sean capaces de aplicar ese conocimiento de manera práctica en situaciones reales (Alph et al., 2005)

Lo anterior genera preocupación al analizar la formación que reciben los estudiantes en los distintos programas de formación de profesores. Como indican los resultados, ninguno de los docentes consultados opta por utilizar actividades experimentales como indicador de comprensión, lo que evidencia una problemática asociada a la falta de ambientes de laboratorio específicos para la enseñanza de la cuántica. Esto se debe, en gran medida, al alto costo de los equipos necesarios y sugiere, además, un desconocimiento sobre otras estrategias de evaluación del aprendizaje.

La ausencia de recursos adecuados, como laboratorios equipados y materiales para actividades experimentales, representa un desafío significativo para la enseñanza de las ciencias, especialmente en temas complejos y abstractos como la estructura atómica (Carrascosa et al., 2006).

Además, la ausencia de estrategias que promuevan el aprendizaje basado en la experimentación refleja una carencia de formación continua en los docentes sobre nuevas metodologías de enseñanza que favorezcan una comprensión más profunda y activa de los conceptos científicos. En este sentido, la formación de los docentes debería incluir el aprendizaje y la práctica de nuevas metodologías que integren la teoría con la experimentación y la resolución de problemas en contextos reales (Dib et al., 2020)

Es claro que las actividades experimentales juegan un importante rol para que los estudiantes puedan interactuar con la teoría en un contexto práctico, desarrollando habilidades de investigación y comprensión aplicada.

Lo descrito, se respalda al continuar analizando los resultados obtenidos, ya que como lo indica la Tabla 4.9, un 12,50% de los docentes emplea actividades simuladas como indicador de comprensión, como se evidencia en comentarios como: *“Como soy docente universitario usamos muchos exámenes, test, etc., pero podrían hacerse modelos a escala*

(un buen reto para entender el asunto de las escalas del átomo), juegos (Phet²), etc....” (RP21).

Estas actividades, que pueden incluir el uso de simuladores y aplicaciones interactivas, permiten a los estudiantes experimentar con conceptos teóricos de manera virtual. Aunque este porcentaje es relativamente bajo, muestra un interés creciente en la incorporación de tecnologías digitales en la enseñanza y entonces, trae a colación ese papel que juega la tecnología en el mundo actual, y específicamente en el campo de la educación, puesto que, las simulaciones pueden ofrecer una alternativa accesible y flexible a los experimentos de laboratorio, especialmente en situaciones donde los recursos físicos son limitados.

Por otro lado, los resultados indican que un 15,62% de los docentes utiliza proyectos o problemas como indicadores de comprensión, lo que infiere que se ha comprendido que este enfoque promueve el aprendizaje activo y la aplicación de la teoría en situaciones reales o simuladas, debido a que, los proyectos permiten a los estudiantes explorar el tema de manera más profunda y creativa, desarrollando habilidades de resolución de problemas y pensamiento crítico, como se refleja en respuestas de algunos docentes como: *“Elementos de reflexión, lúdica y análisis para resolver problemas mentales, situaciones problemáticas propias de la temática y pensar diferentes temáticas sociales que vincule este conocimiento”* y *“La resolución de problemas, es para mí el indicador que me muestra la comprensión de los conceptos relacionados con la estructura del átomo, su capacidad de precisión y lógica de las respuestas”* (RP30)

La inclusión de este método en una proporción significativa de docentes indica un reconocimiento de la importancia de la evaluación basada en proyectos para fomentar una comprensión más integral y aplicada de los conceptos científicos.

Ítem 5: ¿Qué métodos de enseñanza emplearía para favorecer el aprendizaje de la estructura del átomo?

Por otra parte, el análisis e interpretación de los resultados del Ítem 5 reflejan las estrategias didácticas predominantes que los profesores emplean para la enseñanza de la

² Phet se refiere a la página web de simulaciones de física de la Universidad de Colorado <https://phet.colorado.edu/es/>

estructura atómica, clasificadas en enfoques históricos, convencionales y tecnológicos. Los resultados obtenidos revelan importantes tendencias.

Tabla 4.15.

Resultados Ítem 5

Ítem 5: ¿Qué métodos de enseñanza emplearía para favorecer el aprendizaje de la estructura del átomo?	Porcentaje (%)
1. Histórica: cuando las respuestas correspondan a énfasis en el aporte de la Historia de la ciencia a la enseñanza, quiebre epistemológico entra clásica y cuántica. (Muñoz -Burbano, 2020)	21,88
2. Convencionales: cuando los docentes relacionan estrategias y recursos de uso generalizado para la temática, tales como ver videos, analogías, comparaciones, maquetas, Prácticas simples de laboratorio, entre otras. (Muñoz -Burbano, 2020)	25,00
3. Con tecnologías digitales. Cuando en los entornos de aprendizaje se incorporan actividades con aplicaciones interactivas, realidad aumentada, simulaciones, realidad virtual y creación de videos.	53,12

De acuerdo con los datos, el 53,12% de los docentes encuestados, prefiere utilizar tecnologías digitales para la enseñanza de este tema, y complementa la respuesta a la inquietud generada por la baja participación del uso de actividades experimentales que se observó en el *Ítem 4*. Algunas respuestas que apoyan la afirmación se refieren a: “*Clases participativas, experimentos prácticos ya sea en laboratorio o en simuladores*” (RP17) y “*Cartillas didácticas, cortometrajes, simuladores atómicos y de realidad aumentada, elementos lúdicos para favorecer la atracción, y vincular la historia de la ciencia a los procesos educativos de esta temática*” (RP30).

El uso de aplicaciones interactivas, simulaciones, realidad aumentada y realidad virtual se puede definir como una tendencia moderna y cuyo uso se encuentra en aumento en la educación, que reconoce la importancia de integrar herramientas tecnológicas para enriquecer la experiencia de aprendizaje. La tecnología, al permitir a los estudiantes visualizar conceptos abstractos y participar en simulaciones interactivas, no solo facilita la comprensión de la estructura del átomo, sino que también estimula la curiosidad y el interés de los estudiantes por temas complejos. Según estudios previos, el uso de tecnologías como la realidad aumentada puede mejorar significativamente la comprensión de conceptos

científicos complejos, ya que proporciona representaciones visuales que los estudiantes pueden manipular y explorar (Bower et al., 2014)

La implementación de estas tecnologías tiene el potencial de transformar la enseñanza de la ciencia al ofrecer una experiencia más inmersiva y dinámica, permitiendo a los estudiantes experimentar fenómenos atómicos de una manera que de otro modo sería difícil de lograr con métodos tradicionales. Este enfoque no solo facilita la comprensión de conceptos abstractos, sino que también promueve la emancipación del saber, ya que coloca a los estudiantes en una posición activa y participativa en su proceso de aprendizaje. Al utilizar herramientas digitales interactivas, los estudiantes pueden cuestionar, explorar y generar conocimiento de manera autónoma, trascendiendo los límites impuestos por las estructuras educativas tradicionales (González et al., 2022).

Además, las tecnologías digitales pueden servir como apoyo para desarrollar habilidades clave como el pensamiento crítico y la resolución de problemas, involucrando a los estudiantes en actividades más prácticas y experimentales que fomentan una comprensión profunda y contextualizada de los contenidos (Wu et al., 2013) De esta manera, no solo se facilita el aprendizaje de la ciencia, sino que se potencia la capacidad de los estudiantes para ser creadores y críticos del conocimiento, contribuyendo a una educación más libre, democrática y transformadora.

En este sentido, se vuelve crucial que los docentes reciban formación adecuada sobre el uso de estas tecnologías y cómo integrarlas de manera efectiva en sus prácticas pedagógicas, garantizando que estas herramientas no solo sirvan como complementos, sino como medios fundamentales para mejorar la enseñanza de la ciencia.

La preferencia por métodos convencionales, como se observa en el 25% de los docentes que optan por estrategias tradicionales, refleja una continuidad con enfoques educativos que han sido efectivos durante años. Estas estrategias, que incluyen el uso de videos educativos, analogías, comparaciones, maquetas y prácticas simples de laboratorio, son accesibles y directas, y permiten a los docentes abordar de manera efectiva los conceptos fundamentales antes de incorporar tecnologías más complejas. Comentarios como: *“Empleo una combinación de clases teóricas, prácticas de laboratorio y uso de software de simulación, también utilizo analogías y ejemplos del mundo real para hacer los conceptos*

más accesibles y relevantes para los estudiantes” (RP12) y “En este momento es necesario y vital el apoyo de las TIC, aprovechar videos y estrategias manuales que contribuyen a la enseñanza- aprendizaje” indican una aceptación general de la eficacia de los métodos tradicionales, especialmente cuando estos se combinan con recursos digitales que facilitan la visualización y comprensión de los conceptos.

La preferencia por métodos convencionales sugiere que muchos docentes confían en estrategias probadas y familiares que han demostrado ser efectivas a lo largo del tiempo, además que estos métodos son accesibles y directos, y pueden ser particularmente útiles para explicar conceptos básicos y fundamentales antes de introducir tecnologías más avanzadas. Sin embargo, esta selección puede explicarse, en parte, por la insuficiente formación en los fundamentos de la teoría cuántica y las herramientas didácticas avanzadas que se reflejan en otros *ítems* del cuestionario. Si bien estas estrategias cumplen con los mínimos requerimientos didácticos y pedagógicos, no logran integrar plenamente los conceptos modernos ni estimular un pensamiento crítico en los estudiantes, lo cual es esencial para abordar temas como la estructura atómica.

Finalmente, el 21,88% de los docentes prefieren un enfoque histórico para enseñar la estructura del átomo, resaltando el aporte de la historia de la ciencia a la enseñanza y destacando los cambios epistemológicos entre la mecánica clásica y la teoría cuántica. Esto sugiere que los docentes tienen confianza en proporcionar a los estudiantes un contexto más amplio sobre el desarrollo de la ciencia, lo que puede ayudar a los estudiantes a comprender no sólo el "qué", sino también el "por qué" detrás de las teorías científicas. Desde la perspectiva de los docentes, este enfoque puede ser especialmente valioso para fomentar el pensamiento crítico y una apreciación más profunda del proceso científico y su evolución. Sin embargo, esta categoría tuvo un porcentaje muy bajo, lo que indica que se presta poca atención a la naturaleza de la ciencia (NdC) y a las cuestiones socio-científicas que son fundamentales para la formación en ciencias (Solbes, 2019).

Así las cosas, los resultados del Ítem 5 permiten interpretar que la enseñanza observada sigue siendo predominantemente convencional, aunque se evidencia un esfuerzo creciente por incorporar tecnologías digitales. No obstante, la adopción del enfoque histórico continúa siendo limitada. Estos hallazgos ofrecen elementos para sustentar la Hipótesis 1,

indicando que la enseñanza de los CDC de la estructura atómica no aprovecha plenamente las posibilidades ofrecidas por la teoría cuántica ni por las aportaciones más recientes de la didáctica, lo que subraya la necesidad de diseñar programas de formación de profesores que equilibren los enfoques históricos, tecnológicos y convencionales, con énfasis en la actualización conceptual y didáctica, para garantizar una enseñanza más integral -y por qué no efectiva- de la estructura atómica.

Capítulo 5. Diseño Experimental para Comprobar la Segunda Hipótesis

5.1. Diseño del Cuestionario para Indagar el Conocimiento Didáctico del Contenido CDC de los Estudiantes

Este capítulo presenta el diseño experimental desarrollado para comprobar la Hipótesis 2: el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) sobre la estructura atómica en los futuros profesores que cursan licenciaturas en ciencias naturales es insuficiente e inadecuado. Esta hipótesis responde a la preocupación sobre las limitaciones en la formación del profesorado en Colombia, particularmente en un tema complejo y fundamental como la estructura atómica. Se plantea que estas deficiencias, derivadas de un enfoque didáctico insuficiente y una integración limitada de avances científicos modernos, como la teoría cuántica, dificultan que los futuros profesores adquieran las competencias necesarias para enseñar este conocimiento.

Para abordar esta hipótesis, se diseñó un marco metodológico que permitió caracterizar el nivel de aprendizaje y las competencias desarrolladas por los estudiantes de licenciatura en ciencias naturales en relación con el CDC sobre la estructura atómica. Este capítulo se organiza en torno al objetivo principal que orientó esta parte de la tesis doctoral: determinar el CDC sobre la estructura atómica en profesores en formación en ciencias naturales en Colombia. Este objetivo responde a la necesidad de evaluar no solo el dominio del contenido de los futuros profesores, sino también su capacidad para contextualizar, adaptar y enseñar estos contenidos.

Ahora bien, para este apartado se diseña un cuestionario, con un total de 19 preguntas. Está adaptado del instrumento utilizado por Muñoz-Burbano (2020) y basado en el instrumento representación de los Contenidos (Content Representation, CoRe) que proponen Loughran et al. (2012) (Tabla 5.1), el cual es un instrumento diseñado específicamente para evaluar de manera cualitativa y cuantitativa la preparación de futuros docentes en la enseñanza de conceptos complejos como la estructura atómica

Este cuestionario fue previamente validado por un panel de cinco expertos, lo que permitió garantizar la pertinencia, claridad y alineación del instrumento con los objetivos del estudio. Para completar esta validación se realizó un ensayo piloto del mismo. Este proceso

se desarrolló en una de las universidades seleccionadas para la muestra y contó con la participación de 58 estudiantes del programa de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Durante el pilotaje, se analizaron las respuestas de los participantes, lo que facilitó la evaluación práctica del instrumento. Este análisis incluyó un enfoque vertical, que consistió en examinar las respuestas dentro de cada sección y pregunta, se identificaron conceptos, palabras, términos y expresiones similares o reiterativas que reflejaban recurrencias en los contenidos abordados, estas recurrencias permitieron agrupar la información en categorías, lo que contribuyó a cuantificar los resultados obtenidos.

Es preciso señalar que, el pilotaje permitió detectar aspectos que podían mejorarse en el cuestionario, como la redacción de ciertas preguntas, el número total de estas y su complejidad para los participantes, además, el análisis de las respuestas permitió establecer la validez práctica del instrumento y evaluar su capacidad para cumplir con los objetivos propuestos. A partir de estos hallazgos, se realizaron ajustes al cuestionario con el fin de optimizar su diseño y aplicación.

Estas preguntas abarcan desde la identificación de conceptos clave hasta la evaluación de metodologías y estrategias didácticas.

Tabla 5.1

Cuestionario para indagar el conocimiento didáctico del contenido CDC de los estudiantes de Licenciatura en Ciencias Naturales. Fuente: Adaptado del instrumento de Muñoz-Burbano (2020) y del instrumento representación de los Contenidos (content representation, CoRe) que Proponen Loughran et al. (2012) para acceder al CDC.

Cuestionario para indagar el conocimiento didáctico del contenido CDC de los profesores en formación de las Licenciatura en Ciencias Naturales. Universidad a la cual pertenece Programa académico al cual pertenece Semestre que cursa actualmente Género con el cual se identifica 1. ¿Qué papel cumplen las ideas previas en la enseñanza de las ciencias? 2. ¿De qué manera considera que se aprende mejor las ciencias?
--

3. ¿En qué grado escolar o grados escolares se debería abordar la estructura del átomo?
4. ¿Qué importancia tiene para usted la formación científica en Colombia? ¿Por qué?
5. ¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación al concepto de electrón?
6. ¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación al concepto de fotón?
7. ¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación a los niveles de energía en el átomo?
8. ¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación a las Relaciones de Indeterminación de Heisenberg?
9. ¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación al orbital atómico?
10. ¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación a las implicaciones tecnológicas y sociales de la teoría cuántica?
11. ¿Por qué considera importante que los estudiantes aprendan conceptos relacionados con la Teoría cuántica?
12. ¿Qué otra cuestión (en relación con los contenidos) sobre la estructura del átomo considera relevantes?
13. ¿Conoce dificultades o limitaciones que pueden producirse en la enseñanza de aspectos mencionados anteriormente?
14. ¿Conoce las posibles ideas alternativas que pueden tener los estudiantes en el aprendizaje de la estructura del átomo?
15. ¿Qué metodología de enseñanza (para la estructura atómica) utilizará para obtener mayor aprendizaje de sus estudiantes?
16. ¿Cómo evaluaría si los estudiantes han comprendido realmente todos los conceptos implicados en la estructura del átomo (en particular los implicados en las cuestiones indicadas al principio)?

Es preciso señalar que, por razones de practicidad y para facilitar la captura ágil de la información, el cuestionario fue diseñado utilizando la herramienta Formularios de Google, y se compartió con estudiantes de las licenciaturas seleccionadas (LCN1 - U1, LCNEA2 - U2, LCNEA3 - U3, LCNEA4 - U4, LCN5 - U5). El enlace fue distribuido por correo electrónico, WhatsApp y redes institucionales. La aplicación del cuestionario resultó en una muestra final de 172 estudiantes, número que corresponde al total de respuestas recibidas. La

participación fue voluntaria, y la selección buscó garantizar una representación diversa de contextos educativos y niveles de formación en el país. Cada participante respondió de manera abierta a las preguntas, permitiendo una recopilación de datos cualitativos que posteriormente fueron categorizados y analizados

5.2 Criterios para el Análisis del Cuestionario para Indagar el Conocimiento Didáctico del Contenido CDC de los Estudiantes

El análisis del cuestionario se realizó a través de la construcción de criterios de valoración, que se detallan a continuación:

Fase 1: Clasificación de respuestas. En esta etapa, las respuestas abiertas fueron evaluadas y categorizadas mediante una escala de valoración que asignaba puntuaciones de 0, 1 y 2, construida con base en los criterios de coherencia conceptual, claridad argumentativa y alineación con los objetivos del instrumento:

- 0: Respuesta no pertinente o ausencia de respuesta.
- 1: Respuesta parcialmente pertinente, con ideas básicas, pero sin desarrollo o justificación suficiente.
- 2: Respuesta conceptualmente consistente, con explicaciones claras, desarrolladas y coherentes con los propósitos del cuestionario.

Cabe mencionar que, los criterios de su valoración también fueron validados por expertos en didáctica de las ciencias, quienes revisaron: la claridad y pertinencia de las posibles respuestas, la alineación del cuestionario con los objetivos de investigación, la capacidad del instrumento para captar información relevante sobre el CDC de los participantes.

Criterios de valoración del cuestionario para indagar el Conocimiento Didáctico del Contenido CDC de los estudiantes

A continuación, se presentan las preguntas (1, 2, 3, 4) que se relacionan con el instrumento de representación de los Contenidos (content representation, CoRe) que proponen Loughran et al. (2012) para acceder al CDC:

1. ¿Qué papel cumplen las ideas previas en la enseñanza de las ciencias?

2: Consideran las ideas previas como construcciones de los estudiantes que permiten organizar las actividades de enseñanza. Son la base para iniciar el proceso y deben ser transformadas a concepciones científicas.

1: Las ideas previas son importantes, pero no se constituyen en el punto de inicio y de organización de las actividades de enseñanza. Se deben conocer, pero no tienen relevancia en el proceso de enseñanza

0: Las ideas previas de los estudiantes no son importantes para el proceso de enseñanza aprendizaje, no sabe /no responde

2. ¿De qué manera considera que se aprende mejor las ciencias?

2. Menciona diferentes estrategias didácticas que favorecen la actividad cognitiva: aprendizaje por indagación, aprendizaje basado en problemas, aprendizaje por proyectos, aprendizaje colaborativo y aprendizaje autónomo, entre otras.

1. Menciona algunas actividades (talleres, lecturas, videos, diagramas, etc.), pero no las ubica dentro de ningún enfoque de aprendizaje.

0. No menciona ningún enfoque que favorezca el aprendizaje de las ciencias, no sabe /no responde

3. ¿En qué grado escolar o grados escolares se debería abordar la estructura del átomo?

2: De acuerdo con los Estándares Básicos de Competencias, la enseñanza de la estructura atómica de la materia comienza en grado 7 (13 años). Posteriormente, en grado 10 (15 años), se desarrolla toda la unidad de estructura atómica, incorporando la base conceptual de la teoría cuántica, ya que es el penúltimo grado antes del ingreso a la universidad en Colombia. Sería conveniente que en grado 7 se introdujera el modelo clásico, destacando sus limitaciones; en grado 10, se abordara el modelo pre-cuántico, exponiendo sus restricciones; y, finalmente, en grado 11, se enseñara el modelo cuántico, proporcionando una comprensión más integral de la evolución de la teoría atómica.

1: Establece grados inferiores como puede ser desde grado 5, hasta grado 10, pero no se clarifica hasta que modelo atómico se puede trabajar dependiendo de las características y madurez del estudiantado.

0: Enuncia confusión en los grados o establece que no debe trabajar estructura Atómica en la educación básica o media, no sabe /no responde

4. *¿Qué importancia tiene para usted la formación científica en Colombia? ¿Por qué?*

2. Reflexiona claramente el rol de la formación científica en Colombia desde aspectos social, cultural, educativo y económico de Colombia.

1. Si tiene en cuenta algunos aspectos social, cultural, educativo y económico de Colombia.

0. No realiza un ejercicio descriptivo donde no reflexiona claramente el rol de la formación científica en Colombia desde aspectos social, cultural, educativo y económico de Colombia.
no sabe /no responde

Las preguntas que van desde la 5 hasta la 16 fueron adaptadas del instrumento utilizado por Muñoz-Burbano (2020).

5. *¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación al concepto de electrón?*

2: Si se describe el electrón como un objeto cuántico, con masa, carga negativa y un comportamiento dual.

1: Si lo describe bien en términos de partícula con carga negativa y ubicado en la periferia del átomo, pero no se enuncia el comportamiento dual.

0: Si se describe cómo partícula con carga diferente a la negativa o se ubica en el núcleo u otras incorrecciones, no sabe /no responde

6. *¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación al concepto de fotón?*

2. Paquete o cuanto de energía que constituye la luz (radiación electromagnética), sin masa, ni carga y que, al igual que el electrón, no es ni una partícula clásica ni una onda clásica sino Cuanto de luz, no sabe /no responde

1. Partícula de la luz.

0. No proporciona ninguna explicación o brinda una explicación incorrecta (confusión con el concepto de electrón, protón o neutrón), no sabe /no responde

7. *¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación a los niveles de energía en el átomo?*

2. Entiende que la energía está cuantizada y que el número cuántico principal (n) describe la energía y tamaño de los niveles.

- 1. Son estados de energía donde se pueden encontrar los electrones.
- 0. No proporciona ninguna explicación o brinda una explicación incorrecta, no sabe /no responde

8. *¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación a las Relaciones de Indeterminación de Heisenberg?*

- 2. Establece la imposibilidad de medir de manera simultánea dos magnitudes físicas, como por ejemplo velocidad (o momento lineal) y posición.
- 1. No es posible establecer la posición exacta del electrón.
- 0. No se menciona la imposibilidad de medir simultáneamente la velocidad y posición, habla sobre incertidumbre del conocimiento o relacionada con otro aspecto no físico, no saber no responde, no sabe /no responde

9. *¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación al orbital atómico?*

- 2. Lo asocia con la ecuación de onda y con la probabilidad de encontrar el electrón en el espacio.
- 1. Relaciona el orbital atómico, como el espacio donde se puede encontrar el electrón
- 0. Tratarlo como sinónimo de órbita o de nivel u otros conceptos o no sabe no responde.

10. *¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación a las implicaciones tecnológicas y sociales de la teoría cuántica?*

- 2. Reflexiona cómo el conocimiento derivado de la estructura atómica influye en desarrollos tecnológicos, así como las implicaciones sociales de estas tecnologías (beneficios, riesgos, aspectos éticos).
- 1. Describe avances tecnológicos y la importancia de este, pero no lo relaciona con la teoría cuántica
- 0. No realiza una descripción, no sabe no responde

11. *¿Por qué considera importante que los estudiantes aprendan conceptos relacionados con la Teoría cuántica?*

2. Sienta las bases para comprender de manera contemporánea la estructura atómica, así como los conceptos cuánticos y sus implicaciones tecnológicas y científicas (microscopio electrónico, computación cuántica, metrología cuántica, etc.)

1.Considera de la importancia de aprender y enseñar conceptos cuánticos para abordar la teoría atómica, sin embargo, presenta algunas imprecisiones conceptuales en su explicación

0.No describe la importancia, no sabe no responde

12. *¿Qué otra cuestión (en relación con los contenidos) sobre la estructura del átomo considera relevantes?*

2. Señala y explica otros aspectos importantes de la estructura atómica (estructura electrónica de los átomos, el ordenamiento periódico y los enlaces de las moléculas, además, para la comprensión de los fenómenos microscópicos) y Relaciona estos aspectos con teorías más avanzadas o aplicaciones específicas.

1. Se menciona algunos contenidos relacionados con la estructura del átomo, pero la justificación presentada es incorrecta

0. No proporciona ninguna explicación, no sabe /no responde

13. *¿Conoce dificultades o limitaciones que pueden producirse en la enseñanza de aspectos mencionados anteriormente?*

2. Menciona dificultades específicas en la enseñanza de la estructura atómica (conceptos abstractos, matemáticas, errores conceptuales entre otras) y analiza las posibles causas de estas dificultades (ej. falta de fundamentos, métodos de enseñanza inadecuados).

1. Se enfoca en las necesidades didácticas y pedagógicas, pero omite las dificultades conceptuales que no permiten abordar de manera adecuada la estructura atómica

0. no menciona ni describe dificultades o limitaciones con relación a la enseñanza de la estructura atómica, no sabe no responde

14. *¿Conoce las posibles ideas alternativas que pueden tener los estudiantes en el aprendizaje de la estructura del átomo?*

2. Identifica y describe claramente ideas alternativas sobre la estructura del átomo que podrían haber sido adquiridas fuera del aula, como en medios de comunicación,

conversaciones informales, o recursos en línea (modelo planetario, la idea de que los electrones siempre se encuentran en un nivel de energía específico, una definición errada del átomo siendo este la porción más pequeña de la materia) Además, analiza críticamente estos conceptos alternativos, distinguiendo cómo se desvían de la comprensión científica aceptada.

1. Menciona ideas alternativas relacionadas con la estructura del átomo que podrían servir como un complemento o enriquecimiento para entender la temática, pero la descripción carece de profundidad en el análisis de cómo estas ideas se relacionan con los conceptos científicamente aceptados.

0. No proporciona ninguna descripción de ideas alternativas relacionadas con la estructura del átomo. No hay evidencia de comprensión de la pregunta, ni intento de explorar cómo las percepciones alternativas podrían influir en el aprendizaje de la estructura atómica, no sabe /no responde

15. ¿Qué metodología de enseñanza (para la estructura atómica) utilizará para obtener mayor aprendizaje de sus estudiantes?

2. Detalla una o varias metodologías específicas de enseñanza, tales como metodologías activas y prácticas, modelización, experimentación, y la inclusión de la historia de las ciencias. Esta respuesta debe incluir una explicación de cómo estas metodologías promueven el aprendizaje. y se ajustan eficazmente a los diversos estilos de aprendizaje y niveles educativos de los estudiantes.

1. Menciona varias metodologías de enseñanza como el aprendizaje basado en proyectos, trabajo en grupo, o uso de tecnologías educativas. Sin embargo, la respuesta carece de una justificación detallada sobre por qué estas metodologías son adecuadas para mejorar el aprendizaje.

0. No menciona ninguna metodología de enseñanza asociada con la efectividad en el aprendizaje del estudiante.

16. ¿Cómo evaluaría si los estudiantes han comprendido realmente todos los conceptos implicados en la estructura del átomo (en particular los implicados en las cuestiones indicadas al principio)?

2. Describe una metodología que considera en la evaluación el quiebre epistemológico que implica cada uno de los modelos atómicos y además reflexiona, no solo de los conceptos, si no del desarrollo histórico y los avances de la física moderna

1. Menciona como evaluar de manera general, pero no describe específicamente para la temática estructura atómica

0. No referencia ninguna metodología evaluativa, no sabe /no responde

Ahora bien, en cuanto a la herramienta de análisis, para sistematizar y analizar los datos obtenidos, se utilizó el software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), el cual permitió:

- Codificar las respuestas: asignar valores numéricos según la escala de valoración (0, 1 y 2).
- Realizar análisis estadísticos descriptivos: identificar distribuciones, frecuencias y tendencias en las respuestas de los participantes.
- Comparar categorías y dimensiones: evaluar cómo se distribuyen los niveles de conocimiento entre las diferentes secciones del cuestionario.

Capítulo 6. Resultados Segunda Hipótesis

6.1. Resultados Estadísticos del Cuestionario

Se ha utilizado un instrumento para evaluar el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) de los profesores en formación de licenciaturas en ciencias naturales ya validado en cada una de sus partes en anteriores trabajos (Loughran et al. 2012; Muñoz-Burbano, 2020). La fiabilidad de este se evaluó utilizando el coeficiente Alpha de Cronbach, una medida de la consistencia interna de un conjunto de *ítems* en una escala. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 6.1

Estadística de fiabilidad del instrumento

Alpha de Cronbach	Alpha de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos
,774	,764	16

El coeficiente Alpha de Cronbach obtenido fue de 0,774, lo que indicó una buena consistencia interna del instrumento. Este valor superó el umbral mínimo de 0,7, considerado aceptable en investigaciones sociales y educativas. Además, el Alpha de Cronbach basada en elementos estandarizados fue de 0,764, lo que refuerza la solidez del instrumento para medir de manera consistente los constructos relacionados con el CDC.

Estos resultados validaron el hecho de que los *ítems* del cuestionario estaban correlacionados de manera adecuada, permitiendo la evaluación confiable de diferentes dimensiones del CDC. La consistencia interna reflejó que el instrumento midió de forma coherente los aspectos conceptuales y didácticos propuestos en el marco de la tesis.

Ahora bien, la estadística de elemento (Tabla 6.2) proporciona información sobre las respuestas de los participantes en términos de promedio (media), dispersión (desviación estándar SD) y cantidad de casos analizados (N). Estos resultados reflejan el rendimiento de los profesores en formación en cada dimensión evaluada. A continuación, se presentan los datos:

Tabla 6.2.*Estadística de elemento (N=172)*

Items	Media	SD
Papel_Ideas_Previas_enseñanza_Ciencia	1,13	0,82
Aprender_ciencias	1,07	0,60
Grado_Estructura_Atomo	0,52	0,50
Importancia_ formación_científica	1,15	0,60
Aprenda_electron	1,30	0,67
Aprenda_Fotón	1,09	0,78
Aprenda_niveles_Energia	1,39	0,76
Aprenda_Relaciones_Indeterminación	0,70	0,88
Aprenda_orbital_atómico	0,67	0,78
Aprenda_tecnológicas_sociales_teoría_cuántica	1,33	0,83
Importancia_Aprendizaje_Teoría_cuántica	1,44	0,79
Contenidos_Estructura_Atómica	0,83	0,70
Dificultades_Enseñanza	1,03	0,63
Ideas_Alternativas_Aprendizaje_Estructura_átomo	0,49	0,73
Metodología_Enseñanza	1,54	0,59
Evaluación	1,63	0,61

Este análisis ofrece una visión integral sobre los niveles de comprensión conceptual y didáctica en las diferentes dimensiones del cuestionario diseñado para medir el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC).

El promedio de cada *ítem* refleja el nivel general de desempeño de los participantes en relación con los aspectos evaluados. Las medias más altas, como "Metodología de Enseñanza" (1,54) y "Evaluación" (1,63) se deben a que se les pide como enseñarían y evaluarían e indica que los participantes muestran un consistente manejo en la planeación de estrategias didácticas y en la evaluación del aprendizaje, lo que puede estar relacionado con la formación práctica que reciben los profesores en formación.

Otros *ítems* con medias altas, como "Importancia del Aprendizaje de la Teoría Cuántica" (1,44), reflejan un entendimiento adecuado sobre la relevancia de su aprendizaje. Sin embargo, aún existe margen de mejora para profundizar en la comprensión de la teoría cuántica como base fundamental del conocimiento científico.

Por otro lado, los *ítems* con medias intermedias, como "Papel de las Ideas Previas en la Enseñanza de Ciencias" (1,13) y "Aprender Ciencias" (1,07), muestran que los participantes reconocen la importancia de las ideas previas y las estrategias didácticas, pero las respuestas no siempre reflejan un nivel profundo de análisis, esto sugiere una necesidad de reforzar la formación teórica en didáctica de las ciencias. *Ítems* como "Concepto de Electrón" (1,30) y "Fotón" (1,09) evidencian una comprensión básica, pero también un área de oportunidad para fortalecer el entendimiento detallado de estos conceptos fundamentales para su correcta enseñanza.

En contraste, los *ítems* con medias más bajas, como "Grado para Abordar la Estructura del Átomo" (0,52) y "Ideas Alternativas sobre el Átomo" (0,49), reflejan deficiencias en la capacidad de contextualizar los contenidos y en la identificación de concepciones erróneas comunes entre los estudiantes. Estas áreas son críticas, ya que están directamente relacionadas con la enseñanza de conceptos abstractos. Otros *ítems* como "Relaciones de Indeterminación de Heisenberg" (0,70) y "Orbital Atómico" (0,67) muestran un nivel limitado de comprensión sobre conceptos avanzados de la estructura atómica, posiblemente debido a la complejidad inherente de estos temas y su tratamiento insuficiente en los programas de formación docente.

La desviación estándar indica la variabilidad en las respuestas de los participantes, *ítems* como "Relaciones de Indeterminación" (0,88) y "Implicaciones Tecnológicas y Sociales de la Teoría Cuántica" (0,83) presentan alta variabilidad, lo que sugiere que los participantes tienen diferentes niveles de comprensión y habilidades para articular estos conceptos. Este resultado podría deberse a variaciones en la formación previa o a la complejidad de los temas.

De manera similar, "Orbital Atómico" (0,78) y "Fotón" (0,78) también presentan dispersión significativa, lo que indica que algunos participantes tienen un manejo adecuado de estos conceptos mientras que otros presentan serias dificultades. Por otro lado, *ítems* como "Metodología de Enseñanza" (0,59) y "Evaluación" (0,61) reflejan menor dispersión en las respuestas, lo que sugiere mayor homogeneidad en la preparación de los profesores en formación en estas áreas, probablemente debido a un enfoque constante en estos aspectos durante su formación docente.

El análisis incluyó un total de 172 casos válidos, lo que asegura una muestra suficientemente representativa para obtener resultados confiables. La uniformidad en el número de casos para cada *ítem* refuerza la solidez estadística del análisis y permite una comparación equitativa entre las diferentes dimensiones evaluadas. Este análisis revela fortalezas como la alta puntuación en "Metodología de Enseñanza" y "Evaluación", que reflejan que los profesores en formación poseen habilidades prácticas para diseñar estrategias didácticas y evaluar el aprendizaje de manera efectiva. Esto sugiere que los programas de formación docente están logrando sus objetivos en estas áreas clave.

Sin embargo, los valores bajos en *ítems* como "Ideas Alternativas sobre el Átomo" y "Grado para Abordar la Estructura del Átomo" evidencian una necesidad urgente de fortalecer la formación en el manejo de concepciones alternativas y en la contextualización de los contenidos en el currículo escolar. Asimismo, los conceptos avanzados, como "Relaciones de Indeterminación " y "Orbital Atómico", requieren un tratamiento más profundo y didáctico en los programas de formación para asegurar que los futuros profesores puedan enseñar estos temas con claridad.

6.2. Características de la Muestra

Por otra parte, la Tabla 6.3. presenta la variable género del estudiante, detalla la composición de los participantes del cuestionario según su identidad de género. Los datos muestran que, de los 172 estudiantes participantes, 109 (63,4%) se identificaron como femeninos, 60 (34,9%) como masculinos y 3 (1,7%) en la categoría Otro.

Tabla 6.3.

Variable género del estudiante

Variables	No(%)
Género del estudiante	
Masculino	60(34,9)
Femenino	109(63,4)
Otro	3(1,7)

La distribución observada evidencia una mayor representación de mujeres en el grupo de participantes, lo cual no es inesperado, dado que, en los programas de formación docente, y en particular en las áreas relacionadas con ciencias naturales, las mujeres suelen constituir

una mayoría significativa, como lo han señalado diversos estudios sobre género en la educación superior (Zubieta-García y Marrero-Narváez, 2005; UNESCO, 2021); este predominio podría estar relacionado con factores culturales y sociales que influyen en la elección de carreras en educación, así como con los estereotipos asociados al rol docente como una profesión históricamente feminizada, tanto los estudios de Aragón-Macías et al. (2023) como los de Marcano-Molano y Suárez-Morales (2022) sugieren que la feminización de la docencia está relacionada con construcciones socioculturales que asignan roles de cuidado y enseñanza principalmente a las mujeres, influyendo en las decisiones vocacionales y perpetuando la segregación de género en el ámbito educativo.

Por otro lado, el porcentaje de hombres, aunque menor, representa un grupo relevante con un 34,9% de participación. Esto sugiere que los hombres mantienen un interés considerable en la formación como docentes en ciencias naturales, aunque su representación sigue siendo significativamente menor que la de las mujeres.

La inclusión de una categoría "Otro", con 3 participantes (1,7%), refleja un esfuerzo por garantizar la diversidad e inclusión en el estudio. Aunque su número es reducido, este dato destaca la necesidad de considerar las identidades de género diversas en investigaciones educativas.

Ahora bien, la Tabla 6.4., que presenta la variable universidad del participante, detalla la distribución de los 172 participantes según las instituciones educativas a las que pertenecen, este desglose permite analizar la representatividad de cada universidad en el estudio y evaluar cómo las características institucionales pueden influir en el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) de los profesores en formación.

Tabla 6.4.

Variable universidad del participante

Variables	No (%)
Universidad del participante	
U1	9(5,2)
U2	31(18,0)
U3	34(19,8)
U4	69(40,1)
U5	25(14,5)
U6*	4(2,3)

* Esta universidad no hace parte de las instituciones seleccionadas, no obstante, se recibieron resultados.

De acuerdo con los datos, la mayor proporción de participantes proviene de la U4, con 69 estudiantes (40,1%), lo que la convierte en la universidad más representada en el estudio. Esta participación significativa podría estar relacionada con el tamaño del programa de formación docente en esta institución o con su predisposición a colaborar en la investigación doctoral.

La segunda y tercera mayor representación corresponden a las universidades U3 y U2, con 34 (19,8%) y 31 (18,0%) participantes respectivamente. Estas cifras indican una contribución importante de estas instituciones al estudio y sugieren que sus programas también tienen una influencia relevante en la formación docente. La variabilidad en el nivel de CDC entre estas universidades podría reflejar diferencias en los enfoques curriculares, recursos disponibles o características del cuerpo docente.

Por otro lado, la participación de la U5, con 25 estudiantes (14,5%), y la U1, con 9 estudiantes (5,2%), evidencia una representación menor en comparación con las instituciones previamente mencionadas. Esta diferencia puede estar vinculada al tamaño de sus programas o a su nivel de involucramiento en actividades de investigación. Aunque menos representadas, estas universidades proporcionan datos valiosos que contribuyen a la diversidad y la comparación entre instituciones.

Al final, la tabla incluye resultados de 4 participantes (2,3%) pertenecientes a la U6, una universidad que no formaba parte de las instituciones seleccionadas para el estudio. Aunque su participación es marginal, estos resultados destacan la importancia de considerar aportes externos no planificados, que pueden enriquecer el análisis y proporcionar perspectivas adicionales. No obstante, es esencial tratarlos como un caso especial y diferenciarlos en el análisis para evitar sesgos en las conclusiones generales.

Por otra parte, la Tabla 6.5., que presenta la distribución de los participantes según el programa académico al que pertenecen, revela una marcada diferencia en la representación de las dos licenciaturas incluidas en el estudio: Licenciatura en Ciencias Naturales (LCN) y Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental (LCNEA).

Tabla 6.5.*Variable programa académico*

Variables	No(%)
Programa Académico	
Licenciatura en Ciencias Naturales (LCN)	9(5,2)
Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental (LCNEA)	163(94,8)

De acuerdo con los datos, de los 172 participantes en el estudio, la mayoría pertenece al programa de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental (LCNEA), con 163 estudiantes (94,8%), mientras que solo 9 participantes (5,2%) provienen del programa de Licenciatura en Ciencias Naturales (LCN). Esta distribución refleja un claro predominio de la LCNEA, resultado de su participación en este proceso de investigación. Asimismo, los programas integrados como la LCNEA, tienen un amplio terreno en la formación docente en ciencias naturales debido a su enfoque interdisciplinar y su inclusión de aspectos ambientales, que son altamente relevantes en los contextos educativos actuales.

La preponderancia del programa de LCNEA se asocia a su inclusión del componente ambiental en la formación docente, dicho enfoque refleja una tendencia creciente en la educación, que busca integrar el conocimiento científico con la sostenibilidad y la educación ambiental, este tipo de formación no solo prepara a los futuros docentes para enseñar ciencias, sino también, para abordar temas de gran relevancia global, como el cambio climático, la conservación de recursos y la educación para el desarrollo sostenible.

Esto podría influir positivamente en el desarrollo del CDC de los estudiantes, dado que les proporciona herramientas para contextualizar y aplicar los contenidos científicos en problemáticas actuales. Sin embargo, por la dispersión de contenidos a desarrollar la profundidad en ellos puede ser escasa y por ende una enseñanza débil.

De este modo, la integración de la educación ambiental en la formación docente es una tendencia reconocida en el ámbito educativo, según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), la educación ambiental aumenta la concienciación y el conocimiento de los ciudadanos sobre temáticas o problemas

ambientales, lo que es esencial para abordar desafíos globales como el cambio climático y la conservación de recursos (EPA, 2023).

Además, la formación docente que incorpora la educación ambiental prepara a los futuros educadores para enseñar ciencias de manera contextualizada, permitiéndoles abordar temas de relevancia global y fomentar el desarrollo sostenible, esta perspectiva es respaldada por investigaciones que destacan la importancia de formar a los docentes en competencias ambientales para que puedan integrar estos contenidos en su práctica educativa (Calixto-Flores et al., 2017).

Ahora la Tabla 6.6., muestra la distribución de los participantes según el semestre que cursan en sus programas académicos, estos datos permitieron analizar la relación entre el nivel académico de los estudiantes y su desarrollo del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC), ofreciendo una visión sobre cómo los avances en la formación influyen en su preparación para la enseñanza de ciencias naturales.

Tabla 6.6.

Variable semestre que cursa el participante

Variable	No(%)
Semestre que cursa el participante	
Sexto	36(20,9)
Séptimo	68(39,5)
Octavo	3(1,7)
Noveno	37(21,5)
Décimo	28(16,3)

Así pues, la mayoría de los participantes se concentran en los semestres séptimo (68 estudiantes, 39,5%) y noveno (37 estudiantes, 21,5%), seguidos por el sexto semestre (36 estudiantes, 20,9%) y el décimo semestre (28 estudiantes, 16,3%). El octavo semestre, con solo 3 participantes (1,7%), presenta una representación marginal, lo que podría ser una anomalía o el reflejo de características particulares en la estructura de los programas analizados.

Los resultados sugirieron que la mayor concentración de estudiantes en los semestres séptimo y noveno estuvo relacionada con momentos clave en su formación docente. En muchos programas, estos semestres marcaron el inicio de la práctica docente o de asignaturas

específicas relacionadas con la didáctica de las ciencias, lo que explicó la alta representación en estos niveles académicos. Esto también indicó que los datos del cuestionario capturaron a participantes que se encontraban en etapas críticas de su formación, donde la aplicación del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) fue esencial para consolidar su preparación docente (Shulman, 1986; Magnusson et al., 1999).

Por otro lado, el sexto semestre también tuvo una participación significativa, lo que reflejó un enfoque inicial en la introducción de fundamentos didácticos y conceptuales en el currículo. Los estudiantes de este nivel comenzaron a desarrollar su CDC, lo que influyó en sus respuestas al cuestionario y destacó áreas de oportunidad para fortalecer su formación (Park y Oliver, 2008; Van Driel et al., 1998; Van Driel y Berry, 2012).

De otro modo, la menor representación en el octavo semestre planteó interrogantes, esto pudo deberse a características organizativas del programa académico, como cambios en la matrícula o reestructuraciones curriculares. Alternativamente, reflejó una menor proporción de estudiantes en este nivel específico debido a prácticas profesionales o asignaturas con menor carga académica durante ese semestre.

Por su parte el décimo semestre, con un 16,3% de los participantes, correspondió típicamente a estudiantes en la etapa final de su formación, su nivel avanzado de experiencia y exposición a contenidos permitió suponer que sus respuestas al cuestionario reflejaron un desarrollo más consolidado del CDC; es menester mencionar que estos estudiantes fueron clave para identificar los logros y deficiencias finales en los programas de formación docente (Gess-Newsome, 1999; Loughran et al., 2012).

La distribución de los participantes según el semestre que cursaban tuvo implicaciones importantes para la interpretación de los resultados del cuestionario. La concentración en los semestres intermedios y avanzados sugirió que los hallazgos del estudio reflejaron en mayor medida las experiencias de los estudiantes en etapas cruciales de su formación docente, sin embargo, la baja representación en el octavo semestre y la menor participación de estudiantes en el décimo semestre limitaron la posibilidad de comparar el desarrollo del CDC a lo largo de todo el programa académico (Abell, 2007; Kind, 2009).

Además, estos datos destacaron la necesidad de analizar si el progreso académico se tradujo en un desarrollo más profundo y sólido del CDC. Esto pudo evaluarse comparando los puntajes del cuestionario entre estudiantes de distintos semestres, lo que permitió identificar si el avance en la formación docente se correlacionó con una mejora en su comprensión y aplicación del CDC. En términos generales, estos resultados permitieron profundizar en cómo las experiencias formativas en distintos semestres contribuyeron al desarrollo del CDC, lo que pudiera significar en insumos para el ajuste y fortalecimiento de los programas de formación del profesorado en ciencias naturales (Rollnick et al., 2008; Cochran et al., 1993).

6.3. Análisis Descriptivo por cada Ítem

La Tabla 6.7. presenta los resultados correspondientes a la pregunta 1, en la cual las respuestas de los estudiantes sobre el papel de las ideas previas en la enseñanza de las ciencias se clasifican en tres categorías: correctas, parcialmente correctas e incorrectas.

El análisis de estos resultados permitió identificar el nivel de comprensión y la percepción de los estudiantes sobre la importancia de las ideas previas como punto de partida en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Tabla 6.7.

Conocimiento de los estudiantes: papel de las ideas previas en la enseñanza de la ciencia

Categorías	(%)
Conocimiento de los estudiantes: papel de las ideas previas en la enseñanza de la ciencia	
Incorrecto	27,3
Parcialmente correcto	32,0
Correcto	40,7

El análisis de las respuestas sobre el papel de las ideas previas en la enseñanza de las ciencias revela una diversidad de comprensiones entre los participantes. Según los resultados, el 40,7% de las respuestas fueron correctas, el 32% fueron parcialmente correctas y el 27,3% fueron incorrectas.

Estos datos indican que, aunque una proporción considerable de los participantes comprende adecuadamente la importancia de las ideas previas, aún existe una necesidad significativa de fortalecer el conocimiento en esta área, especialmente en lo relacionado con su integración y transformación en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Esto pone de manifiesto la importancia de la didáctica de las ciencias, en la cual este es un tema fundamental.

Dentro de la categoría de respuestas correctas, los participantes demostraron una comprensión clara y detallada del papel de las ideas previas como base para construir nuevos aprendizajes. Respuestas como: *“Las ideas previas le dan al docente una visión general de los conocimientos que se tienen sobre las temáticas a tratar para así encontrar las posibles falencias conceptuales que se tienen desde el colegio y corregirlas”* (EU4) o *“Estas sirven como punto de partida para el aprendizaje, pues brindan un contexto sobre el tema a estudiar. Por lo tanto, al conectar nuevos conceptos con lo que ya sabemos se puede comprender mucho mejor la información para así adquirir un aprendizaje significativo.”* (EU3) muestran cómo estas ideas son reconocidas como relevantes para diagnosticar falencias, estructurar estrategias didácticas y fortalecer el proceso de aprendizaje.

Además, algunas respuestas destacaron la necesidad de utilizar estas ideas como pilares para la construcción del conocimiento científico y su conexión con las experiencias previas de los estudiantes, como se evidencia en: *“Las ideas previas desempeñan un papel esencial en la enseñanza de las ciencias. Son las concepciones erróneas o preconceptos que los estudiantes tienen antes de recibir instrucción formal”* (EU5).

En la categoría de respuestas parcialmente correctas, los participantes identificaron elementos relevantes del papel de las ideas previas, pero sus explicaciones carecieron de detalle o profundidad. Así, respuestas como *“Las ideas previas hacen parte de las nociones preconcebidas que tienen muchos estudiantes sobre temas que para ellos pueden ser estresantes o fastidiosos”* (EU4) muestran que los participantes comprenden su importancia, pero no logran vincular estas ideas con estrategias didácticas concretas o la transformación de preconceptos en conocimientos científicos.

En otras respuestas, como: *“Creo que las ideas previas son importantes porque ayudan a relacionar nuevos conocimientos con lo que ya sabemos. Aunque, honestamente, a*

veces me cuesta ver cómo se conectan con temas complejos como la física cuántica.” (EU2), se aprecia una comprensión limitada que no incluye cómo las ideas previas pueden ser utilizadas como herramientas para promover un aprendizaje significativo y que en física cuántica pueden existir ideas alternativas que no son fruto de experiencias previas, sino de la enseñanza anterior o de no tener en cuenta los límites y diferencias con la física clásica.

Por otro lado, dentro de la categoría de respuestas incorrectas, se encontraron respuestas que reflejan una comprensión limitada o errónea del tema, en algunos casos, los participantes no respondieron directamente a la pregunta, mientras que en otros ofrecieron afirmaciones generales que no abordan el papel de las ideas previas en el contexto de la enseñanza de las ciencias, este es el caso de respuestas como *“Muy importante por qué nos da a conocer que es la ciencias y que ámbitos tiene para nuestra conocimiento”* (EU1) son demasiado generales y no explican cómo estas ideas pueden ser transformadas en aprendizajes significativos.

Otros participantes mostraron ideas confusas, como *“Formación sobre las perspectivas del cuidado del medio ambiente. Involucrando dimensiones (sic) naturales y humanas. En pro del desarrollo ambiental a nivel global”* (EU4), sin detallar cómo se realiza esta transformación. Finalmente, hubo casos en los que las respuestas fueron completamente irrelevantes, como *“Nada”* (EU1) o *“Un papel fundamental”* (EU5), lo que sugiere un desconocimiento del tema.

Así, los resultados muestran que, aunque una parte significativa de los participantes comprende que las ideas previas son esenciales en la enseñanza de las ciencias, aún existe un porcentaje considerable que necesita una formación en este aspecto. Según Ausubel (2000), las ideas previas son el punto de partida para construir nuevos aprendizajes, y su correcta identificación y transformación son fundamentales para evitar malentendidos conceptuales. Asimismo, Duit y Treagust (2003) enfatizan que el trabajo con preconceptos debe ser sistemático y conectado con estrategias educativas claras que permitan al estudiante reconstruir sus conocimientos previos hacia concepciones científicas más precisas.

Es así como, las ideas previas juegan un papel fundamental en la enseñanza de las ciencias, tanto como herramienta diagnóstica como punto de partida para el diseño de estrategias didácticas que fomenten el aprendizaje significativo, sin embargo, los resultados

obtenidos revelan la necesidad de reforzar la formación docente para garantizar que los profesores comprendan cómo integrar y transformar estas ideas en conocimiento; así como lo menciona Furió et al (2006) deben ser analizadas desde la perspectiva de sistemas de conocimiento con estructuras o subestructuras complejas y no como entidades aisladas.

Ahora bien, con relación a la pregunta 2, la Tabla 6.8. muestra los resultados obtenidos respecto al conocimiento de los estudiantes sobre el método de aprendizaje de la ciencia y su clasificación se da de igual manera en las categorías: Correcto, parcialmente correcto e incorrecto.

Tabla 6.8.

Conocimiento de los estudiantes: método de aprendizaje de la ciencia

Categorías	(%)
Conocimiento de los estudiantes: método de aprendizaje de la ciencia	
Incorrecto	14,5
Parcialmente Correcto	64,0
Correcto	21,5

En ese sentido, de las respuestas brindadas por los profesores en formación, el 21.5% que corresponde a respuestas categorizadas como correctas, se destaca que los participantes identificaron estrategias didácticas específicas que favorecen la actividad cognitiva, estas incluyen enfoques como el aprendizaje por indagación, el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje colaborativo y el aprendizaje autónomo. Estas respuestas denotan un reconocimiento de los métodos para la enseñanza de las ciencias, como se evidencia en respuestas como: *"Las ciencias naturales se aprenden mejor cuando se conoce el contexto del territorio y el contexto de cada estudiante, aplicando así estrategias didácticas adecuadas. Asimismo, dando a conocer la importancia que tiene la ciencia en nuestro diario vivir, porque la ciencia la encontramos en todas partes"* (EU4) o *"El aprendizaje de las ciencias suele beneficiarse de enfoques didácticos que fomenten la comprensión profunda, la aplicación práctica y el pensamiento crítico"* (EU5)

En contraste, las respuestas parcialmente correctas que corresponden al 64,0% incluyen actividades relacionadas con la enseñanza de las ciencias, tales como talleres,

lecturas, videos o experimentos; sin embargo, estas respuestas no lograron vincular dichas actividades con enfoques específicos de aprendizaje, lo que sugiere una comprensión limitada de la didáctica: *"A través de la práctica después de la teoría"* (EU5), *"Prácticas en el laboratorio, resolución de problemas y trabajo en pequeños grupos, fomentando el trabajo colaborativo donde los estudiantes dialoguen y expongan sus ideas"* (EU3), *" Con trabajos de campo y diferentes experimentos "* (EU4).

En cuanto a las respuestas incorrectas que corresponden al 14,5%, no mencionaron estrategias claras ni enfoques específicos para el aprendizaje de las ciencias, algunas respuestas al respecto mencionan que: *"Conversadas y en construcción del conocimiento "* (EU2) o *"Con ejemplos claros y el bien manejo del tema por parte del docente orientador"* (EU5). Nuevamente el bajo % de respuestas correctas pone de manifiesto la necesidad de una didáctica de las ciencias.

Ahora, el análisis de las respuestas evidencia que los enfoques más efectivos para el aprendizaje de las ciencias están directamente vinculados con estrategias activas y colaborativas que relacionen los conceptos con la vida cotidiana y el entorno de los estudiantes. Según Novak (1998), el aprendizaje significativo requiere conectar los conocimientos previos del estudiante con los nuevos conceptos presentados por el docente, esta conexión puede lograrse con estrategias como el aprendizaje basado en indagación. Además, Duit y Treagust (2003) destacan que enfoques como el aprendizaje basado en problemas no solo promueven el pensamiento crítico, sino que también ayudan a resolver conflictos conceptuales.

Por otro lado, las respuestas incorrectas reflejan la necesidad de reforzar la formación del profesorado en estrategias didácticas basadas en evidencia, ya que una gran parte de los participantes no logró identificar enfoques adecuados para el aprendizaje significativo de las ciencias; este hallazgo coincide con lo señalado por Ausubel (2000), quien subraya que la falta de estrategias claras puede limitar el aprendizaje.

Así pues, los resultados obtenidos subrayan la importancia de implementar estrategias prácticas y colaborativas en la enseñanza de las ciencias, razón por la que, los programas de formación inicial y continua de los profesores refuercen estos enfoques, con énfasis en modelos como el aprendizaje por indagación, aprendizaje basado en proyectos y aprendizaje

colaborativo, estos enfoques no solo mejoran la comprensión conceptual, sino que también, motivan a los estudiantes a relacionar los conocimientos adquiridos con su vida cotidiana y su ambiente.

En lo concerniente a la pregunta 3, la Tabla 6.9. presenta los resultados relacionados con el nivel educativo adecuado para abordar la enseñanza de la estructura del átomo.

Tabla 6.9.

Conocimiento de los contextos educativos: nivel educativo para abordar la estructura del átomo

Categorías	(%)
Conocimiento de los contextos educativos: nivel educativo para abordar la estructura del átomo	
Incorrecto	47,7
Parcialmente Correcto	52,3
Correcto	0,0

De acuerdo con los datos recopilados en la Tabla 6.9, el 47,7% de las respuestas fueron consideradas incorrectas, lo que refleja confusión y falta de alineación con los estándares curriculares establecidos. Por otro lado, el 52,3% se ubicó en la categoría de parcialmente correctas, evidenciando un acercamiento inicial hacia el reconocimiento de grados apropiados, aunque con limitaciones conceptuales y didácticas en su fundamentación.

Este panorama indica que ningún participante logró una respuesta completamente adecuada, lo que sugiere la presencia de vacíos significativos en la comprensión de los aspectos curriculares y de los requisitos didácticos necesarios para la enseñanza de este tema en los contextos educativos.

Ahora bien, en las respuestas parcialmente correctas se reconoció que el tema puede introducirse en los grados intermedios de secundaria, especialmente en séptimo o sexto, cuando los estudiantes comienzan a trabajar conceptos básicos relacionados con la materia. Sin embargo, estas respuestas no proporcionaron claridad sobre los modelos atómicos que se deben trabajar ni justificaron la relación entre las características cognitivas de los estudiantes y la complejidad del tema, como se observa en respuestas como: “*En séptimo porque en sexto se aborda la materia*” (EU4) o “*desde séptimo grado*” (EU5)

Por otro lado, las respuestas incorrectas incluyeron grados demasiado tempranos, como primaria o los primeros años de secundaria, sin considerar la complejidad conceptual y los prerrequisitos cognitivos necesarios para comprender la estructura del átomo; ejemplos de estas respuestas fueron: " *Desde grado quinto, se mira los sistemas humanos y los niños son muy curiosos en saber por qué el ácido del estómago quema o por que la orina es de ese color y que la compone... para ella necesitamos tener el conocimiento previo de un poquito de química*" (EU4), " 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 " (EU1), " *Considero que desde grado 4 en adelante es importante ya ir abordando este concepto*" (EU5).

Según los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales del Ministerio de Educación Nacional de Colombia, asumidos como referencia para que cada institución educativa defina su marco curricular, la temática de estructura del átomo debe abordarse de manera introductoria en grado séptimo (12 años) y desarrollarse en grado décimo y once (15 y 16 años), los cuales corresponden a los dos últimos años de bachillerato en Colombia.

Si bien estos documentos reconocen la introducción de estos conceptos en grado décimo y once, es necesario detallar el contenido a abordar, ya que esto podría permitir que el docente decida si trabajar o no desde la Teoría Cuántica (Muñoz Burbano, 2020). Además, es importante destacar que para la enseñanza de estas temáticas debe existir una base conceptual sólida en química, física y otras disciplinas, permitiendo la introducción gradual de conceptos científicos complejos en función de las estructuras cognitivas previas de los estudiantes.

Una alternativa sugerida sería trabajar en grado séptimo los modelos atómicos clásicos, en grado décimo los modelos precuánticos, y en grado once, el modelo cuántico. La introducción de conceptos avanzados, como el modelo cuántico, en grados posteriores—específicamente en grado décimo u once—constituye una estrategia adecuada para asegurar que los estudiantes cuenten con las habilidades cognitivas necesarias para comprender la naturaleza abstracta de este modelo.

Fanaro (2009) argumenta que la enseñanza de la mecánica cuántica y, por ende, de los modelos de la estructura atómica, requiere una preparación previa rigurosa, que incluya una base sólida en física clásica y química general, aspecto que debe ser considerado al diseñar programas curriculares.

Por otra parte, la ausencia de respuestas calificadas como correctas refleja una desconexión preocupante entre la formación del profesorado y las necesidades curriculares en la enseñanza de las ciencias naturales. Pérez (2012) enfatiza que el diseño curricular debe considerar tanto la estructura lógica de los conceptos científicos como las características cognitivas y emocionales de los estudiantes. Además, abordar la estructura del átomo desde grados tempranos, como quinto o sexto, sin preparación adecuada, no solo es ineficaz, sino que también puede generar ideas alternativas que interfieren con el aprendizaje conceptual correcto, como lo han señalado Duit y Treagust (2003) en sus estudios sobre cambio conceptual.

Por otra parte, siguiendo con el análisis descriptivo, la Tabla 6.10. presenta los resultados obtenidos en relación con la importancia de la formación científica en Colombia, es decir, la pregunta 4 del cuestionario.

Tabla 6.10.

Conocimiento de los contextos educativos: importancia de la formación científica

Categorías	(%)
Conocimiento de los contextos educativos: importancia de la formación científica	
Incorrecto	11,6
Parcialmente correcto	61,6
Correcto	26,7

Los resultados reflejan que un 26,7% de los participantes proporciona respuestas correctas que comprenden una reflexión clara y fundamentada sobre la importancia de la formación científica. Por otro lado, el 61,6% ofrece respuestas parcialmente correctas, evidenciando una comprensión parcial del tema y abordando algunos aspectos relevantes de forma limitada. Finalmente, un 11,6% de los participantes presenta respuestas incorrectas que no logran reflexionar adecuadamente sobre la importancia de la formación científica desde una perspectiva integral.

Este análisis revela la necesidad de fortalecer la formación en competencias reflexivas y argumentativas en torno a la ciencia y su relación con el desarrollo social y cultural. Autores como González (2013) subrayan la importancia de incorporar una visión crítica de la ciencia en la educación para fomentar un pensamiento reflexivo y contextualizado, que permita

comprender el impacto de la ciencia en la vida cotidiana y en el desarrollo de la sociedad. Asimismo, Martínez et al. (2019) destacan que la enseñanza de las ciencias debe estar alineada con las problemáticas del entorno y promover la capacidad de los estudiantes para proponer soluciones innovadoras a los desafíos locales y globales.

Las respuestas correctas obtenidas reflejan un entendimiento de cómo la formación científica puede contribuir al progreso de Colombia en diversos aspectos, como lo menciona Montero (2022), “el desarrollo para Colombia, no solo se hace desde una educación con calidad, pertinente, incluyente, con amplia cobertura, sino, también, a través de la investigación, la ciencia y la tecnología” (p.1) y como lo manifiesta de igual manera Carretero (2008), quien sostiene que la formación científica no solo fomenta la innovación tecnológica, sino que también contribuye al fortalecimiento del pensamiento crítico, indispensable para enfrentar los desafíos del siglo XXI.

En ese aspecto, algunas de las respuestas registradas fueron: *“Colombia es un país que a diferencia de los del primer mundo es relativamente joven, la trayectoria de su investigación como país es poca, y puede ser inferior si se compara con países europeos o asiáticos, considero que a nivel de inversión en ciencia, infraestructura para la investigación está por debajo de muchos otros países, a pesar de esto en un mundo globalizado las necesidades y problemas del mundo entran en contacto y Colombia puede desarrollarse y competir en la generación de conocimiento, dando una importancia gigante a que se forme científicamente y se analice como específicamente en este país se puede formar mejor en Ciencias”* (EU1), *“La formación en Colombia y la formación científica métodos de investigación, planeación y resultados los cuales forman a profesionales con sentido común que aportan sus conocimientos en el país o fuera de este”* o *“La formación en Colombia y la formación científica métodos de investigación, planeación y resultados los cuales forman a profesionales con sentido común que aportan sus conocimientos en el país o fuera de este”* (EU2).

En contraste, las respuestas parcialmente correctas *“es importante por qué de esa manera fomentaría el aprendizaje y amor hacía (sic) las ciencias”* (EU4) y las incorrectas *“Una gran importancia, ya que de esta parte la investigación y creación de nuevos conceptos”* (EU5) ponen de manifiesto la necesidad de trabajar en estrategias didácticas que permitan una mayor comprensión del papel integral de la formación científica en el desarrollo

social y cultural. Según Maldonado y Álvarez (2021), la desconexión entre el conocimiento científico y su aplicabilidad en contextos locales es un problema recurrente en los sistemas educativos de América Latina, lo que limita el potencial transformador de la ciencia.

De manera concluyente, la Tabla 6.10 subraya la importancia de fortalecer las estrategias didácticas y curriculares en la enseñanza de las ciencias para garantizar que los estudiantes y futuros docentes comprendan no solo los conceptos científicos, sino también su relevancia para el desarrollo integral del país. Como afirma Rodríguez (2017), es necesario formar a los estudiantes en una "alfabetización científica crítica" que los capacite para entender y abordar los problemas de su entorno desde una perspectiva científica y socialmente comprometida.

De este modo, para la pregunta 5, la tabla 6.11. presentan los resultados relacionados en torno a los objetivos de aprendizaje respecto al concepto de electrón.

Tabla 6.11.

¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación al concepto de electrón?

Calificación dentro de la rubrica	Porcentaje respecto al total de la población
2	8.7%
1	50%
0	41.3%

De acuerdo con los resultados de la Tabla 6.11 se puede evidenciar que solo el 8.7% de los participantes alcanzaron un nivel adecuado (calificación 2), mientras que el 50% presentaron respuestas parcialmente correctas (calificación 1) y un significativo 41.3% proporcionaron respuestas incorrectas o insuficientes (calificación 0).

Ahora bien, el 41.3% de los participantes se clasifica en la categoría más baja de la métrica (0), en los cuales se encuentran tres tipos de respuestas. En primer lugar, hay respuestas que contienen imprecisiones o errores graves respecto al concepto de electrón. Por ejemplo: "*Sepa que es una parte esencial del átomo y que tienen una carga positiva (sic)*" (EU5) o "*Qué conozcan que estos no tienen masa y su carga es negativa*" (EU3).

En segundo lugar, se incluye a la población que responde sin definir claramente el concepto de electrón, limitándose a plantear respuestas orientadas a aspectos metodológicos, didácticos o preguntas guías muy generales sobre la temática a impartir. *"Que estudien qué papel cumplen, su forma, composición, pero que la aprendan de una manera didáctica y no solo textual"* (EU5) o *"El objetivo es que los estudiantes comprendan la importancia fundamental de los electrones en la química, la física y la tecnología, así como cómo su comportamiento influye en una amplia gama de fenómenos en el mundo real"* (EU5). Estas respuestas se consideran no concluyentes, ya que no permiten determinar si el encuestado tiene un conocimiento claro sobre el concepto de electrón.

Finalmente, el tercer grupo está conformado por aquellos que no responden a la pregunta o reconocen no saber qué conocimientos enseñar a sus estudiantes.

Otro aspecto para considerar es que el 50% de los profesores en formación se clasifican en el criterio 1. Dentro de esta categoría, hay quienes identifica al electrón como una partícula con carga eléctrica negativa o como una partícula que órbita alrededor del núcleo del átomo. Por otro lado, reconoce al electrón como una partícula o lo asocia con su carga negativa. Además, hay otras respuestas que no define al electrón de manera explícita, sino que lo relaciona con aplicaciones correctas, como el electromagnetismo, los enlaces químicos, la distribución electrónica o su relación con la tabla periódica, al respecto, algunas respuestas fueron: *"Los electrones permiten que los átomos interactúen con otros y así se puedan formar las diferentes moléculas"* (EU4) o *"La organización de los elementos químicos en la tabla periódica y a partir de allí su manera de relacionarse con otros elementos para la formación de compuestos químicos"* (EU1).

Otros, lo reconocen simplemente como un "algo" que cumple una función en el átomo o que forma parte de él. Por ejemplo, se señala: *"Que estos van a hacer parte fundamental del átomo. El tipo de carga con el que cuenta. Y cuál es el papel que cumple desde un punto de vista macro y microscopio abordado desde la cotidianidad o el contexto estudiantil"* (EU5) o *"Es una partícula presente en el átomo"* (EU2).

Por otro lado, solo el 8.7% alcanzan la clasificación de nivel 2. Dentro de este grupo, dos participantes abordan el concepto del electrón desde una perspectiva cuántica, como se evidencia en la respuesta: *"Que el estudiante comprenda que el electrón es una partícula que*

forma parte del átomo, un elemento cuántico con carga negativa, lo cual le otorga propiedades específicas y hace que cada elemento sea diferente" (EU4). Asimismo, dos profesores en formación mencionan el comportamiento dual del electrón, como se observa en la respuesta: *"Se pretende que el estudiante aprenda que el electrón es una partícula elemental con carga negativa que forma parte de los átomos, y que puede comportarse como una onda o como una partícula"* (EU5).

En esta categoría también se incluyen aquellos participantes que proporcionan una descripción adecuada del electrón, añadiendo una característica complementaria al concepto, como su masa, incertidumbre, ubicación o relación con el átomo, este es el caso de: *"Es una forma de la materia y la energía, con carga negativa, que se encuentra en una posición indeterminada respecto al núcleo atómico"* (EU4).

Estos resultados evidencian la persistencia de dificultades conceptuales en los profesores en formación, a pesar de haber recibido un proceso educativo previo. Las ideas alternativas sobre el electrón resurgen al considerarlo como una onda o una partícula, lo que refleja impresiones ontológicas y un entendimiento poco claro de la dualidad. Además, son pocos los participantes que asignan a los electrones características cuánticas, reconociéndolos como objetos nuevos con un comportamiento novedoso. Estos hallazgos señalan una enseñanza que no logra contrastar adecuadamente las ideas clásicas con las cuánticas, tal como lo advierten Solbes y Sinarcas (2009, 2010) y Muñoz Burbano (2020).

Ahora bien, la comprensión del concepto de fotón en la formación de los futuros profesores de ciencias naturales es un aspecto relevante, ya que constituía una base clave en cuanto al estudio de los cuantos de energía que constituye la luz (radiación electromagnética) En este sentido, la pregunta 6 indagó sobre ¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación concepto de fotón? Los datos recogidos, presentados en las tablas 6.12., reflejaron un panorama preocupante sobre el nivel de conocimiento en esta área específica.

Tabla 6.12.

¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación concepto de fotón?

Calificación dentro de la rúbrica	Porcentaje respecto al total de la población
--------------------------------------	---

2	9.9%
1	45.9%
0	44.2%

La mayoría de los participantes demostró un entendimiento limitado o confuso del concepto, con un 44.2% de las respuestas clasificadas como incorrectas o ambiguas, y un 45.9% ubicadas en una categoría que reflejaba nociones generales pero insuficientes, solo un 9.9% de los participantes mostró un nivel adecuado de comprensión, identificando al fotón como un cuanto, de energía, que no tiene masa, ni carga y que al igual que el electrón no es una partícula ni una onda clásica. Es concepto es esencial para explicar fenómenos fundamentales de la física moderna.

Como se mencionó anteriormente, el 44.2% de los participantes fue clasificado con una calificación de 0, dado que sus respuestas incluyeron expresiones como "*no me acuerdo*", "*no sé*" o bien no respondieron, o sus respuestas resultaron ambiguas en cuanto a la profundidad del concepto de fotón. En estos casos, los profesores en formación tendieron a enfocarse más en aspectos metodológicos o en formular preguntas guía de clase, ejemplo de esto son respuestas como "*¿Qué es? ¿Para qué sirve? ¿En qué momentos de su vida cotidiana interactúa con esta temática?*" (EU4). Estas respuestas no permitieron evaluar si los profesores podían transmitir correctamente el concepto de fotón a sus estudiantes, o si sus definiciones contenían falacias conceptuales.

Por su parte, el 45.9% fue clasificado en la categoría 1, correspondiente a quienes poseían nociones generales sobre el concepto de fotón y cómo debería enseñarse, pero sin claridad conceptual. Se identificaron dos tipos de respuestas en este grupo, los que reconocían al fotón como una partícula de la luz, mientras que otros lo relacionaron con la luz o el espectro electromagnético. Entre las respuestas más frecuentes de esta categoría destacaron: "*Que los estudiantes comprendan que estas partículas constituyen la luz y algunos conceptos del campo electromagnético*" (EU2), "*Que es la partícula fundamental de la luz*" (EU2), y "*Se debe conocer ya que es una partícula elemental de la luz*" (EU3).

Finalmente, el 9.9% fue clasificado en la categoría 2, lo que permitió concluir que solo un pequeño número de participantes (7) describió al fotón como un cuanto, paquete o cantidad mínima de energía de la luz o radiación electromagnética, algunas de las respuestas relacionadas con ello fueron: "*Aprender qué es la parte elemental o básica de la luz, y cómo*

conlleva a la interacción electromagnética. Mirar dónde podemos encontrarlo, sus características y cómo se refleja en nuestra vida cotidiana” (EU3), o bien, “Se pretende que el estudiante aprenda que el fotón es la unidad mínima de energía electromagnética, que se propaga en el vacío a la velocidad de la luz y que puede interactuar con la materia” (EU5).

Otros participantes calificados como 2 (6.4%) identificaron varias características correctas del fotón, algunas respuestas asociadas con esto fueron: *“Espero que el estudiante aprenda que es la partícula elemental de la radiación electromagnética que no tiene masa, viaja a la velocidad de la luz y exhibe propiedades tanto de partícula como de onda” (EU5) y “Se espera que un estudiante aprenda que el fotón es una partícula elemental de luz que lleva energía electromagnética y se comporta tanto como una partícula como una onda” (EU3).*

Adicionalmente, algunos encuestados clasificados en las categorías 1 y 2 complementaron sus respuestas al reconocer ciertas propiedades del fotón, como su falta de masa (4), su carga nula (4), su velocidad constante $3 \cdot 10^8$ m/s (4) y su comportamiento dual (7). Asimismo, 18 personas mencionaron aplicaciones del fotón en áreas relacionadas con la química y la biología, reiterando la importancia de estos estudios para una mejor comprensión del concepto, por ejemplo: *“Además de su concepto, ellos deben aprender que los fotones tienen aplicaciones en diversas áreas, incluyendo la electrónica, la comunicación óptica, la medicina y la tecnología de paneles solares” (EU3).*

Las respuestas analizadas reflejaron que los profesores en formación enfrentaron dificultades significativas en la comprensión de este concepto, posiblemente debido a que no logran entender que el fotón no se comporta como una onda ni como una partícula clásica, sino que representa una unidad cuantizada de energía electromagnética. En términos más simples, el fotón es una entidad que, a pesar de no tener masa, se comporta como una partícula, sin dejar de exhibir propiedades ondulatorias (Muñoz Burbano et al., 2024).

Estas limitaciones en la comprensión pueden explicarse por el hecho de que, con frecuencia, el concepto de fotón se enseña de manera simplificada, sin profundizar en las complejidades históricas y epistemológicas que rodean su aceptación. Como señalan Solbes y Sinarcas (2009), resulta esencial destacar la importancia de este concepto, aplicándolo a

fenómenos clave como el efecto Compton, que se puede abordar a nivel cualitativo, y los espectros discretos, que ofrecen una base fundamental para comprender la física moderna.

Pues bien, para el caso de la pregunta 7, esta evaluó lo que los profesores en formación esperan que los estudiantes aprendan sobre los niveles de energía en el átomo. Según los datos presentados en la Tabla 6.13., se identificó una notable deficiencia conceptual en las respuestas.

Tabla 6. 13.

¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación a los niveles de energía en el átomo?

Calificación dentro de la rúbrica	Porcentaje respecto al total de la población
2	2.31%
1	45.9%
0	52.6%

Un 52,6% de los participantes fue clasificado en la rúbrica 0, lo que indica que sus respuestas fueron incorrectas o no proporcionaron explicación alguna, estas respuestas incluyeron errores conceptuales graves, como confundir los niveles de energía con la estructura general del átomo: *“Los niveles de energía son la estructura que compone un átomo, es importante para que indaguen más sobre este y no lo miren como la partícula que compone la materia”* (EU4), además, este tipo de respuestas refleja una comprensión limitada, pues parece considerar el átomo como un conjunto de estantes o capas, no reconocen que los niveles son valores cuantizados de energía derivadas de la ecuación de Schrödinger y, por ello, están relacionados con el carácter ondulatorio del electrón (Solbes y Sinarcas, 2010).

Además, algunos participantes asociaron incorrectamente los niveles de energía con las órbitas, como se evidencia en respuestas como: *“Que pueden dar saltos en los orbitales”* (EU3) y *“Que comprenda cómo son las órbitas de un electrón, identificando los niveles que presenta”* (EU4). Estas afirmaciones reflejan una confusión persistente entre el modelo clásico de Bohr y los conceptos cuánticos actuales, ignorando que los niveles permitidos de

energía no corresponden a órbitas clásicas, sino a funciones de onda que describen estados cuánticos definidos por números cuánticos (Muñoz-Burbano, 2020).

En la rúbrica 1, que abarcó al 45,09% de los participantes, las respuestas mostraron una comprensión parcial. Si bien los participantes reconocieron que los niveles de energía son estados donde se ubican los electrones, en muchos casos faltó una relación clara con los conceptos cuánticos subyacentes. Un ejemplo de ello es la afirmación: *“Los estudiantes deben aprender cómo los electrones se organizan en diferentes niveles de energía y cómo esto determina las propiedades químicas de los elementos”* (EU2).

Asimismo, los niveles de energía fueron vinculados con aplicaciones concretas, como la distribución electrónica, la tabla periódica y la formación de enlaces químicos, evidenciado en respuestas como: *“Cuando vemos los niveles de energía es cuando podemos ver la importancia que tiene el electrón y el papel que juega dentro de la formación de compuestos”* (EU5). Aunque estas respuestas reflejan un conocimiento más contextualizado, carecieron de una explicación sobre los principios cuánticos que fundamentan estas aplicaciones.

Solo un 2,31% de los participantes fue clasificado en la rúbrica 2, lo que indica una comprensión correcta del concepto. Este grupo reconoció la cuantización de la energía en el átomo y asoció los niveles de energía con los números cuánticos: *“Como estudiante, se espera que aprendas sobre los niveles de energía en el átomo. Debes comprender que los electrones se distribuyen en diferentes niveles de energía, y que cada nivel puede contener un número máximo de electrones. Además, debes comprender cómo los electrones pueden moverse entre los niveles de energía mediante la absorción o emisión de energía.”* (EU1), demuestran un entendimiento avanzado. Estas respuestas incorporaron la teoría cuántica de manera precisa, destacando la importancia de los números cuánticos y el principio de exclusión de Pauli para explicar la disposición electrónica en un átomo.

Las confusiones conceptuales recurrentes se deben, en parte, a la persistencia del modelo de Bohr en la enseñanza inicial y la omisión de otros aspectos importantes, lo que dificulta la transición hacia los conceptos cuánticos modernos. Como señalan Solbes y Sinarcas (2010), es importante introducir los niveles de energía como soluciones de la ecuación de Schrödinger, enfatizando que los números cuánticos (n , l , m_l , m_s) describen completamente el estado del sistema. Además, Muñoz-Burbano (2020) resalta la importancia

de explicar el significado de la función de onda Ψ y su relación con las probabilidades de ubicación de los electrones, para superar concepciones erróneas como la de las órbitas fijas.

Tabla 6.14.

¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación a las Relaciones de Indeterminación de Heisenberg?

Calificación dentro de la rubrica	Porcentaje respecto al total de la población
2	14.45%
1	17.34%
0	68.21%

Como se puede observar en la Tabla 6.14., el 14,45% de las respuestas reflejan una comprensión adecuada sobre las relaciones de indeterminación de Heisenberg, al reconocer que no es posible medir simultáneamente y con precisión infinita dos magnitudes conjugadas, como la posición y el momento lineal de una partícula. Entre las respuestas destacadas se encuentran: *“No podemos medir simultáneamente y con precisión infinita un par de magnitudes conjugadas. Es decir, nada impide que midamos con precisión infinita la posición de una partícula, pero al hacerlo, tenemos una incertidumbre infinita sobre su momento.”* (EU5)

Asimismo, otro comentario señala que *“con respecto a las relaciones de indeterminación de Heisenberg, se espera que un estudiante aprenda que estas relaciones establecen límites fundamentales en la precisión con la que se pueden medir simultáneamente ciertas propiedades físicas, como la posición y el momento lineal de una partícula.”* (EU3) Además, *“se espera que comprenda que estas relaciones son una consecuencia de la naturaleza cuántica de las partículas y que tienen implicaciones significativas en el estudio de la mecánica cuántica y en la descripción del comportamiento de las partículas a nivel subatómico.”* (EU5)

Es importante destacar que las relaciones de indeterminación, como lo expresa Sinarcas (2015), puedan dar la impresión de que no es posible conocer con precisión la posición o la cantidad de movimiento de una partícula. Sin embargo, esto no implica que no puedan existir estados en los que una de estas magnitudes se conozca con gran precisión. Por

tal razón, se busca que las respuestas calificadas con la rúbrica 2, reflejen que los estudiantes definan con claridad esa imposibilidad de determinar simultáneamente con precisión absoluta la posición x y la cantidad de movimiento p .

Por otro lado, entre las respuestas catalogadas como parcialmente correctas, se observa que un 17,4% de los encuestados reconoce que no es posible determinar la posición exacta de un electrón, aunque no mencionan la relación entre posición y momento de esta, lo cual, sugiere la existencia de una comprensión limitada y superficial de las relaciones de indeterminación. Ejemplos incluyen afirmaciones como: “*No se puede medir con total exactitud la posición de una partícula*” (EU1) y “*No se puede conocer la posición exacta de las partículas subatómicas, pero se puede generar una aproximación probabilística.*” (EU1)

Además, otras respuestas asocian las relaciones de indeterminación a problemas en la medición, sugiriendo que estos son causados por limitaciones técnicas o por los instrumentos utilizados, desde una perspectiva de la física clásica. Sin embargo, es fundamental aclarar que las relaciones de indeterminación son esenciales para comprender la teoría cuántica, ya que es inherente a la naturaleza de los objetos cuánticos y de sus magnitudes conjugadas, independientemente de los dispositivos y técnicas de medición empleados (Muñoz Burbano, 2020).

También, dentro de esta categoría existen respuestas que asocian el principio de incertidumbre con la mecánica cuántica, pero no explican de manera clara su significado físico, lo que indica que tienen una idea general, pero no una clara comprensión como se observa en las siguientes respuestas: “*Cómo las Relaciones de Indeterminación de Heisenberg son fundamentales para la mecánica cuántica y cómo influyen en nuestra comprensión de las partículas subatómicas y la medición en el mundo cuántico. Estos conceptos son esenciales en la física cuántica y tienen amplias implicaciones en la teoría y la tecnología cuántica.*” (EU5), “*naturaleza cuántica de las partículas*” (EU4)

Con respecto a las respuestas incorrectas que representan un 68.21%, se pueden identificar tres tipos de respuestas. En primer lugar, algunas evidencian errores y confusiones, que se demuestran, por ejemplo, al relacionar la indeterminación con la dualidad onda-partícula o con la conexión entre energía y tiempo. Esto pone de manifiesto una falta de claridad en la distinción entre diferentes conceptos de la física cuántica. Ejemplo de algunas

repuestas: “Que se comprenda que el estado cuántico es la dualidad de la onda y la partícula” (EU4), “Que la posición y el momento, así como la energía y el tiempo, están conectados” (EU3), y “Que existen límites fundamentales para la precisión de ciertas propiedades cuantificadas.” (EU1)

En segundo lugar, existe un grupo considerable de respuestas que evidencia una falta de conocimiento o retención del concepto, lo cual, señala una brecha significativa en la comprensión del tema, que podría deberse a dificultades en la metodología de enseñanza o a la omisión del contenido debido a su complejidad. Como se evidencia en las siguientes respuestas: *No la conozco;* (EUA) *No recuerdo este tema;*(EU2) *No tengo conocimiento o no recuerdo.* (EU6)

Por último, algunas de las respuestas se enfocan en aspectos metodológicos o históricos, como la figura de Heisenberg y la relevancia de su principio en la teoría atómica. Sin embargo, no abordan la comprensión conceptual de las relaciones de indeterminación. Ejemplos de respuestas: “¿Quién es Heisenberg?” (EU1) “¿Qué son estas relaciones?” (EU2) “¿Cuál es su importancia para la teoría atómica?” (EU3) “¿Qué aplicación tienen en nuestros contextos?” (EU6)

En este sentido, las respuestas revelan un desconocimiento tanto del concepto como de sus implicaciones para entender el modelo cuántico del átomo. Esta falta de comprensión está relacionada con la incapacidad de reconocer que no es posible conocer simultáneamente la posición y la cantidad de movimiento. Por otro lado, también se observa en las respuestas lo que mencionan González et al. (2024) las relaciones de indeterminación de Heisenberg son interpretadas principalmente como una incertidumbre o desconocimiento de la posición y alguna otra magnitud, que algunos docentes logran asociar con el momento. Así, se considera fundamental la introducción de las relaciones de indeterminación, ya que la enseñanza del modelo cuántico actual requiere abandonar la idea de órbitas o de un modelo atómico planetario.

Tabla 6.15.

¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación al orbital atómico?

Calificación dentro de la rubrica	Porcentaje respeto al total de la población
--------------------------------------	--

2	9.83%
1	24,28%
0	65,90%

Como se muestra en la Tabla 6.15., el 9.83% se encuentran dentro de las respuestas correctas, asociando el orbital atómico con la probabilidad de encontrar el electrón y relacionada con la función de onda. Estas respuestas reflejan una integración adecuada del concepto cuántico y su relevancia en la estructura de los átomos y las propiedades químicas de los elementos.

Algunos ejemplos de respuestas encontradas: *“Se espera que un estudiante aprenda sobre el orbital atómico, que es una región del espacio alrededor del núcleo atómico donde es más probable encontrar un electrón con una determinada cantidad de energía y momento angular, y cómo se relaciona con la estructura electrónica de los átomos y las propiedades químicas de los elementos.” (EU4)* *“El orbital atómicos son regiones de espacio alrededor del núcleo de un átomo donde existe una alta probabilidad de encontrar un electrón. Comprender esta estructura es esencial para entender cómo se organizan los electrones en un átomo y cómo influyen en las propiedades químicas y físicas de los elementos.” (EU3)*

Dentro de las respuestas parcialmente correctas, que representan el 24.28%, se observa que describen el orbital como un "espacio" o "región" donde se ubican los electrones, pero omiten la idea central de probabilidad o la función de onda. Por ejemplo, algunos testimonios mencionan son *“el orbital sería el espacio disponible donde se mantienen partículas como el electrón” (EU2)*, en la que coinciden 8 estudiantes, que resulta incompleto al no abordar la naturaleza probabilística del concepto.

Como lo menciona Solbes y Sinarcas (2010), en general, el orbital atómico se relaciona con la región del espacio donde existe una probabilidad de encontrar un electrón. Esta concepción a menudo va acompañada de un error conceptual que considera el orbital como un área en la que los electrones pueden o no estar presentes. Dado que este error se introduce en la enseñanza secundaria, se convierte en el más persistente entre los relacionados con la física moderna

Además, un pequeño porcentaje relaciona el orbital con la forma o geometría del átomo, lo que sugiere que algunos estudiantes están conectando el concepto con aplicaciones prácticas, como la geometría molecular, pero aún carecen de una comprensión de su fundamento teórico.

Por otro lado, las respuestas incorrectas que representan el 65.90% se dividen en tres grupos diferentes. En primer lugar, se encuentran aquellas que reflejan malentendidos comunes, como seguir trabajando la idea de los orbitales como órbitas planetarias (modelo de Bohr). Esto se evidencia en testimonios como *"es como la Tierra alrededor del Sol; los profesores utilizan esa idea"* (EU3) o *"carga y descarga de electrones"* (EU5)

En segundo lugar, se encuentra que los encuestados respondieron con la frase *no sabe o no responde*, lo que indica un desconocimiento del tema. Finalmente, otras respuestas se enfocan en la metodología de enseñanza, sugiriendo cómo debería enseñarse, pero sin abordar el contenido conceptual. Por ejemplo, algunos mencionan que *"debe partirse de la observación contextual, vinculando con materiales como metales"* (EU2). Estas respuestas evidencian que los profesores en formación mantienen una visión obsoleta y simplificada del átomo, lo que dificultará tanto su comprensión como la enseñanza de los conceptos cuánticos.

En este sentido, se evidencia en las respuestas que aún se considera que, el átomo está constituido por un núcleo y orbitales que pueden estar ocupados o no por electrones, es decir, persiste la idea del "orbital estantería" que existe independientemente de los electrones (Solbes y Sinarcas, 2009; Solbes y Sinarcas 2010; Muñoz Burbano, 2020). De ahí que, es necesario brindar una enseñanza donde el docente en formación tenga la posibilidad de explicar al orbital como dependiente de los electrones y que son identificados por una combinación de números y letras que representan propiedades específicas de estos, además de la comprensión de la función de estado y su interpretación probabilista (Muñoz Burbano, 2020).

Ahora bien, La pregunta 10 indagó qué se esperaba que los estudiantes aprendieran sobre las implicaciones tecnológicas y sociales de la teoría cuántica, un aspecto clave para vincular el conocimiento científico con su impacto en la sociedad. Este análisis permitió identificar el nivel de comprensión de los profesores en formación respecto a cómo el conocimiento derivado de la estructura atómica influyó en el desarrollo de tecnologías

avanzadas, así como en la evaluación de sus beneficios, riesgos y aspectos éticos. Los resultados se muestran en la Tabla 6.16.

Tabla 6.16.

¿Qué pretende que un estudiante aprenda con relación a las implicaciones tecnológicas y sociales de la teoría cuántica?

Objetivo de aprendizaje respecto a implicaciones tecnológicas y sociales de la teoría cuántica	(%)
Incorrecto	23,3
Parcialmente correcto	20,9
Correcto	55,8

La información sintetizada en la Tabla 6.16 evidencia que más de la mitad de los participantes (55,8%) demostró un nivel correcto de comprensión al reflexionar sobre la relación entre la estructura atómica, los desarrollos tecnológicos y sus implicaciones sociales. Además, sus respuestas reflejan diversas posturas que analizaban cómo el conocimiento derivado de la estructura atómica influye en el desarrollo tecnológico, así como en las implicaciones sociales de estas tecnologías, incluyendo tanto sus riesgos como sus contribuciones.

Entre las respuestas destacadas se encuentran afirmaciones como: *"que a través del átomo se han dado avances tecnológicos muy grandes, entre ellos obtener energía nuclear, que es una gran fuente de energía, y en la parte social se puede decir que puede causar grandes beneficios como también consecuencias; un gran ejemplo es la creación de bombas nucleares, las cuales pueden causar la extinción total"* (EU4).

Otros participantes expresaron que buscaban que los contenidos abordados en clase se relacionaran con nuevas implicaciones tecnológicas, *"Pretendo que el estudiante asimile y relacione el contenido abordado en clase con nuevas implicaciones tecnologías que han surgido en el campo de la biotecnología o nanotecnología para despertar el interés y la motivación en el estudiante por conocer más sobre el tema y los beneficios que trae consigo la ciencia y sus a veces para la sociedad"* (EU4), *"La teoría cuántica ha dado forma a la sociedad moderna, en el ámbito tecnológico se usa entre otros campos en medicina al ser posible el desarrollo de sensores ultrasensibles y técnicas de imagen médica avanzada, también en el desarrollo de tecnologías energéticas avanzadas. En el ámbito social ha tenido*

un impacto significativo en la forma en que entendemos el universo y nuestra relación con él, ha desafiado las concepciones clásicas de la realidad y ha llevado a debates filosóficos sobre cuestiones como la naturaleza de la realidad, el libre albedrío y la relación entre el observador y lo observado” (EU1).

Así pues, reconocer las implicaciones de la enseñanza de la teoría cuántica en la sociedad, como lo señalan González, Muñoz Burbano y Solbes (2020), resulta esencial para comprender adecuadamente la estructura de la materia, la evolución de los fenómenos a nivel microscópico y, en general, el mundo que nos rodea. Abordar estos temas nos lleva a un plano ontológico, desafiando las concepciones clásicas de la realidad y adoptando una perspectiva más amplia, con conocimientos prometedores para el futuro.

Por otro lado, un 20,9% ofrecieron respuestas parcialmente correctas, al describir avances tecnológicos y su importancia, aunque sin establecer una relación explícita con la teoría cuántica. Un ejemplo de estas respuestas fue: "que lo aplicado en lo tecnológico no solamente se quede en un computador, sino que vaya más allá, logrando grandes contribuciones que ayuden a la sociedad".

Finalmente, un porcentaje significativo del 23,3% proporcionó respuestas incorrectas, caracterizadas por la falta de una descripción clara de la relación entre la teoría cuántica y el desarrollo tecnológico. Estas respuestas, en su mayoría generalistas, incluyeron afirmaciones como: *“También se espera que el estudiante reflexione sobre las consecuencias sociales y éticas de estas tecnologías, tanto positivas como negativas, y que tome conciencia de la responsabilidad que implica el uso de la ciencia y la tecnología.”* (EU5), *“Las relaciones que tienen entre sí para llegar a comprender y a la resolución de problemas de una comunidad”* (EU2).

Este tipo de respuestas evidenció una desconexión entre los futuros profesores y el impacto de la teoría cuántica en los avances tecnológicos actuales. Asimismo, reveló que los estudiantes interactúan. Esto sugiere que no hay un reconocimiento claro del impacto que la teoría cuántica tiene en los avances tecnológicos actuales, lo que indica que los profesores pueden estar desconectados de la relación que los estudiantes establecen con la tecnología. Los niños y jóvenes interactúan diariamente y de manera espontánea con dispositivos tecnológicos como láseres, ordenadores y, especialmente, teléfonos celulares, que les brindan acceso a herramientas de la ciencia moderna. Sin embargo, la escuela no fomenta el

conocimiento necesario para comprender los fundamentos de estos avances y su presencia en la vida cotidiana (Muñoz Burbano, 2020).

De este modo, es necesario que los profesores comprendan la teoría cuántica y sus contribuciones, ya que esto facilitaría su inclusión en el currículo de ciencias naturales y en su enseñanza, esta integración permitiría a la escuela mantenerse alineada con el progreso científico y abordar los retos sociales y éticos que surgen a partir de estos avances, además, fomentaría en los estudiantes el desarrollo de un pensamiento crítico, capacitándolos para analizar el trabajo de los científicos en temas socio-científicos; asimismo, los dotaría de la capacidad de tomar decisiones racionales y emitir juicios fundamentados, incluyendo la identificación de errores de razonamiento y la evaluación de la credibilidad de las fuentes de información (Solbes, 2019).

Por otra parte, la pregunta 11 exploró las razones por las cuales los profesores en formación consideraron importante que los estudiantes aprenden conceptos relacionados con la teoría cuántica, evaluando la profundidad y precisión de sus argumentos, con lo cual se construye la Tabla 6.17.

Tabla 6.17.

¿Por qué considera importante que los estudiantes aprendan conceptos relacionados con la Teoría cuántica?

Importancia aprendizaje conceptos teoría cuántica	(%)
Incorrecto	18,6
Parcialmente correcto	18,0
Correcto	63,4

Teniendo en cuenta los criterios de valoración y la información sintetizada en la Tabla 6.17., el 63,4% de los estudiantes respondió de manera correcta, destacando la importancia de reflexionar sobre los aportes de la teoría cuántica en términos de sus implicaciones tecnológicas, científicas y sociales, entre las respuestas sobresalientes se mencionó: "*La teoría cuántica es una parte esencial de la física moderna y tiene implicaciones significativas en la ciencia y la tecnología contemporáneas, lo que la hace importante para que los estudiantes adquieran una educación científica sólida*" (EU4) y "*Porque la teoría cuántica hace parte de la física moderna, donde han sucedido quiebres epistemológicos que abren*

paso a nuevas verdades, permitiendo entender el mundo de una forma mucho más amplia y profunda" (EU4), estas respuestas se alinean con lo señalado por Faundez et al. (2015), quienes destacan la relevancia de la teoría cuántica al observar a diario sus logros, resultados y aplicaciones en la sociedad, especialmente a través del desarrollo de tecnologías como el láser y sus aplicaciones médicas, la nanotecnología y sus múltiples usos en sectores industriales, incluyendo la industria espacial. Comprender los conceptos de la teoría cuántica y sus aplicaciones resulta crucial para interpretar el entorno que rodea al estudiante.

Asimismo, otra respuesta destacada señaló: *"Porque la teoría cuántica ha desempeñado un papel crucial en la transformación de la sociedad moderna, tanto a través de sus aplicaciones tecnológicas prácticas como a través de sus implicaciones más profundas en nuestra comprensión del mundo que nos rodea."* (EU1), esto resalta la necesidad de incluir una enseñanza adecuada de la teoría cuántica para familiarizar a los estudiantes con la manera en que los científicos elaboran modelos para explicar problemas, como mencionan González et al. (2020).

Por otro lado, un 18,0% de los Participantes ofrecieron respuestas parcialmente correctas, reconociendo la importancia de aprender y enseñar conceptos cuánticos para abordar la teoría atómica, pero con poca profundidad en los argumentos, este es el caso de respuestas como: *"Porque básicamente descartan modelos atómicos erróneos y podrían ver un campo más allá de cómo se lo ve en realidad o por lo menos como se evidencia"* (EU4) o *"Para su aprendizaje de la materia"* (EU2), estas respuestas evidenciaron una comprensión limitada que no profundizó en las implicaciones más amplias de la teoría cuántica.

De otra manera, el 18,6% de las respuestas se clasificó como incorrectas debido a un desconocimiento evidente sobre la importancia de la teoría cuántica, aquí se ubicaron respuestas como: *"Para tener un conocimiento general"* (EU2), *"No tengo conocimiento"* (EU2) y *"No sé nada"* (EU1) reflejan esta carencia. Según González et al. (2020), esta situación puede atribuirse a la falta de claridad en la introducción de la física cuántica en la legislación educativa vigente y en los documentos curriculares de Colombia, esto contrasta con países como España y Argentina, que cuentan con una tradición más consolidada en la investigación didáctica y la enseñanza de esta disciplina. Estos resultados subrayan la necesidad de actualizar y fortalecer la formación de los profesores en este campo y en su

didáctica, de modo que puedan integrar adecuadamente la teoría cuántica en el currículo educativo, además, los resultados reflejaron una tendencia general positiva en el reconocimiento de la importancia de la teoría cuántica, pero también, evidenciaron vacíos en la conceptualización y comunicación didáctica del tema.

Por otro lado, la pregunta 12 buscó identificar qué otros aspectos sobre la estructura atómica consideraban relevantes los profesores en formación, con el propósito de evaluar su conocimiento didáctico del contenido y su capacidad para proponer temas complementarios a los ya establecidos en el currículo, permitiendo así, obtener los datos indicados en la Tabla 6.18.

Tabla 6.18.

¿Qué otra cuestión (contenidos) sobre la estructura del átomo considera relevantes?

Conocimiento didáctico del contenido: otros contenidos importantes de la estructura atómica	
	(%)
Incorrecto	34,3
Parcialmente correcto	47,7
Correcto	18,0

De acuerdo con los resultados obtenidos y reflejados en la Tabla 6.18, la mayoría de los participantes (47,7%) proporcionó respuestas parcialmente correctas, ya que, aunque mencionaron algunos contenidos relacionados con la estructura del átomo, estos no fueron complementarios ni suficientes en relación con lo que se esperaba abordar, como se observa en respuestas como: “*Sobre esta estructura se considera relevante las partículas subatómicas como: electrones, protones y neutrones*” (EU4) y “*La cantidad de electrones y protones que puede tener un átomo de determinado elemento*” (EU6*), en estas, se reflejan una comprensión limitada de la temática, lo que podría deberse a una falta de dominio conceptual o a la ausencia de una explicación clara y estructurada en el aprendizaje previo, que puede catalogarse en la mayoría de los casos como dificultad de aprendizaje de tipo ontológica (González et al., 2024).

Por otro lado, el 34,3% de los estudiantes proporcionó respuestas incorrectas, lo que evidenció serias dificultades para identificar conceptos clave relacionados con la estructura

atómica, algunas respuestas en este sentido fueron: *"Sobre la estructura del átomo considero que todo en conjunto funciona con la misma importancia"* (EU4), *"No recuerdo"* (EU4), *"Profundizar sobre la nube de electrones"*(EU4), y *"No tengo un contenido que aportar"* (EU3). Asimismo, en estas respuestas se observaron errores conceptuales importantes, como *"Cada una de sus partes, las funciones de estas y qué sucede cuando se ven alteradas"* (EU2); este tipo de errores señaló no solo una comprensión superficial de los conceptos fundamentales, sino también, una posible dependencia excesiva de la memorización de datos o formalismos matemáticos, esta situación sugiere que los estudiantes no lograron percibir la relevancia de estos conceptos en su cotidianidad, lo que afectó su motivación para profundizar en su aprendizaje (Pauli, 2000).

En contraste a lo anterior, solo el 18,0% de los estudiantes ofreció respuestas correctas, demostrando la capacidad de reconocer y explicar otros aspectos importantes de la estructura atómica, como la estructura electrónica de los átomos, el ordenamiento periódico y los enlaces de las moléculas, y relacionándolos con teorías avanzadas o aplicaciones específicas, algunas respuestas destacadas incluyen: *"Los números cuánticos, puesto que aquí se determinan diferentes características del átomo, como también las fórmulas y teorías acerca de este tema"* (EU4), *"Algo que no se ha mencionado y es fundamental es el efecto fotoeléctrico"* (EU4), *"Radiación del cuerpo negro, espectros de emisión, espectros de absorción"* (EU4), *"Otra cuestión relevante sobre la estructura del átomo es la distribución electrónica"* (EU1), y *"Desarrollos tecnológicos en cuántica, como el colisionador de drones, computación cuántica, entre otros"* (EU3), estos resultados pueden atribuirse a diversos factores, como un mayor interés en el tema, métodos de estudio más efectivos, o haber recibido explicaciones más claras y recursos de aprendizaje que facilitaron una mejor comprensión.

Estos resultados evidenciaron la necesidad de fortalecer la formación conceptual y didáctica en torno a la estructura atómica, especialmente, en lo que respecta a la identificación y contextualización de contenidos avanzados y su aplicación en diversos contextos científicos.

De otra manera, la pregunta 13 indagó si los profesores en formación conocían las dificultades o limitaciones que pueden surgir en la enseñanza de la estructura atómica, con el

objetivo de evaluar su capacidad para identificar y analizar los retos didácticos y conceptuales asociados a esta temática. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.19.

Tabla 6.19.

Dificultades en la enseñanza de la estructura atómica

Conocimiento didáctico del contenido: dificultades en la enseñanza de la estructura atómica	(%)
Incorrecto	18,0
Parcialmente correcto	61,0
Correcto	20,9

Teniendo en cuenta los criterios de valoración y los datos reflejados en la Tabla 6.19. El 20,9% de los estudiantes respondió de manera correcta, identificando dificultades específicas en la enseñanza de la estructura atómica, como la abstracción de los conceptos, la complejidad matemática y los errores conceptuales, y analizando las posibles causas de estas problemáticas, tales como la falta de fundamentos sólidos y métodos de enseñanza inadecuados, entre las respuestas destacadas se encuentran: “*Una de las dificultades puede ser que no se mira a profundidad ciertos conceptos, puede ser por falta de conocimiento o porque no se considera con un grado de importancia, del mismo modo la falta de recursos didácticos*” (EU4) y “*Los contenidos o lo didáctico que se pueda dar para llegar a entender los temas, pues al ser tan complejos quizá se necesite más tiempo y material didáctico*” (EU2).

Las anteriores respuestas coinciden con lo señalado por Cuesta (2018), quien menciona que una de las complicaciones en la enseñanza de la física cuántica radica en la ausencia de un enfoque común para los cursos introductorios, la falta de consenso en los contenidos y la diversidad de enfoques interpretativos de los modelos, lo cual dificulta el aprendizaje significativo de los estudiantes. Además, algunas respuestas incluyeron una crítica hacia la falta de reflexión por parte de los profesores sobre los contenidos que enseñan y la selección de las secuencias y estrategias más adecuadas para cada tema. En lugar de implementar metodologías diferenciadas y constructivas, muchos profesores tienden a recurrir a métodos memorísticos, como lo destacan Franco y Oliva (2012).

Por otra parte, el 61,0% de los participantes ofreció respuestas parcialmente correctas, en las que reconocieron las necesidades didácticas y pedagógicas en la enseñanza de la estructura atómica, pero omitieron las dificultades conceptuales que dificultan su abordaje, entre las respuestas de este grupo se subrayó que algunos profesores han contribuido a que estos contenidos sean percibidos como "difíciles" de comprender, lo que desmotiva el interés científico innato en los estudiantes: *“Algunas dificultades o limitaciones que pueden surgir en la enseñanza de los aspectos mencionados anteriormente incluyen la complejidad y los conceptos cuánticos, que pueden resultar difíciles de visualizar y comprender para algunos estudiantes”* (EU6) y *“Los conceptos muy técnicos son difíciles de asimilar”* (EU2).

También se señalaron como limitaciones significativas la carencia de laboratorios equipados con materiales y recursos adecuados *“Una limitación es la parte de los laboratorios, no se cuenta con laboratorios que dispongan de materiales y recursos que normalmente se cuentan en un laboratorio”* (EU4), *“Las limitaciones de laboratorios o espacios donde se pueda estudiar a fondo estas temáticas”* (EU3); así como la prevalencia de ideas previas erróneas, desinterés y didácticas ineficaces, *“Si, unas de ellas son ideas previas erróneas, desinterés y didácticas inadecuadas. Además, el uso de un lenguaje inapropiado”* (EU4).

De otra forma, el 18,0% de los participantes no logró identificar ni describir dificultades o limitaciones relacionadas con la enseñanza de la estructura atómica, expresando respuestas como: *“En la falta de atención y concentración ya que son temas complejos”* (EU5), *“La falta de atención y comprensión”* (EU2), *“ninguna”* (EU5), o *“Ninguna ,todo es posible, incluso utilizando los materiales más simples ,se puede hacer de una clase lo más grande”* (EU4), estas respuestas evidenciaron una falta de análisis crítico y un desconocimiento de los retos específicos asociados a este tema.

En términos generales, los resultados obtenidos resaltan la necesidad de formar a los profesores para que aborden no solo las dificultades conceptuales inherentes a la enseñanza de la estructura atómica, sino también, en la implementación de didácticas que despierten el interés de los estudiantes y faciliten la comprensión de estos conceptos abstractos y fundamentales.

Ahora bien, la pregunta 14 exploró si los profesores en formación conocían las posibles ideas alternativas o concepciones erróneas que los estudiantes podrían tener respecto al aprendizaje de la estructura del átomo, evaluando su capacidad para identificarlas, describirlas y analizarlas críticamente, con lo cual, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 6.20.

Tabla 6.20.

¿Conoce las posibles ideas alternativas que pueden tener los estudiantes en el aprendizaje de la estructura del átomo?

Conocimiento didáctico del contenido: ideas alternativas o concepciones erróneas en el aprendizaje de la estructura atómica	(%)
Incorrecto	65,1
Parcialmente correcto	20,9
Correcto	14,0

Según los resultados presentados en la Tabla 6.20., el 14,0% de los participantes proporcionó respuestas correctas, identificando y describiendo ideas alternativas comunes sobre la estructura del átomo que los estudiantes podrían haber adquirido fuera del aula, como en medios de comunicación, conversaciones informales o recursos en línea, estas ideas incluyen el modelo planetario, la creencia errónea de que los electrones siempre se encuentran en un nivel de energía específico, o la definición del átomo como la porción más pequeña e indivisible de la materia, pues bien, algunas de estas respuestas fueron: "*Las ideas alternativas que pueden tener los estudiantes en el aprendizaje de la estructura del átomo pueden estar relacionadas con la idea de que los electrones giran alrededor del núcleo en órbitas circulares, la idea de que los átomos son indivisibles y la idea de que la materia es continua*" (EU3), "*Puede tener conceptos erróneos al creer que los electrones siguen órbitas fijas y específicas alrededor del núcleo, que los electrones ocupan órbitas o niveles de manera uniforme*" (EU3), y "*Los estudiantes suelen tener ideas erróneas, como pensar que los electrones orbitan como planetas, o que están pegados al núcleo*" (EU5).

Así pues, las anteriores respuestas evidencian que, aunque las ideas alternativas pueden dificultar la comprensión de la estructura atómica, también representan un punto de partida para construir nuevos conocimientos científicos; al respecto, Gonzales et al. (2021),

comentan que la creación conjunta de modelos entre estudiantes y profesores, considerando las ideas previas de los alumnos y avanzando hacia modelos científicamente validados, puede ser clave para superar estas concepciones erróneas.

Por otro lado, el 20,9% de los encuestados proporcionó respuestas parcialmente correctas, mencionando ideas alternativas relacionadas con la estructura del átomo, pero con justificaciones que carecían de profundidad o precisión: *"Se pueden dar ideas como que la forma y estructura del átomo es organizada con orbitales homogéneos"* (EU4) y *"Por la visión que se tiene en esquemas, películas, caricaturas, donde no muestran fielmente sus características y comportamientos"* (EU1), estas respuestas indican un reconocimiento inicial de las ideas alternativas, pero no abordan cómo se relacionan con los conceptos científicos aceptados ni cómo podrían ser superadas.

Un porcentaje significativo, el 65,1%, presentó respuestas incorrectas, lo que demuestra una falta de conocimiento sobre las ideas alternativas que los estudiantes podrían manejar y su importancia en el proceso de enseñanza-aprendizaje, lo anterior presente en respuestas como: *"No porque no se ha hablado mucho al respecto"* (EU4), *"Las posibles ideas que pueden tener algunos estudiantes serían de asombro, puesto a la importancia de composición de todo lo que está compuesto de la materia"* (EU4), y *"La verdad, no conozco ideas alternativas para que los estudiantes puedan aprender sobre la estructura del átomo, más que explicación detallada de este"* (EU2); este resultado es inquietante, ya que sugiere que muchos profesores en formación no comprenden plenamente qué son las ideas alternativas ni cómo estas impactan en el aprendizaje.

Es de esta manera que, las respuestas obtenidas para la pregunta 14 destacan la necesidad de fortalecer la formación en didáctica, además del conocimiento disciplinar, dado que se identifican vacíos conceptuales en algunos participantes; como sugieren Furió et al. (2006), enseñar a los estudiantes no solo a hacer ciencia, sino también a comunicarla, puede ayudar a mejorar el razonamiento de sentido común y superar concepciones erróneas, de igual manera, este enfoque requerirá en los futuros maestros un cambio conceptual, así como una transformación metodológica, epistemológica y axiológica (Driver, 1988; Furió et al., 2006), de esta forma, será posible que los profesores enfrenten con éxito las ideas alternativas y las conviertan en una oportunidad para consolidar aprendizajes significativos.

Por otro lado, en la Tabla 6.21., se presentan los resultados de la pregunta 15, la cual evaluó las metodologías de enseñanza que los profesores en formación planeaban implementar para mejorar el aprendizaje de la estructura atómica, considerando su efectividad y adecuación en contextos educativos diversos.

Tabla 6.21.

Metodología por utilizar en la enseñanza de la estructura atómica para mayor aprendizaje de los estudiantes

Conocimiento didáctico del contenido: metodología por utilizar en la enseñanza de la estructura atómica para mayor aprendizaje de los estudiantes (%)	
Incorrecto	4,7
Parcialmente correcto	37,2
Correcto	58,1

Según los datos presentados en la Tabla 6.21., el 58,1% de los participantes respondió de manera correcta, detallando metodologías específicas como el uso de metodologías activas y prácticas, la modelización, la experimentación y la inclusión de la historia de las ciencias, este grupo explicó cómo estas estrategias promueven el aprendizaje al adaptarse a diversos estilos de aprendizaje y niveles educativos, fomentando además la construcción significativa del conocimiento, este por ejemplo, es el caso de la modelización permite a los estudiantes visualizar conceptos abstractos, mientras que la experimentación facilita la conexión entre la teoría y la práctica, algunas de esas respuestas fueron: *“Una metodología de enseñanza efectiva para promover un mayor aprendizaje de los estudiantes en la estructura del átomo y la teoría cuántica podría incluir una combinación de enfoques teóricos y prácticos. Esto puede incluir explicaciones claras y ejemplos concretos, demostraciones visuales o experimentos, actividades prácticas, discusiones en grupo, uso de tecnología educativa, como simulaciones o recursos en línea interactivos, y fomentar la participación activa de los estudiantes a través de preguntas, reflexiones y resolución de problemas”* (EU3) y *“El uso de modelos es importante al momento de enseñar que es un átomo y cómo funciona este y*

utilizando algunas analogías bien estructuradas sin llegar a confundir a los estudiantes” (EU5).

Al respecto, Ríos (2018) manifiesta que cuando en el proceso de enseñanza-aprendizaje se incluyen situaciones cotidianas que el estudiante experimenta o escucha regularmente, se mejora su asistencia y participación en clase, así como su comprensión de los conceptos relacionados, es así como el uso de juegos, representaciones teatrales, la creación de modelos con materiales reciclables o la experimentación con recursos del entorno, tanto dentro como fuera del aula, permite al docente establecer un mayor vínculo y retroalimentación con los estudiantes, favoreciendo el desarrollo de sus habilidades y logrando aprendizaje significativo: *“Yo les invitaría a desarrollar una obra de teatro en la que representen la historia del proceso que los científicos atravesaron para llegar a desarrollar la teoría de la estructura atómica. Esta metodología no obliga al estudiante a aprender una teoría, sino que lo invita a aprenderse un libreto a través del cual, inconscientemente aprenderá y comprenderá todos los conceptos relacionados con esta teoría” (EU3).*

Aún más, al respecto, cada vez es más común ideas como la de la corporización, que consiste en utilizar el cuerpo para representar fenómenos naturales, aunque muchos profesores de ciencias la emplean de manera espontánea, es un aspecto que ha sido poco investigado en la enseñanza de las ciencias, dentro del ello los estudiantes, al igual que en una obra teatral, interpretan procesos físicos, donde se representan como átomos, moléculas, estrellas, enlaces químicos, plantas, entre otros, para mostrar cómo se comportan, lo cual resulta ser una herramienta que ofrece ventajas potenciales como permitir incorporar las propiedades dinámicas de modo más real y no solo en imágenes (Tuzón y Solbes, 2024)

Complementariamente, y según lo mencionado por Valk et al. (2007) el modelado es una actividad propia de la ciencia que generalmente se emplea para estudiar fenómenos que se encuentran en escalas macroscópicas o microscópicas, distintas a la escala humana, donde los científicos crean modelos para adaptarlos a ciertas observaciones y luego los ajustan, redefinen o diseñan en función de nuevas observaciones, dicha herramienta son reconocidas por los profesores en formación: *“Considero que la modelización es el mejor método para enseñar la estructura atómica, por el motivo de que se puede visualizar y contextualizar la teoría referente al tema” (EU4).*

De otra manera, Un 37,2% de los participantes ofreció respuestas parcialmente correctas al mencionar metodologías como el aprendizaje basado en proyectos, el trabajo en grupo o el uso de tecnologías educativas. Sin embargo, estas respuestas se caracterizaron por la ausencia de una justificación consistente y detallada que explique por qué dichas metodologías son adecuadas para mejorar el aprendizaje de la estructura atómica, algunas de las respuestas fueron: “*Juegos didácticos, mesas redondas, debates, foros, prácticas de laboratorio*” (EU3) y “*Para una mejor enseñanza usaría simuladores, en donde se pueda observar de manera gráfica las diferentes estructuras estudiadas, mediante vídeos que capten la atención del estudiante*” (EU4).

Las respuestas anteriores demuestran que los participantes reconocen la importancia de las metodologías activas y tecnológicas, pero no profundizan en cómo estas herramientas contribuyen al aprendizaje significativo, este es el caso de los juegos didácticos y las mesas redondas, aunque efectivos para fomentar la interacción y el pensamiento crítico, requieren un diseño cuidadoso para conectar directamente con los objetivos de aprendizaje, como la comprensión de conceptos abstractos relacionados con la estructura atómica, así pues, sin esta conexión explícita, la actividad podría limitarse a un ejercicio superficial de participación (Ruiz, 2018).

Del mismo modo, el uso de simuladores y videos como estrategias tecnológicas es prometedor, ya que facilita la visualización de conceptos abstractos y permite a los estudiantes interactuar con representaciones gráficas, Estudios recientes han demostrado que el uso de herramientas tecnológicas, como simuladores interactivos y animaciones, mejora significativamente la comprensión de conceptos complejos en ciencias, siempre y cuando estas se integren con explicaciones claras y actividades guiadas (Pérez-León et al., 2020);

Estas respuestas parcialmente correctas muestran una comprensión inicial sobre la relevancia de las metodologías innovadoras, pero carecen de un análisis crítico sobre su implementación, lo que sugiere que los profesores en formación necesitan un mayor acompañamiento en la planificación y justificación de estrategias que trasciendan la mención de herramientas y enfoques, para incluir explicaciones claras sobre cómo estas metodologías pueden adaptarse a los diferentes estilos de aprendizaje, promover la construcción activa del conocimiento y facilitar la aplicación práctica de los conceptos en situaciones reales o

simuladas, como lo señalan Pérez-León et al. (2020), una implementación adecuada de estas metodologías no solo mejora el aprendizaje, sino también incrementa la motivación de los estudiantes al involucrarlos activamente en su propio proceso formativo.

De otra forma, al analizar las respuestas de los participantes, se observa que el 4,7% no mencionó ninguna metodología de enseñanza asociada con la efectividad en el aprendizaje de la estructura atómica, lo que evidencia una falta de preparación para abordar este contenido, algunas de dichas respuestas fueron: "*Nada*" (EU1) o "*No recuerdo*" (EU4) indican una ausencia de estrategias específicas. Aunque algunos participantes mencionaron el uso de programas de simulación, como en la respuesta "*Teniendo todas las herramientas tecnológicas actuales no dudaría en usar programas de simulación*" (EU1), estas menciones carecen de una justificación detallada sobre cómo estas herramientas pueden mejorar el aprendizaje.

Es así como, la falta de propuestas metodológicas concretas y justificadas sugiere una carencia en la formación didáctica de estos futuros profesores. Es fundamental que los profesores no solo conozcan diversas metodologías de enseñanza, sino que también comprendan cómo y por qué implementarlas para optimizar el aprendizaje de conceptos complejos como la estructura atómica. La integración de herramientas tecnológicas, como simuladores, puede ser beneficiosa, pero su uso debe estar respaldado por una planificación didáctica adecuada que considere los objetivos de aprendizaje y las necesidades de los estudiantes. Al respecto, estudios han demostrado que el uso de simuladores virtuales en la enseñanza de la estructura atómica puede mejorar la comprensión de los estudiantes cuando se integran de manera efectiva en el currículo (Pacheco et al., 2021).

Es imperativo que los programas de formación profesoral incluyan componentes que fortalezcan las competencias didácticas y tecnológicas de los futuros profesores, asegurando que estén preparados para implementar estrategias de enseñanza efectivas y justificadas en sus prácticas educativas.

De manera similar, la pregunta 16 abordó cómo los profesores en formación evaluarían si los estudiantes han comprendido realmente los conceptos relacionados con la estructura atómica, haciendo énfasis en la complejidad y el quiebre epistemológico que implica la evolución de los modelos atómicos y los avances de la física moderna (Tabla 6.22.).

Tabla 6.22.*Evaluación de la comprensión de conceptos*

Conocimiento didáctico del contenido: evaluación de la comprensión de conceptos		(%)
Incorrecto		7,0
Parcialmente correcto		70,3
Correcto		22,7

Según los datos de la Tabla 6.22., el 22,7% de los participantes proporcionó respuestas correctas al describir metodologías de evaluación que consideran el quiebre epistemológico implícito en los modelos atómicos, reflexionando no solo sobre los conceptos, sino también sobre el desarrollo histórico y los avances de la física moderna: "*Recurriría a un foro o a una feria científica donde cada estudiante elabore pósteres o maquetas sobre un tema específico*" (EU4), "*Utilizaría la modelización del átomo integrando cuestiones como niveles de energía y cargas eléctricas*" (EU3), y "*Diseñaría situaciones simuladas en las cuales los estudiantes deban predecir el comportamiento de un átomo o grupo de átomos, además de incorporar la historia de las ciencias para una mejor comprensión*" (EU1), estas estrategias no solo fomentan el aprendizaje conceptual, sino que también desarrollan habilidades metacognitivas y una comprensión de la relación entre los modelos científicos y los avances históricos.

Por otra parte, el 70,3% de los participantes presentó respuestas parcialmente correctas, que aunque mencionaron estrategias de evaluación, no detallaron métodos específicos para la enseñanza de la estructura atómica: "*Por medio de representaciones (dibujos), descripciones, y problemáticas que generen narrativas*" (EU1), "*Con cuestionarios, matrices de trabajo y experimentos para evaluar cómo se comprenden y aplican los conceptos*" (EU2), y "*No evaluaría de forma cuantitativa; identificaría falencias y fortalezas a través de la práctica, motivando al estudiante a aprender más allá de obtener una nota*" (EU4), Si bien estas propuestas indican una intención de evaluar de manera reflexiva, no detallan cómo estas herramientas pueden abordar las complejidades inherentes a la estructura atómica ni cómo vinculan el aprendizaje de los estudiantes con los quiebres epistemológicos y el contexto histórico de la temática.

Por último, un 7,0% de los participantes proporcionó respuestas incorrectas, evidenciando una ausencia notable de propuestas evaluativas concretas y relevantes para medir la comprensión de los conceptos relacionados con la estructura atómica; respuestas como "*Nada*"(EU4) y "*No recuerdo*" (EU4) reflejan no solo una falta de preparación en el diseño de metodologías evaluativas, sino también un posible desconocimiento de los principios fundamentales de la evaluación formativa y sumativa en el ámbito de la enseñanza de las ciencias. Este resultado subraya un vacío significativo en la formación didáctica de los futuros profesores, que podría repercutir negativamente en su capacidad para identificar y superar las dificultades de aprendizaje de los estudiantes.

La ausencia de respuestas o la incapacidad de proponer estrategias evaluativas podría estar relacionada con varios factores, en primer lugar, puede deberse a una formación insuficiente en evaluación educativa dentro de los programas de formación del profesorado, esto resulta problemático, dado que la evaluación es un componente esencial del proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que no solo mide el nivel de comprensión de los estudiantes, sino que también, guía las intervenciones pedagógicas para optimizar el aprendizaje (Rivero, 2007). Sin una formación sólida en evaluación, los profesores en formación carecen de las herramientas necesarias para diseñar estrategias que midan eficazmente el entendimiento de conceptos complejos como los modelos atómicos y sus implicaciones históricas y epistemológicas.

Además, esta carencia podría estar relacionada con una percepción limitada del propósito de la evaluación, que a menudo se asocia únicamente con la calificación de los estudiantes, en lugar de considerarla un medio para diagnosticar, retroalimentar y mejorar el aprendizaje. Según Galagovsky (2008), esta visión reduccionista puede llevar a un enfoque mecánico en la enseñanza de las ciencias, dejando de lado la importancia de las estrategias evaluativas que fomenten el pensamiento crítico y la contextualización de los conceptos.

Otro aspecto para considerar es que, al tratarse de un tema abstracto y con un alto grado de complejidad, como la estructura atómica, los futuros docentes podrían sentirse inseguros acerca de cómo abordar la evaluación de manera efectiva. La falta de recursos didácticos o ejemplos prácticos en su formación podría contribuir a esta inseguridad, limitando su capacidad para diseñar actividades evaluativas significativas. Como señala

Fanaro (2009), la enseñanza de conceptos relacionados con la mecánica cuántica y los modelos atómicos exige un replanteamiento de las categorías explicativas tradicionales, lo que requiere un enfoque evaluativo que permita explorar y superar las ideas alternativas que los estudiantes puedan desarrollar.

En este contexto, es imperativo reforzar la formación en evaluación educativa de los futuros docentes, proporcionando herramientas que les permitan diseñar estrategias efectivas y contextualmente relevantes, estas estrategias deben ir más allá de las evaluaciones tradicionales y abarcar métodos innovadores, como el uso de simulaciones interactivas, debates reflexivos y análisis de casos, que no solo midan el nivel de comprensión, sino que también fomenten el aprendizaje significativo.

Por tanto, el 7,0% de respuestas incorrectas no solo refleja una falta de preparación técnica, sino también una oportunidad para repensar los programas de formación docente, integrando componentes de evaluación que sean coherentes con las demandas cognitivas y epistemológicas de la enseñanza de la estructura atómica y la física moderna.

Ahora bien, es preciso mencionar que la enseñanza de la mecánica cuántica y la estructura atómica plantea un desafío no solo en la instrucción, sino también en la evaluación, como señala Pantoja et al. (2012), conceptualizar un sistema cuántico implica abandonar nociones macroscópicas profundamente arraigadas, como el comportamiento ondulatorio, lo que exige nuevas categorías explicativas. Sin embargo, la evaluación tradicional a menudo no aborda estas complejidades, generando ansiedad en los estudiantes, especialmente en los cursos de ciencias de educación básica y media, donde las evaluaciones pueden reforzar ideas alternativas (Galagovsky, 2008).

Por lo anterior, es imperativo que los profesores diseñen estrategias evaluativas que no solo midan el conocimiento, sino que también, motiven a los estudiantes a relacionar los conceptos científicos con su entorno inmediato, Borjas et al. (2011) enfatizan en la necesidad de adoptar enfoques evaluativos más humanos, rigurosos y sistemáticos, permitiendo una valoración integral y precisa del progreso de los estudiantes, esto incluye la elaboración de juicios descriptivos basados en un sistema ponderado, facilitando una comprensión más profunda de los conceptos científicos y su aplicación.

Capítulo 7. Conclusiones y Perspectivas

Este capítulo tiene como propósito sintetizar los hallazgos más relevantes de la tesis doctoral, resaltar su impacto en el ámbito académico y didáctico, y proponer futuras líneas de investigación orientadas al fortalecimiento del conocimiento didáctico del contenido (CDC) en la enseñanza de la estructura atómica dentro de los programas de Licenciatura en Ciencias Naturales.

La enseñanza de la estructura atómica constituye un pilar fundamental en la formación en ciencias naturales, ya que es la base sobre la cual se articulan conocimientos esenciales tanto en física como en química. No obstante, los hallazgos de esta investigación evidencian deficiencias significativas en la enseñanza de este contenido dentro de los programas de formación del profesorado en el país, lo que subraya la necesidad de una revisión y mejora en los enfoques didácticos empleados.

El análisis desarrollado en los capítulos previos ha permitido identificar tanto las deficiencias como las oportunidades en la formación en ciencias naturales, destacando la escasa inclusión de la teoría cuántica y la ausencia de estrategias didácticas adecuadas para la enseñanza de la estructura atómica. Este fenómeno responde, en gran medida, a una tendencia generalizada en la educación científica, caracterizada por un enfoque tradicional centrado en la transmisión de conocimientos teóricos, que, en muchos casos, no incorpora los avances de la ciencia y la tecnología. Dicho modelo de enseñanza no solo limita la actualización de los profesores en formación, sino que también, afecta su capacidad para transmitir estos contenidos de manera significativa en el aula (Solbes, 2024).

En este sentido, esta tesis doctoral pone en evidencia la necesidad de una reforma curricular que no solo integre la teoría cuántica en la enseñanza de la estructura atómica, sino que también, fomente el desarrollo de una didáctica de las ciencias orientada a un aprendizaje significativo y contextualizado.

Por lo tanto, para analizar la primera hipótesis —la cual plantea que la formación en las licenciaturas en Ciencias Naturales no promueve de manera adecuada el desarrollo del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) relacionado con la estructura atómica, al no incorporar suficientemente los aportes de la teoría cuántica ni las contribuciones más

recientes de la didáctica de las ciencias—, se llevó a cabo un análisis de los Proyectos Educativos de Programa (PEP) de cinco licenciaturas en Ciencias Naturales en Colombia, representando aproximadamente una tercera parte de los programas existentes en el país. Además, se realizó una revisión minuciosa de los microcurrículos (guías docentes) (N=58) que integraban contenidos sobre la estructura del átomo o su didáctica, y, por último, un análisis del enfoque que los docentes (N=33) de estas licenciaturas asignan a la enseñanza de este contenido.

Los resultados del análisis de los PEP evidencian diferencias significativas en la formación del profesorado en Ciencias Naturales en Colombia. Se observa un marcado énfasis en el componente disciplinar, que representa entre el 50 % y el 60 % del currículo, junto con un enfoque en el ámbito pedagógico (más de un 40 %). En contraste, el CDC (la didáctica de las ciencias), que según Shulman (1987) tiene un lugar central en el conocimiento del profesorado, ocupa únicamente un el 4 % del plan de estudios, lo que restringe la formación integral de los estudiantes y genera brechas significativas en la preparación de los futuros profesores.

En este contexto, se evidencia una sobrecarga disciplinar en ciertas áreas, lo que puede generar confusión en el ejercicio profesional. Asimismo, se observa una carga pedagógica excesiva. Ambas en conjunto podrían afectar a los conocimientos necesarios para la enseñanza de las ciencias. Así, a pesar de los avances en la formación del profesorado, los programas continúan basándose en el modelo de enseñanza de Dewey (1945), centrado en la pedagogía y en el enfoque disciplinar. No tienen en cuenta el modelo de conocimientos base del profesorado de Shulman (1986) que junto al conocimiento disciplinar y el pedagógico incluye además el conocimiento didáctico del contenido (CDC). En consecuencia, el CDC sobre la estructura atómica sigue siendo insuficiente, de acuerdo con nuestra hipótesis.

Por otra parte, el análisis de los microcurrículos (N=58) de los programas de Licenciatura en Ciencias Naturales en Colombia revela una estructura curricular heterogénea en la enseñanza de la estructura atómica, con deficiencias significativas en la integración de la teoría cuántica y en la aplicación de enfoques didácticos actualizados. En términos generales, este contenido se aborda en cursos de química general, química inorgánica y algunos cursos de física; sin embargo, su tratamiento varía considerablemente entre

programas, lo que ha permitido identificar tres niveles de abordaje de la estructura atómica en la formación del profesorado:

En primer lugar, un número reducido de cursos ($N=5$), los únicos a los que se puede aplicar la tabla 3.3 integra explícitamente la teoría cuántica, y estos pertenecen a programas con un enfoque disciplinar sólido. Aunque en estos cursos los modelos atómicos se presentan de manera progresiva, se observa que la transición del modelo precuántico de Bohr al modelo cuántico no está claramente delineada. Esta falta de precisión puede generar confusión en los estudiantes, ya que con frecuencia se designa erróneamente al modelo de Bohr como cuántico. De acuerdo con Solbes (2018), este modelo debe considerarse precuántico, pues incorpora conceptos clásicos que son inconsistentes con los principios de la mecánica cuántica.

Además, Solbes et al. (2018) sostienen que la incorporación gradual de conceptos cuánticos es fundamental para que los estudiantes comprendan el salto epistemológico que implicó la transición de los modelos clásicos a los cuánticos, enriqueciendo así su comprensión de la estructura atómica.

Asimismo, en estos cursos se abordan temas como las radiaciones electromagnéticas, los espectros de absorción y emisión, y el efecto fotoeléctrico. Estos fenómenos físicos son esenciales para entender el concepto y las características del fotón, así como la dualidad onda-partícula. No obstante, en lo que respecta a los niveles de energía y los números cuánticos (n , l , m), aunque se mencionan en los programas de los cursos, no se establece una conexión explícita con la ecuación de Schrödinger.

Cabe resaltar que en estos cursos no se hace referencia a la crisis de la mecánica clásica, un aspecto clave que podría ayudar a los estudiantes a comprender las limitaciones de esta teoría y la importancia de la mecánica cuántica. Del mismo modo, se omite la discusión sobre la función de onda y la ecuación de Schrödinger, a pesar de ser un elemento fundamental para explicar el comportamiento de los átomos.

En segundo lugar, los microcurrículos analizados ($N=12$) corresponden a cursos que abordan la estructura atómica de manera parcial. En estos casos, los contenidos se presentan desde un enfoque tradicional, incluyendo los modelos de Dalton, Thomson, Rutherford y

Bohr, pero con una integración mínima de la teoría cuántica. Algunos programas incluyen referencias a los números cuánticos y a las configuraciones electrónicas; sin embargo, estas se introducen sin una justificación teórica ni estrategias didácticas efectivas para su enseñanza.

Por otro lado, en el resto de los cursos analizados (N=41) en los que la estructura atómica no se aborda, a pesar de que debería considerarse un tema central. En su lugar, estos cursos se centran en aspectos generales, como la distribución electrónica y la formación de moléculas.

El estudio evidencia que la enseñanza de la estructura atómica en los microcurrículos se encuentra fragmentada y distribuida en distintos cursos, lo que impide establecer una secuencia clara que facilite la transición entre los modelos clásico, precuántico y cuántico, junto con sus respectivos aportes y limitaciones. Además, como han señalado diversos autores, existe un predominio de la física clásica en el currículo, lo que dificulta el abordaje de los desafíos ontológicos, epistemológicos y metodológicos propios de la física moderna (Sinarcas y Solbes, 2015; Muñoz-Burbano, 2020; Ostermann y Moreira, 2000).

Desde la perspectiva de la enseñanza, la mayoría de los programas se basa en clases magistrales y evaluaciones tradicionales, con una adopción limitada de estrategias innovadoras, como el uso de simulaciones computacionales, laboratorios interactivos y metodologías de indagación. En este sentido, los resultados indican que la enseñanza de la estructura atómica en las licenciaturas en Ciencias Naturales presenta deficiencias tanto en la profundidad del contenido como en la actualización didáctica.

Por ello, resulta fundamental llevar a cabo una revisión curricular que fortalezca el componente didáctico de las ciencias, estableciendo una conexión más profunda entre los contenidos disciplinares y los avances de la ciencia moderna. Esto es esencial para asegurar que la formación de los futuros profesores en ciencias naturales sea integral y esté alineada con el desarrollo contemporáneo del conocimiento científico.

Así, la enseñanza de temas actuales en física puede contribuir a proporcionar a los estudiantes una comprensión más precisa de esta disciplina y del proceso de producción del conocimiento científico, superando la visión lineal y puramente acumulativa del desarrollo

científico que aún predomina en los libros de texto y en las clases de física utilizadas actualmente (Sinarcas y Solbes, 2013; Ostermann y Moreira, 2000; Muñoz-Burbano, 2020).

Por otro lado, en lo que respecta a los docentes encargados de esta temática (N=33) la investigación evidencia que la enseñanza de la estructura atómica en los programas de licenciatura enfrenta diversos desafíos. En primer lugar, aunque los profesores poseen una sólida formación en física y química, presentan deficiencias significativas en la didáctica de estos contenidos. Esto se refleja en la selección de temáticas que, con frecuencia, no incorporan de manera adecuada las contribuciones de la teoría cuántica, favoreciendo un enfoque clásico que puede omitir aspectos cruciales de la física moderna, como la crisis de la mecánica clásica, la dualidad onda-partícula y las relaciones de indeterminación. Esta situación tiene consecuencias evidentes: los futuros docentes podrían desarrollar una comprensión limitada y superficial de estos temas, lo que impactaría negativamente su desempeño en las aulas de ciencias naturales (Muñoz-Burbano, 2020).

Asimismo, la preferencia de los docentes por los modelos clásicos puede estar influenciada por la percepción de que estos son más fáciles de enseñar y comprender, así como por la falta de preparación o comodidad. Por ello, es fundamental brindar formación adicional. En este sentido, desarrollar estrategias didácticas que incorporen simulaciones, visualizaciones y experimentos interactivos puede facilitar la enseñanza de la teoría cuántica, ayudando a los docentes a explicar de manera más significativa estos conceptos complejos. Además, es imprescindible implementar métodos de evaluación que permitan medir la comprensión de los principios cuánticos (Muñoz-Burbano, 2020).

La formación continua y la actualización de los docentes en física moderna y teoría cuántica son aspectos clave para una enseñanza que integre tanto los conceptos clásicos como las teorías contemporáneas. Como señala Solbes (2019), la capacitación docente en teorías científicas modernas es crucial para que los estudiantes desarrollen una comprensión completa y actualizada de los modelos científicos.

El análisis de los resultados sugiere que uno de los principales retos que enfrentan los docentes en la enseñanza de la estructura atómica es la identificación de la complejidad intrínseca de los conceptos cuánticos. Esta dificultad se intensifica, particularmente, en aquellos estudiantes que presentan una base insuficiente en matemáticas y física. Como

señala Chamizo (2010), si bien estas dificultades no son insuperables, afrontarlas requiere una transformación en las prácticas tradicionales de enseñanza.

Una estrategia efectiva para abordar las dificultades en la enseñanza de la teoría cuántica consiste en utilizar explicaciones claras y bien estructuradas, complementadas con analogías que conecten los conceptos abstractos con experiencias y conocimientos cotidianos. En este contexto, las herramientas interactivas, como laboratorios virtuales y actividades basadas en el aprendizaje activo, pueden desempeñar un papel fundamental. Estas metodologías permiten a los estudiantes explorar conceptos complejos a través de experiencias prácticas y experimentales, promoviendo así una comprensión más profunda y significativa (Fanaro et al., 2007).

Este enfoque no solo permite que los estudiantes confronten sus concepciones previas con evidencia científica, sino que también les ayuda a comprender cómo se construyen, negocian y contextualizan los conocimientos científicos dentro de marcos epistemológicos más amplios (Adúriz-Bravo y Izquierdo, 2002). De este modo, se facilita un proceso de reestructuración del conocimiento que va más allá de la simple corrección de errores, promoviendo una comprensión más profunda y matizada de los conceptos científicos. De acuerdo con Chamizo (2010), la implementación de estas estrategias no solo favorece el aprendizaje de contenidos complejos, sino que también contribuye a desmitificar la física cuántica, alejándola de la percepción de ser un campo inaccesible.

Desde esta perspectiva, este enfoque no solo facilita la comprensión de los conceptos cuánticos, sino que también resulta especialmente valioso para fomentar el pensamiento crítico en ciencias y desarrollar una apreciación más profunda del proceso científico y su evolución. Al centrarse en la naturaleza de la ciencia (NdC) y abordar cuestiones socio-científicas, se fortalece la formación en ciencias, como señala Solbes (2019).

La integración de estos elementos en la enseñanza permite a los estudiantes no solo adquirir conocimientos técnicos, sino también desarrollar habilidades analíticas y una mayor conciencia del impacto social y ético de la ciencia. Esto contribuye a la creación de un entorno educativo más integral y enriquecedor, en el que los estudiantes pueden conectar sus aprendizajes con la realidad y comprender la ciencia como un proceso dinámico en constante

evolución. De este modo, se promueve una formación más completa que los prepara para enfrentar los desafíos contemporáneos en el ámbito científico y tecnológico.

Los hallazgos de esta investigación evidencian la ausencia de una integración generalizada de los avances científicos en los currículos y en las prácticas de enseñanza, lo que confirma la primera hipótesis del estudio. La falta de una incorporación sistemática de la teoría cuántica y de las últimas aportaciones didácticas compromete la formación de los futuros licenciados, quienes requieren un conocimiento disciplinar y didáctico actualizado para afrontar los desafíos de la enseñanza de las ciencias en el siglo XXI.

El análisis también evidenció una falta de actualización curricular en los programas de formación del profesorado. A pesar de los avances en la enseñanza de la física moderna, los planes de estudio continúan dependiendo de textos tradicionales y estrategias pasivas de enseñanza, sin incorporar innovaciones didácticas que favorezcan un aprendizaje significativo.

Estos hallazgos coinciden con estudios previos que han señalado la resistencia de los programas de formación docente a la incorporación de innovaciones didácticas en la enseñanza de las ciencias. Investigaciones en didáctica han demostrado que la enseñanza de la física y la química sigue dominada por un modelo transmisivo, en el cual los docentes replican las estrategias con las que fueron formados (Solbes y Gavidia, 2013).

Desde el modelo del conocimiento didáctico del contenido (CDC) propuesto por Shulman (1987), se ha argumentado que un adecuado dominio del contenido y su transformación didáctica son esenciales para la enseñanza. No obstante, los resultados de este estudio indican que el CDC sobre la estructura atómica es insuficiente en los programas analizados, lo que dificulta la enseñanza de estos conceptos en la educación secundaria y media.

La segunda hipótesis sostiene que el conocimiento didáctico del contenido (CDC) sobre la estructura atómica de los futuros profesores que cursan estas licenciaturas resulta insuficiente e inadecuado. Para comprobarla se diseña un cuestionario que buscó evaluar el CDC sobre la estructura atómica en los profesores en formación (N = 172). Los resultados revelan que su nivel de conocimiento es limitado, presentando dificultades tanto en la

comprensión de la estructura atómica como en las contribuciones de la teoría cuántica y sus implicaciones didácticas. Este resultado puede atribuirse a una enseñanza excesivamente simplificada de los conceptos, que no contempla las complejidades históricas y epistemológicas asociadas a su validación ni sus implicaciones en la vida cotidiana.

El análisis de los aspectos evaluados evidencia tanto fortalezas como limitaciones en su CDC. Si bien se observa una comprensión intermedia sobre la importancia del aprendizaje de la teoría cuántica, así como sobre las metodologías de enseñanza y evaluación y el papel de las ideas previas, es fundamental profundizar en la integración de estos conocimientos dentro de contextos disciplinares específicos. Esto se debe a que la interrelación entre las didácticas y el contenido a impartir aún no está suficientemente consolidada. En consecuencia, se hace evidente la necesidad de fortalecer la formación en didácticas específicas.

Los resultados también revelan que, a pesar de haber recibido formación en física y química, los profesores en formación continúan enfrentando dificultades conceptuales. Las ideas alternativas sobre el electrón y el fotón reflejan interpretaciones ontológicas imprecisas y una comprensión confusa de la dualidad onda-partícula. Además, pocos participantes logran atribuirles características cuánticas que reflejen su comportamiento nuevo, lo que sugiere que la enseñanza actual no establece un adecuado contraste entre los modelos clásicos y cuánticos.

En lo que respecta a los niveles de energía, se evidencia una comprensión deficiente, ya que muchos los conciben como un simple conjunto de estantes o capas. No reconocen que estos niveles corresponden a valores cuantizados de energía derivados de la ecuación de Schrödinger y que, por lo tanto, están directamente relacionados con el carácter ondulatorio del electrón (Solbes y Sinarcas, 2010).

En cuanto a las relaciones de indeterminación de Heisenberg, las respuestas revelan un desconocimiento tanto del concepto como de sus implicaciones para la comprensión del modelo cuántico del átomo. Esta dificultad está vinculada con la resistencia a aceptar que no es posible conocer simultáneamente la posición y la cantidad de movimiento de una partícula. Además, como señalan González et al. (2024), las relaciones de indeterminación son interpretadas principalmente como una forma de incertidumbre respecto a la posición y otra

magnitud, que algunos docentes logran asociar con el momento. En este sentido, la introducción de las relaciones de indeterminación resulta fundamental, ya que la enseñanza del modelo cuántico actual exige abandonar la concepción de órbitas o del modelo atómico planetario.

Así pues, las respuestas indican que persiste la idea de que el átomo está compuesto por un núcleo y orbitales que pueden estar ocupados o no por electrones, lo que refleja la concepción errónea del "orbital estantería", entendido como una entidad independiente de los electrones. Por ello, es necesario explicar el orbital como una entidad dependiente de los electrones, identificados por una combinación de números y letras (1s, 2s, 2p, etc.) que representan propiedades específicas. Asimismo, se debe profundizar en la comprensión de la función de estado y su interpretación probabilista (Solbes y Sinarcas, 2009, 2010; Muñoz-Burbano, 2020).

En relación con los *ítems* sobre el grado en el que debe abordarse la estructura del átomo, las respuestas evidencian deficiencias en la capacidad de contextualizar los contenidos y en la identificación de concepciones erróneas comunes entre los estudiantes, aspectos fundamentales para la enseñanza de conceptos abstractos.

El análisis realizado refuerza la necesidad de que la enseñanza de la estructura atómica se aleje de modelos exclusivamente teóricos y adopte un enfoque socioconstructivista, basado en la interacción del estudiante con los conceptos a través de estrategias activas de aprendizaje. Este hallazgo coincide con las propuestas de Vygotsky (1979), quien enfatiza el papel de la mediación social en la construcción del conocimiento.

La implementación de estrategias como la experimentación guiada, la modelización y la indagación permite a los futuros docentes no solo comprender los principios fundamentales de la teoría cuántica, sino también desarrollar competencias para su enseñanza efectiva en contextos escolares diversos. Asimismo, la investigación reafirma la importancia de la transposición didáctica, destacando que la formación docente debe proporcionar herramientas que permitan adaptar los conceptos científicos a niveles educativos básicos sin distorsionar su significado.

En este sentido, los resultados del análisis resaltan la diversidad de enfoques en la enseñanza y la falta de convergencia en la formación del profesorado. La ausencia de criterios homogéneos en los currículos de formación docente dificulta la consolidación de un modelo de enseñanza estructurado que garantice que todos los egresados cuenten con las herramientas necesarias para la enseñanza de la ciencia, contribuyendo así al fortalecimiento de la formación científica en el país.

Por lo tanto, como ya se mencionó, se destaca la necesidad de una revisión curricular y una actualización de los planes de estudio. Esto implica la incorporación de cursos de didácticas específicas en los programas de formación docente, así como el reconocimiento de la didáctica como una disciplina que requiere mayor atención dentro de estos programas.

En consecuencia, resulta fundamental reflexionar sobre el conocimiento que debe poseer un profesor de Ciencias Naturales, el cual lo distingue de otros profesionales. Según Shulman (1987), es imprescindible que los programas de formación docente contribuyan al desarrollo de un cuerpo epistemológico propio para los profesores. Esta necesidad exige la construcción de un conocimiento didáctico diferenciado, que permita a los docentes articular de manera efectiva los contenidos disciplinares con estrategias adecuadas.

En este sentido, como señalan Carrascosa et al. (2016), el profesor de ciencias debe poseer un conocimiento amplio y actualizado de la materia que imparte. Es fundamental que comprenda cómo aprenden los estudiantes y qué barreras pueden dificultar la transición del conocimiento intuitivo y cotidiano al conocimiento científico. Asimismo, debe ser capaz de seleccionar los contenidos y las estrategias didácticas más adecuadas para facilitar el aprendizaje.

Además, se resalta la importancia de abordar en el aula de ciencias las interrelaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente. El docente no solo debe guiar el trabajo de los estudiantes, sino también evaluar y calificar su desempeño de manera adecuada. Esto no solo enriquece el proceso educativo, sino que también prepara a los alumnos para enfrentar los desafíos del mundo actual y su relación con el contexto en el que se desenvuelven.

Asimismo, se reconoce el valor de la historia de la ciencia, ya que permite ofrecer una visión más realista del trabajo científico. Es fundamental evitar que en el aula de ciencias las

referencias históricas se reduzcan a meros aspectos anecdóticos. La historia de la ciencia puede servir como un mediador clave en la conexión entre los nuevos conocimientos y la sociedad, integrando las relaciones entre ciencia, técnica y sociedad, lo que permite contextualizar la producción científica y su impacto en la realidad social (Solbes y Traver, 2003)

Asimismo, se recomienda el diseño de programas de formación continua para docentes en ejercicio, especialmente para aquellos que no fueron formados originalmente como profesores. La actualización en la didáctica de su disciplina no solo es fundamental, sino imprescindible para mejorar la enseñanza y el aprendizaje en el aula.

Otro aspecto clave identificado es la implementación de laboratorios virtuales y recursos digitales en la enseñanza de la estructura atómica. La investigación destaca la necesidad de incorporar simulaciones computacionales y laboratorios interactivos que permitan visualizar fenómenos cuánticos de manera accesible, brindando a los estudiantes experiencias de aprendizaje más dinámicas y significativas. Estas herramientas pueden utilizarse tanto en la formación docente como en la enseñanza escolar, favoreciendo una mejor apropiación de los conceptos fundamentales.

En esta línea, el fortalecimiento de la enseñanza interdisciplinaria es otra de las recomendaciones derivadas del estudio. Se propone la integración de la enseñanza de la estructura atómica con otras disciplinas, como la química y la biología, promoviendo un enfoque holístico que permita a los estudiantes comprender las aplicaciones reales de los conceptos cuánticos en distintos campos de la ciencia.

En términos generales, los aportes de esta investigación no solo contribuyen a mejorar la enseñanza de la estructura atómica en los programas de formación docente, sino que también pueden incidir en el diseño de políticas educativas orientadas a la actualización curricular y a la profesionalización de la enseñanza de las ciencias.

Dado que este estudio ha identificado diversas áreas que requieren mayor exploración, se proponen las siguientes líneas de investigación para fortalecer la enseñanza de la estructura atómica, integrando aportes de la teoría cuántica en la formación docente. En primer lugar, se recomienda la realización de estudios longitudinales sobre el impacto de la

enseñanza de la estructura atómica en la práctica docente. Sería fundamental analizar cómo los egresados de los programas de licenciatura aplican en sus clases los conocimientos adquiridos sobre la teoría cuántica y la estructura atómica, así como evaluar si los cambios curriculares en las licenciaturas han generado mejoras en la enseñanza de estos conceptos a nivel escolar.

Otra línea de investigación relevante es la evaluación empírica del impacto de las herramientas tecnológicas en la enseñanza de la estructura atómica. Comparar metodologías tradicionales con el uso de simulaciones digitales y laboratorios virtuales permitiría determinar su efectividad en el aprendizaje de la teoría cuántica. Asimismo, es necesario analizar cómo la integración de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y la realidad aumentada, puede optimizar la enseñanza de estos conceptos, brindando nuevas posibilidades para la representación y visualización de modelos atómicos.

En cuanto a la capacitación continua de los docentes en ejercicio, se recomienda el diseño de programas de formación que actualicen a los profesores en teoría cuántica y estrategias didácticas innovadoras. Además, es fundamental fomentar la participación de los docentes en comunidades de aprendizaje, donde puedan compartir experiencias y mejorar sus prácticas. Esto permitiría generar espacios de actualización en el conocimiento didáctico del contenido (CDC).

Otra aplicación, consecuencia o aporte relevante de estos resultados es su vinculación con las políticas educativas nacionales. Se sugiere la inclusión de estándares específicos sobre la enseñanza de la estructura atómica en los planes nacionales de educación en ciencias, asegurando que todos los programas de formación docente cumplan con lineamientos básicos en la enseñanza de estos conceptos. Asimismo, se recomienda establecer redes de colaboración entre universidades y centros de investigación para la creación de recursos didácticos basados en evidencia científica, garantizando que los profesores en formación tengan acceso a materiales actualizados y pertinentes.

En conclusión, esta investigación ha proporcionado un panorama detallado sobre la enseñanza de la estructura atómica en la formación docente en Ciencias Naturales, aunque aún quedan múltiples áreas por explorar y fortalecer. La implementación de las recomendaciones y propuestas presentadas contribuirá a la mejora continua de la educación

en ciencias y al desarrollo de profesores más preparados para enfrentar los desafíos de la enseñanza en el siglo XXI.

Desde una perspectiva más amplia, este estudio también enriquece el debate sobre la importancia de la enseñanza de la física cuántica en la educación secundaria y universitaria, resaltando la necesidad de articular estos contenidos con otras disciplinas científicas y con aplicaciones tecnológicas emergentes. En un mundo en el que la nanotecnología, la computación cuántica y las energías renovables están en constante desarrollo, una formación sólida en estructura atómica y mecánica cuántica resulta esencial para preparar a las futuras generaciones de científicos y educadores. La enseñanza de estos conceptos no solo es crucial para la formación de profesores en Ciencias Naturales, sino que también tiene un impacto significativo en la cultura científica de la sociedad, favoreciendo la formación de ciudadanos críticos y reflexivos frente a los desafíos tecnológicos del siglo XXI.

En última instancia, la tesis doctoral reafirma la relevancia de la investigación en didáctica de las ciencias como mecanismo para transformar la enseñanza y fortalecer la alfabetización científica de la sociedad. Solo a través de una actualización permanente y un compromiso con la calidad educativa será posible cerrar las brechas existentes en la enseñanza y formar a una nueva generación de profesores preparados para enfrentar los retos del mundo contemporáneo.

Por otro lado, la tesis evidencia la necesidad de una revisión crítica y una mejora sustancial en los programas de formación del profesorado en Ciencias Naturales en Colombia, y propone una reflexión sobre el perfil del licenciado en ciencias Naturales. En síntesis, las recomendaciones derivadas de la tesis doctoral subrayan la urgencia de revisar y actualizar los programas de formación docente en Ciencias Naturales, incorporando la teoría cuántica en la enseñanza de la estructura atómica, fortaleciendo la formación didáctica del profesorado y promoviendo el uso de tecnologías emergentes. Asimismo, se enfatiza la necesidad de establecer lineamientos educativos claros, fomentar el pensamiento crítico y desarrollar estrategias innovadoras que favorezcan una enseñanza significativa y contextualizada de estos conceptos.

Referencias Bibliográficas

- Abell, S. K. (2007). Research on science teacher knowledge. En S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 1105-1149). Lawrence Erlbaum Associates.
- Abrahams, I. & Millar, R. (2008). *Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. International Journal of Science Education*, 30(14), 1945-1969.
<https://doi.org/10.1080/09500690701749305>
- Acevedo, J. (1996). Cambiando la práctica docente en la enseñanza de las ciencias a través de CTS.
https://www.researchgate.net/publication/260540112_Cambiando_la_practica_docente_en_la_ensenanza_de_las_ciencias_a_traves_de_CTS
- Acevedo, J. (2009). Conocimiento Didáctico del Contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (i): el marco teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 21-46.
<https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3715/3299>
- Adúriz-Bravo, A. y Izquierdo, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), 130-140. http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen1/REEC_1_3_1.pdf
- Ainscow, M. (2001). *Understanding the development of inclusive schools*. Routledge.
<https://oas.org/cotep/GetAttach.aspx?lang=en&cId=492&aid=726>
- Akarsu, B. (2011). Instructional designs in quantum physics: A critical review of research. *Asian Journal of Applied Sciences*, 4(2), 112-118.
- Alph, R., Sexton, C. & Franklin, T. (2005). *Teaching science for all children: An inquiry approach*. Pearson.
https://books.google.com.co/books/about/Teaching_Science_for_All_Children.html?id=VaYLAQAAMAJ&redir_esc=y
- Alzate, M. (2005). Elemento, sustancia simple y átomo: tres conceptos problemáticos en la enseñanza y aprendizaje significativo de conceptos químicos. *Educación y*

- Pedagogía*, 17(43), 179 –193.
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/revistaeyyp/article/view/6062>
- Amórtegui-Cedeño, E. F., Gavidia, V. y Mayoral, O. (2017). Las prácticas de campo en la enseñanza de la biología y la formación docente: estado actual de conocimiento. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*.
<https://revistas.upn.edu.co/index.php/TED/article/view/4416>
- Andrade, H. (2005). Teaching with rubrics: The good, the bad, and the ugly. *College Teaching*, 53(1), 27-31. <https://www.jstor.org/stable/27559213>
- Aragón-Macías, A.; Morales, A. L. y Muñoz-López, J. (2023). Equidad de género y elección de carrera: Análisis desde una perspectiva cultural. *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, 14(1), 108-123.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-94362023000100108&script=sci_arttext
- Arana, M. (2005). La educación científico-tecnológica desde los estudios de ciencia, tecnología, sociedad e innovación. *Tabula Rasa*, (3), 293–313.
<https://www.revistatabularasa.org/numero-3/arana.pdf>
- Asikainen, M. A. & Hirvonen, P. E. (2014). Probing pre-and in-service physics teachers' knowledge using the double-slit thought experiment. *Science & Education*, 23(9), 1811-1833. <http://dx.doi.org/10.1007/s11191-014-9710-1>
- Atkins, P. y Jones, L. (2005). *Principios de Química: Los Caminos del Descubrimiento* (3.a ed.). Panamericana.
https://www.academia.edu/38975017/Principios_de_qu%C3%ADmica_Atkins_Jones
- Ausubel, D. P. (2000). *The Acquisition and Retention of Knowledge: A Cognitive View*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-015-9454-7>
- Bachelard, G. (1974). *La formación del espíritu científico*. Siglo XXI Editores.
<https://www.posgrado.unam.mx/musica/lecturas/LecturaIntroduccionInvestigacionMusical/epistemologia/Bachelard%20Gaston-La-formacion-del-espiritu-cientifico.pdf>

- Baily, C. & Finkelstein, N. D. (2009). Development of quantum perspectives in modern physics. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 5(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.5.010106>
- Ballesteros, B. J., Martínez, J. M. y Varela, M. (2013). La indagación científica en el aula: una propuesta para la enseñanza de la química. *Educación Química*, 24(3), 259-267. https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2013nExtra/edlc_a2013nExtrap259.pdf
- Banks, J. A. (2004). *Diversity and citizenship education: Global perspectives*. Jossey-Bass. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000176327>
- Bao L. (1999), *Dynamics of student modeling: a theory, algorithms and application to quantum mechanics* [Tesis de Doctorado, University of Maryland]. https://physics.umd.edu/perg/dissertations/Bao/00_chapter0.pdf
- Barajas, N. A. y Ortiz, J. (2019). Desarrollo de competencias científicas en estudiantes de básica primaria mediante la estrategia didáctica de resolución de problemas. *Espiral, Revista De Docencia E Investigación*, 8(1), 43-52. <https://doi.org/10.15332/erdi.v8i1.2117>
- Barros, S. G. (2016). Conocimiento científico conocimiento didáctico. Una tensión permanente en la formación docente. *Campo Abierto. Revista de Educación*, 35(1), 31-44. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5787071.pdf>
- Baumert, J., Kunter, M., Blum, W., Brunner, M., Voss, T., Jordan, A. & Tsai, Y. M. (2010). Teachers' mathematical knowledge, cognitive activation in the classroom, and student progress. *American educational research journal*, 47(1), 133-180. <https://doi.org/10.3102/0002831209345157>
- Bell-Rodríguez, R. F., Orozco, I. I. y Lema, B. M. (2022). *Interdisciplinariedad, aproximación conceptual y algunas implicaciones para la educación inclusiva. Episteme. Revista Científica de Educación*, 3(1), 7-22. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8298181.pdf>
- Bernal, B. V., Pérez, R. J. y Jiménez, V. M. (2019). El conocimiento didáctico del contenido (CDC) de una profesora de ciencias: reflexión y acción como facilitadores del aprendizaje. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 37(1), 25-53.

- Biggs, J., & Tang, C. (2011). *Teaching for quality learning at university*. McGraw-Hill Education. https://cetl.ppu.edu/sites/default/files/publications/-John_Biggs_and_Catherine_Tang-Teaching_for_Quali-BookFiorg-.pdf
- Blanco, L., Mellado, V. y Ruiz, C. (1995). Conocimiento didáctico del contenido en ciencias experimentales y matemáticas y formación de profesores. *Revista de Educación*, (307), 427-446. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4101605>
- Bohr, N. (1923). "Zur Quantenmechanik der Spektrallinien" ("Sobre la mecánica cuántica de las líneas espectrales"). *Zeitschrift für Physik*, 12(1), 265-313.
- Bolívar, A. (1993). Conocimiento didáctico del contenido y formación del profesorado: el programa de L. Shulman. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 16(1), 113-124.
- Bolívar, A. y Salvador, F. (2004). Conocimiento didáctico. En Fco. Salvador Mata, J.L. Rodríguez Diéguez y A. Bolívar (dirs), *Diccionario Enciclopédico de Didáctica*. Archidona (Málaga): Aljibe, 1, 195-215.
- Borjas, M., Silgado Garay, M. E. y Castro-Vidal, R. A. (2011). La evaluación del aprendizaje de las ciencias: la persistencia del pasado. *Horizontes Educativos*, 16(1), 19-29. <https://www.redalyc.org/pdf/979/97922274003.pdf>
- Boud, D. & Falchikov, N. (2006). *Aligning assessment with long-term learning*. Assessment & Evaluation in Higher Education, 31(4), 399-413. <https://doi.org/10.1080/02602930600679050>
- Bower, M., Howe, C., McCredie, N., Robinson, A. & Grover, D. (2014). Augmented Reality in education—cases, places and potentials. *Educational Media International*, 51(1), 1–15. <http://dx.doi.org/10.1080/09523987.2014.889400>
- Brown, H. R. (2009). Comment on Valentini “De Broglie-Bohm pilot-wave theory: many worlds in denial?”. <https://arxiv.org/abs/0811.0810>
- Brown, T., Lemay Jr., H., Bursten, B. y Murphy, C. J. (2009). *Química: La Ciencia Central* (11.a ed.). Pearson Educación. https://www.academia.edu/42741514/QUIMICA_LA_CIENCIA_CENTRAL_Brown

- Budde, M., Niedderer, H., Scott P. & Leach, J. (2002a). Electronium: A quantum atomic teaching model. *Physics Education*, 37(3), 197–203. <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/37/3/303>
- Budde, M., Niedderer, H., Scott P. & Leach, J. (2002b). The quantum atomic model ‘Electronium’: A successful teaching tool. *Physics Education*, 37(3), 204–210. <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/37/3/304>
- Busquets, T., Silva, M. y Larrosa, P. (2016). Reflexiones sobre el aprendizaje de las ciencias naturales: Nuevas aproximaciones y desafíos. *Estudios pedagógicos*, 42, 117-135. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07052016000300010
- Caballero, C. y Recio, P. (2007). Las tendencias de la Didáctica de las Ciencias Naturales en el Siglo XXI. VARONA, (44), 34-41. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360635564007>
- Calixto-Flores, R.; García, M. y Rayas, J. G. R. del S. (2017). La educación ambiental en la formación docente inicial en México. *Pesquisa em Educação Ambiental*, 12(2), 80–92. <https://doi.org/10.18675/2177-580X.vol12.n2.p80-92>
- Cardona, M. C. (2006). *Diversidad y educación inclusiva: enfoques metodológicos y estrategias para una enseñanza colaborativa*. Madrid: Pearson-Prentice Hall. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=261552>
- Carlsen, W. (1988). *The effects of science teacher subject-matter knowledge on teacher questioning and classroom discourse*. California: Stanford University.
- Carrascosa, J., Domenech-Blanco, J. L., Martínez-Torregrosa, J., Osuna García, L. y Verdú Carbonell, R. (2016). *Curso Básico de Didáctica de las Ciencias. Enseñanza Secundaria. Profesorado de Ciencias en Formación y en Activo*. Universidad de Alicante. Departamento de Didáctica General y Didácticas Específicas. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/55785>
- Carrascosa, J., Gil, D., Vilches, A. y Valdés, P. (2006). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23(2), 157–181. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5166022.pdf>
- Carretero, M. (2008). *Constructivismo y educación*. Editorial Santillana. <https://santillana.com>

- Cassany, D. (2006). *Tras las líneas: Sobre la lectura contemporánea*. Anagrama.
- Castrillón, C. P. (2016). *Estrategia didáctica para la enseñanza del modelo mecánico cuántico del átomo, mediante la implementación de la Unidad de Producción de Conocimiento (UDPROCO)*. Departamento de Matemáticas y Estadística.
- Castro, A. L. (2014). El Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC): una herramienta que contribuye en la configuración de la identidad profesional del profesor. *Magistro*, 8(15), 1.
- Castro, E. (1992). El empleo de modelos en la enseñanza de la química. *Enseñanza de las Ciencias*, 19, 1, 73-79. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/39890>
- Cervantes-Cota, J. y Rodríguez-Meza, M. (2006). El efecto fotoeléctrico. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 13(3),303-311. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10413309>
- Chacón, P. T., Yáñez Soria, J. E., Soria, M., Caillagua, D. A. y Siza, C. M. (2023). Evaluación formativa y sumativa en el Proceso Educativo: Revisión de Técnicas Innovadoras y sus efectos en el Aprendizaje Del Estudiante. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 1478-1497. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5414
- Chamizo, J. A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 26-41.
- Chang, R. y Goldsby, K. (2013). *Química* (11.a ed.). McGraw-Hill. <https://archive.org/details/Quimica11vaEdicionRaymondChangFREELIBROS>
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, Francia: La pensée sauvage.
- Chrobak, R. (2008). Una enseñanza creativa para aprendizajes creativos. *Cuadernos de la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales - Universidad Nacional de Jujuy*, (35), 115-129. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/revistaeyp/article/view/1345>
- Cochran, K. F., DeRuiter, J. A. & King, R. A. (1993). Pedagogical content knowing: An integrative model for teacher preparation. *Journal of Teacher Education*, 44(4), 263-272. <https://doi.org/10.1177/0022487193044004004>
- Coll, C., Palacios, J. & Marchesi, A. (1992). *Desarrollo psicológico y educación: Psicología de la educación escolar*. Alianza Editorial. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25743w/L1PG107_S1.pdf

- Colorado, P. y Gutiérrez, L. (2016). Estrategias didácticas para la enseñanza de las ciencias naturales en la educación superior. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 8(1), 148–158. <https://doi.org/10.22335/rlct.v8i1.363>
- Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA). (1992). Declaración de Dublín sobre el agua y el desarrollo sostenible. <https://gsagua.com/wp-content/uploads/2014/07/1992-declaracion3b3n-de-dublin-sobre-el-agua-y-el-ds.pdf>
- Consejo Regional Indígena del Cauca (CRIC). (s.f.). *Ubicación geográfica de los pueblos indígenas del Cauca*. <https://www.cric-colombia.org/portal/estructura-organizativa/ubicacion-geografica/>
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications. https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf
- Cuesta-Beltrán, Y. J. (2018). Estado del arte: tendencias en la enseñanza de la física cuántica entre 1986 y 2016. *Tecné, Episteme Y Didaxis: TED*, (44), 147–166. <https://doi.org/10.17227/ted.num44-8995>
- Cuesta, Y. 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 Número Extraordinario* (921-927). <https://revistas.upn.edu.co/index.php/TED/article/view/4834/3965>
- Darling, L. (2000). Teacher quality and student achievement. *Education policy analysis archives*, 8, 1-1.
- De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). *Physical and virtual laboratories in science and engineering education*. *Science*, 340(6130), 305-308. <https://research.utwente.nl/en/publications/physical-and-virtual-laboratories-in-science-and-engineering-educ>
- De la Peña, L. (2006). *Introducción a la Física Cuántica*. (3.^a ed.). FCE, UNAM.
- De la Torre, S. (2006). *Estrategias creativas en la enseñanza universitaria*. http://www.ub.edu/sentipensar/pdf/saturnino/estrategias_creativas_universitaria.pdf
- Demtröder et al. (2006). Thesen für ein modernes Lehramtsstudium im Fach Physik, DPG. https://www.dpg-physik.de/static/info/lehramtsstudie_2006.pdf

- Deslauriers, L. & Wieman, C. (2011). Learning and retention of quantum concepts with different teaching methods. *Physical review special topics-physics education research*, 7(1), 010101.
- Dewey, J. (1945). Methods in Science Teaching. *Science Education*, 29, 119-123. <https://doi.org/10.1002/sce.3730290303>
- Dib, M., Núñez, G., y Valenzuela, C. (2020). Planes de Innovación Pedagógica, una propuesta de mejoramiento en educación para las ciencias. *Revista de Innovación En Enseñanza de Las Ciencias*, 4(2). <https://doi.org/10.5027/reinnec.V4.I2.89>
- Didiş N. (2015). The Place of Learning Quantum Theory in Physics Teacher Education: Motivational Elements Arising from the Context. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 15(4), 1087-1101. DOI10.12738/estp.2015.4.2522
- Didiş, N. & Özcan, Ö. (2007). Pre-service physics teachers' attributions about succeeding quantum mechanics. In *Paper presented meeting of the international conference on physics education*, Marrakech, Morocco.
- Didiş, N. & Redish, E. F. (2010). How do the students perceive the reasons for their success in a modern physics course. In *Poster presented at the Physics Education Research Conference (PERC 2010)*, Portland-OR, USA.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). *Constructing scientific knowledge in the classroom*. Educational Researcher, 23(7), 5-12. https://lab-fe.pre.aegean.gr/downloads/articles/Driver_Constructionofscikn.pdf
- Driver. (1988): Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/51075/92742>
- Duit, R. & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688. <https://doi.org/10.1080/09500690305016>
- Dumrauf, A. y Cordero, S. (2020). Un enfoque participativo para la formación docente continua en la Educación en Ciencias Naturales, Ambiental y en Salud. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(2), 1602-1602. <https://www.redalyc.org/journal/920/92060626007/html/>
- Eisberg, R. M. y Resnick, R. (1985). *Física cuántica*. Editorial Limusa.

- EPA. (2023). *La importancia de la educación ambiental*. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. <https://espanol.epa.gov/espanol/la-importancia-de-la-educacion-ambiental>
- Espinel, M. D. (2020). *La enseñanza de la lectura y la escritura basada en juegos tradicionales en quinto grado de básica primaria desde un modelo de gestión escolar en una institución educativa de carácter privado del municipio de Bucaramanga* [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de Bucaramanga.
- Etkina, E. (2010). Pedagogical content knowledge and preparation of high school physics teachers. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 6(2), 020110.
- Fabri, E. (1981). Dialogo sulla massa relativista. *La Fisica nella Scuola*, 14, 25.
- Fanaro, A. M., Arlego, M. & Otero, M. R. (2009). El método de caminos múltiples de Feynman como referencia para introducir los conceptos fundamentales de la mecánica cuántica en la escuela secundaria. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 233. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5165464.pdf>
- Fanaro, M. (2009). *La Enseñanza de la Mecánica Cuántica en la Escuela Media*. Tesis Doctoral, Universidad de Burgos.
- Fanaro, M. y Otero, M. (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.
- Fensham, P. (2000) Issues for schooling in science. En *Science and the citizen for educators and the public*, editado por Roger Cross y Peter Fensham. Melbourne: Arena Publications, 73-77.
- Fernández, P., González, E. y Solbes, J. (2021). La evolución de las concepciones de los docentes de ciencias sobre dualidad en la física cuántica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 33(1), 35–46. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/33275>
- Feynman, R. (1971). *Física 1. Mecánica, radiación y Calor*. Mexico: Addison Wesley Longman
- Fischler, H. y Lichtfeldt, M. (1992). Modern Physics and Students' Conceptions. *International Journal of Science Education*, 14(2), 181-90.

- Fonseca, G. (2014). El PCK en profesores de biología: Aportes y limitaciones. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis*, 657-662.
<https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/3370/2928>
- Forero, J. (2000). De la trampa al desarrollo endógeno: Limitaciones y potencial de la comunidad científica colombiana. <http://hdl.handle.net/11146/2191>
- Franck, J. & Hertz, G. (1914). *Über Zusammenstöße zwischen Elektronen und Molekülen des Quecksilberdampfes und die Ionisierungsspannung desselben* ("Sobre colisiones entre electrones y moléculas de vapor de mercurio y el potencial de ionización del mismo"). *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, 16, 457-467.
- Franco, A. y Oliva, J. (2012). Dificultades de comprensión de nociones relativas a la clasificación periódica de los elementos químicos: la opinión de profesores e investigadores en educación química1. *Revista Científica*, 16(2), 53-71.
<https://www.redalyc.org/pdf/5043/504373318006.pdf>
- Freire, P. (1970). *Pedagogía del oprimido*. Siglo XXI Editores.
<https://www.servicioskoinonia.org/biblioteca/general/FreirePedagogiadelOprimido.pdf>
- Freire, P. (2004). *Pedagogía de la autonomía: Saberes necesarios para la práctica educativa*. Paz e Terra. <https://redclade.org/wp-content/uploads/Pedagog%C3%ADa-de-la-Autonom%C3%ADa.pdf>
- Friedrichsen, P., Abell, S., Pareja, E., Brown, P., Lankford, D. & Volkmann, M. (2009). Does Teaching Experience Matter? Examining Biology Teachers' Prior Knowledge for Teaching in an Alternative Certification Program. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.46, No.4, 357-383. <https://doi.org/10.1002/tea.20283>
- Fullan, M. (2001). *Leading in a culture of change*. Jossey-Bass.
<https://www.csus.edu/indiv/j/jelinekd/edte%20227/fullanleadinginacultureofchange.pdf>
- Furió, C., Solbes, J. y Carrascosa, J. (2006). Las ideas alternativas sobre conceptos científicos: tres décadas de investigación. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 48, 64-77.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1709475>

- Furió-Más, C., Solbes, J. y Furió-Gómez, C. (2008). Towards a proposal for effective ongoing training programmes for science teachers. *Problems for education in the 21 century*, 6, 60-70. <https://roderic.uv.es/handle/10550/44320>
- Gadotti, M. (2008). *Educação para a sustentabilidade: Um quadro pedagógico*. UNESCO.
- Galagovsky, L. (2008). Enseñanza de las Ciencias naturales: un desafío a nivel mundial. El caso particular de enseñanza de la química. *Proyecciones*, 6(2), 21-34. <https://ria.utn.edu.ar/server/api/core/bitstreams/1c73d287-40d5-455d-8d9a-f68aac2b48c4/content>
- Gallego, R. (1993) *Discurso constructivista sobre las ciencias experimentales*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.
- Gallego, R. y Pérez, R. (1994). *Representaciones y conceptos científicos: un programa de investigación*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Gallego, R., Pérez, R., de Gallego, T. y Torres, L. (2004). Formación inicial de profesores de ciencias en Colombia: un estudio a partir de programas acreditados. *Ciência & Educação*, 10(2), 219-234. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5274366.pdf>
- Gámez, C. M., Ruz, T. P. y Cobos, T. L. (2014). Profesorado de ciencias en formación inicial ante la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias: ¿perfil innovador o tradicional? *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación Del Profesorado*, 17(1), 162.
- Gamow, G. (1959). *Biografía de la Física*. Editorial Labor.
- Gamow, G. (2002). *Gravity*. Dover Publications.
- García -Llamas, R. G. (2013). El modelo atómico de Bohr: una aplicación. <https://biblat.unam.mx/hevila/EpistemusCienciatecnologiaysalud/2013/no14/5.pdf>
- García, A., Aguilera, M. A., Pérez, M. G. y Muñoz, G. (2011). Evaluación de los aprendizajes en el aula. En *Métodos de evaluación en el aula y estrategias para realizar una evaluación formativa* (pp. 45-67). Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación. http://publicaciones.inee.edu.mx/buscadorPub/P1/D/410/P1D410_06E06.pdf(<http://publicaciones.inee>
- García, M. y Ewert, J. (2003). *Introducción a la Física Moderna* (Tercera Ed). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

- García-Peñalvo, F. J. (2021). Transformación digital en las universidades: Implicaciones de la pandemia de la COVID-19. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 22, e25465. <https://doi.org/10.14201/eks.25465>
- Gardner, D. E. (2002). *Learning in quantum mechanics* (Doctoral dissertation, Purdue University). ProQuest Dissertations and Theses; Publication Number: AAI3104944
- Garritz, A., Daza-Rosales, S. F. y Lorenzo, M. G. (2015). Conocimiento didáctico del contenido: una perspectiva iberoamericana. *Educación química*, 26(1), 66-70.
- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical content knowledge: An introduction and orientation. En J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 3-17). Springer.
- Gess-Newsome, J. (2015) Teacher Professional Knowledge Bases Including PCK: Results of the thinking from the PCK Summit. En *Re-Examining Pedagogical Content Knowledge*, editado por Amanda Berry, Patricia Friedrichsen y John Loughran. Oxford: Routledge, 28-42.
- Gil, D. (1986). La metodología científica y la enseñanza de las ciencias naturales, Relaciones controvertidas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 4(2), 111-120. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/50876/92880>
- Gil, D., Senent, F. y Solbes, J. (1986). Análisis crítico de la introducción de la física moderna en la enseñanza media. *Revista de Enseñanza de la Física*, 2(1), 16-21. <https://roderic.uv.es/handle/10550/44206>
- Gil, D. & Solbes, J. (1993). The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, 15(3), 255-260, <https://doi.org/10.1080/0950069930150303>
- Gil, D. y Vilches, A. (2001). Una alfabetización científica para el siglo XXI: obstáculos y propuestas de actuación. *Revista Investigación En La Escuela*, 43, 27-37. <https://idus.us.es/handle/11441/60304>
- Giroux, H. (2003). *Pedagogía y política de la esperanza: Teoría, cultura y enseñanza*. Amorrortu. <https://ricaurteestereo.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/07/henry-giroux-pedagogia-y-polc3adtica-de-la-esperanza-1.pdf>

- Gobernación del Cauca, Secretaría de Educación y Cultura. (2022). *Apoyamos el acceso y permanencia en educación superior*. <https://sedcauca.gov.co/apoyamos-el-acceso-y-permanencia-en-educacion-superior/>
- Gómez, P. (2007). Desarrollo del conocimiento didáctico en un plan de formación inicial de profesores de matemáticas de secundaria. <http://funes.uniandes.edu.co/444/1/Gomez2007Desarrollo.pdf>
- Gómez, Y. (2010). Caracterización del conocimiento didáctico del contenido curricular en química del concepto de discontinuidad de la materia en profesoras en ejercicio. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 27, 130-153.
- González, A. (2013). Reflexión crítica y educación científica en América Latina. *Revista Iberoamericana de Educación*, 62, 45-63. <https://rieoei.org>
- González, E. M., Burbano, Z. E. M. y Solbes, J. (2020). La enseñanza de la Física Cuántica: una comparativa de tres países. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias* 15(2), 12. <https://doi.org/10.14483/23464712.15619>
- González, E., Fernández, P. y Solbes, J. (2024). Generando vías para el mejoramiento de la formación docente en la enseñanza de la física cuántica. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 19(1). <https://doi.org/10.14483/23464712.20659>
- González, V. M., Quiceno Serna, Y., Correa Carmona, D., Vélez Taborda, Y. J. y Montoya Ocampo, L. M. (2022). El maestro novel y la enseñanza de las ciencias naturales en contextos rurales. *Praxis & Saber*, 13(34), 120–137.
- González-Muñoz, M. C. (1998). La Educación Ambiental y formación del profesorado. *Revista Iberoamericana de Educación*, (16), 13-22. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1020277>
- Graeber, A. (1999). Forms of knowing mathematics: What pre-service teachers should learn. *Educational Studies in Mathematics*, 38, 189-208. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1003624216201>
- Graham, K. & Fennell, F. (2001). Principles and standards for school mathematics and teacher education: Preparing and empowering teachers. *School Science and Mathematics*, 101(6), 319-327. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1949-8594.2001.tb17963.x>

- Grossman, P. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press.
- Grossman, P., Wilson, S. & Shulman, L. (1989). Teachers of substance: Subject matter knowledge for teaching. En: *Knowledge Base for the Beginning Teacher*, editado por M.C. Reynolds. Oxford: Pergamon Press, 23-36.
- Guisasola, J., Barragués, J. I. y Garmendia, M. (2013). El Máster de Formación Inicial del Profesorado de Secundaria y el conocimiento práctico profesional del futuro profesorado de Ciencias Experimentales, Matemáticas y Tecnología. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 568-581.
- Haber-Schaim, U. (1975). On the teaching of quantum physics in the senior high school. In *Seminar on the teaching of physics in schools* (Vol. 2, p. 273).
- Hansen, D. (1995). *The call to teach*. Columbia: Teachers College Press.
- Hargreaves, A. & Fullan, M. (2012). *Professional capital: Transforming teaching in every school*. Teachers College Press.
https://books.google.com.co/books/about/Professional_Capital.html?id=2sRWQxB_Bsj4C&redir_esc=y
- Hattie, J. & Timperley, H. (2007). *The power of feedback*. Review of Educational Research, 77(1), 81-112.
<https://www2.it.uu.se/edu/course/homepage/cosulearning/st10/The%20Power%20of%20Feedback,%20Hattie%20and%20Timperley.pdf>
- Hoyos, L. (2021). *La enseñanza de las ciencias naturales basada en competencias*. *Gaceta de Pedagogía*, (41), 107-119. revistas.upel.edu.ve
- Hueso, A. y Cascant, M. (2012). *Metodología y técnicas cuantitativas de investigación*.
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17004/Metodolog%3%ada%20y%20t%3%a9cnicas%20cuantitativas%20de%20investigaci%3%b3n_6060.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Hurtado, J. y Sánchez, F. (2022). El reto de la calidad de la educación. Nota Macroeconómica, (38). <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/5466aafa-1478-4f83-a516-d7678f87197a/content>
- Ireson, G. (2000). The quantum understanding of pre-university physics students. *Physics Education*, 35(1), 15.

- Izquierdo, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En: *Didáctica de las ciencias experimentales*, editado por Francisco Perales y Pedro Cañal. España: Editorial Marfil, 35-64.
- Izquierdo, M., García Martínez, Á., Quintanilla, M. y Aduriz, A. (2016). *Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: aportes para la formación del profesorado de ciencias*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://doi.org/10.14483/9789588972282>
- Johnson, D. W., Johnson, R. T. & Smith, K. A. (2014). *Cooperative learning: Improving university instruction by basing practice on validated theory*. Journal on Excellence in University Teaching, 25(4), 85-118. http://static.pseupdate.mior.ca.s3.amazonaws.com/media/links/Cooperative_learn_validated_theory.pdf
- Jou, D. (2012). *Introducción al mundo cuántico*. S. Cugat del Valles: Pasado y Presente
- Kalkanis, G., Hadzidaki, P. & Stavrou, D. (2003). An instructional model for a radical conceptual change towards quantum mechanics concepts. *Science education*, 87(2), 257-280.
- Kathirveloo, P. y Puteh, M. (2014). Effective Teaching: Pedagogical Content Knowledge. *Proceeding of International Joint Seminar Garut*, 1-7. https://www.researchgate.net/publication/303940850_Effective_Teaching_Pedagogical_Content_Knowledge
- Kind, V. (2009). Pedagogical content knowledge in science education: Perspectives and potential for progress. *Studies in Science Education*, 45(2), 169-204. <https://doi.org/10.1080/03057260903142285>
- Klapp, J. (1988). The teaching of modern physics in latin America, *AIP Conference Proceedings* 173. (American Institute of physics: New York).
- Koehler, M. J. & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60-70. <https://citejournal.org/wp-content/uploads/2016/04/v9i1general1.pdf>
- Konuma, M. (1988). Topical or Systematic? The teaching of modern physics. In *AIP Conference Proceedings*, 173(1), 391-394. American Institute of Physics.

- Kuhn, T. (2011). *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Kuhn, T. S. (1996) *La revolución copernicana: la astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental*. Ariel S.A.
- Kuhn, T. S. (2002) *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*. 2002. Paidós S.A.
- Labao, T. M., Moya, J. L. M. y Garcette, L. C. (2017). Preparar para aprender: una manifestación del conocimiento didáctico del contenido en la práctica. *Estudios Sobre Educación*, 33, 27-48.
- Lakatos, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza Editorial.
- Lamanauskas V. (2001). Gamtamokslinis ugdymas pirmo kurso studentų požiūriu [Natural science education from the standpoint of the first course students]. *Pedagogika/Pedagogics*, 54, 93-101.
- Laurillard, D. (2013). *Rethinking university teaching: A conversational framework for the effective use of learning technologies*. Routledge.
<https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781315012940/rethinking-university-teaching-diana-laurillard>
- Leal, K. y Urbina, J. (2014). Las prácticas pedagógicas y la inclusión educativa. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos* (Colombia), 10(2), 11-33.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=134144225002>
- Lederman, N. G. & Gess-Newsome, J. (1999). *PCK and Science Education*. Kluwer Academic Publishers. https://www.researchgate.net/profile/Julie-Gess-newsome/publication/227212507_Pedagogical_Content_Knowledge_An_Introduction_and_Orientation/links/00b7d52bc76f142f50000000/Pedagogical-Content-Knowledge-An-Introduction-and-Orientation.pdf
- Leff, E. (2004). *Racionalidad ambiental: La re-significación del conocimiento y la acción social*. Siglo XXI. https://aulavirtual.iberu.edu.co/recursosel/documentos_para-descarga/racionalidad-ambiental-enrique-leff.pdf
- Levrini, O. & Fantini, P. (2013). Encountering productive forms of complexity in learning modern physics. *Science & Education*, 22, 1895-1910.
<https://doi.org/10.1007/s11191-013-9587-4>

- Levrini, O., Fantini, P. & Pecori, B. (2008). The problem is not understanding the theory, but accepting it”: a study on students’ difficulties in coping with Quantum Physics. In *Proceedings of the GIREP-EPEC Conference 2007, Frontiers of physics education* (pp. 319-324).
- Lévy-Leblond, J. M. (2003). On the nature of quantons. *Science and Education*, 12, 495-502. <https://doi.org/10.1023/A:1025382113814>
- Lijnse, P. L. (1981). Schoolbeeld of straatbeeld: over onderzoek naar begripsmoeilijkheden van leerlingen bij het leren van mechanica. In *Verslag van de'Woudschoten'conferentie, Utrecht: Werkgroep Natuurkunde-Didactiek*.
- Loewenberg, D, Hoover, M. & Phelps, G. (2008). Content Knowledge for Teaching: What Makes It Special?. *Journal of Teacher Education*, 59(5), 389-407. https://www.researchgate.net/publication/255647628_Content_Knowledge_for_Teaching_What_Makes_It_Special
- Loewenberg, D. (1990). Prospective Elementary and Secondary Teachers. Understanding of Division. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21(2), 132–144. <https://doi.org/10.2307/749140>
- Loewenberg, D., Hill, H. & Bass, H. (2005). Knowing mathematics for teaching: Who knows mathematics well enough to teach third grade, and how can we decide? *American Educator*, 29(1), 14-46. <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/65072>
- Lombardi, O. y Martínez, J. C. (2012). Entre mecánica cuántica y estructuras químicas: ¿a qué refiere la química cuántica? *Scientiae Studia*, 10, 649-670. <https://www.scielo.br/j/ss/a/nbn6pQj4CMWZbXtXV7ttb3h/?lang=es&format=pdf>
- López, J. M. T. (2019). Pedagogía, profesión, conocimiento y educación: una aproximación mesoaxiológica a la relación desde la disciplina, la carrera y la función de educar. *Tendencias Pedagógicas*, 34, 93–115.
- López, M. (2017). Evolución del modelo atómico. *Vida Científica Boletín Científico de La Escuela Preparatoria* 4, 5(10). <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/2584>
- Loughran, J.; Berry, A. & Mulhall, P. (2012). *Understanding and Developing Science Teachers’ Pedagogical Content Knowledge* (2.^a ed.). Rotterdam Sense Publishers.

- Lowery, N. (2002). Construction of teacher knowledge in context: Preparing elementary teachers to teach mathematics and science. *School Science and Mathematics*, 102(2), 68-83.
<https://www.proquest.com/openview/073f095ead7cef6604c6b7ff3c9b012a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=41443>
- Magnusson, S., Krajcik, J. & Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching, en *Examining Pedagogical Content Knowledge*, editado por Julie Gess-Newsome y Norman Lederman. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 95-132.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/0-306-47217-1_4
- Mahan, B. y Myers, R. (1987). *Química, Curso Universitario*. Adison-Wesley Iberoamericana S.A.
- Maldonado, C. y Álvarez, J. (2021). Enseñanza de las ciencias y su vinculación con el entorno: Desafíos en América Latina. *Revista Educación y Sociedad*, 12(1), 67-85.
Recuperado de: <https://educacionysociedad.org>
- Mannila, K., Koponen, I. T. & Niskanen, J. A. (2001). Building a picture of students' conceptions of wave-and particle-like properties of quantum entities. *European journal of physics*, 23(1), 45.
- Marcano-Molano, J. y Suárez-Morales, C. (2022). Estereotipos de género, elección de carrera, rol masculino y educación inicial. *Revista de Estudios de Género y Educación*, 10(3), 45-62.
https://www.researchgate.net/publication/366820061_Estereotipos_de_genero_eleccion_de_carrera_rol_masculino_y_educacion_inicial
- Marks, R. (1990). *Pedagogical content knowledge in elementary mathematics*. Tesis doctoral, Stanford University.
- Martínez, R., Pérez, L. y Torres, J. (2019). Ciencia y contexto: La importancia de una enseñanza situada en el ámbito escolar. *Ciencia, Tecnología y Educación*, 8(3), 21-35. Recuperado de: <https://cienciayeducacion.com>
- Martínez-Torregrosa, J., Savall-Aleman, F., Domenech-Blanco, J. L., Rey Cubero, A. y Rosa Cintas, S. (2016). La enseñanza problematizada de la física cuántica en el nivel

- introductorio. Una propuesta fundamentada. *Revista De Enseñanza De La Física*, 28(2), 77–100. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/15813>
- Marx, G. (1988). Interfaz entre los siglos XX y XXI: la enseñanza de la física moderna. En *AIP Conference Proceedings* 173, 1, 372-385). Instituto Americano de Física
- Mashhadi, A. & Woolnough, B. (1999). Insights into students' understanding of quantum physics: Visualizing quantum entities. *European Journal of Physics*, 20, 511–516. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0143-0807/20/6/317/meta>
- Mellado, V. y González, T. (2000). La formación inicial del profesorado de ciencias, en *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, editado por J. Perales y P. Cañal, 535-555. Alcoy: Marfil.
- Mertens, D. M. (2007). Transformative paradigm: Mixed methods and social justice. *Journal of mixed methods research*, 1(3), 212-225. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1558689807302811>
- Michellini, M., Ragazzon, R., Santi, L. & Stefanel, A. (2000). Proposal for quantum physics in secondary school. *Physics Education*, 35(6), 406-410. https://www.researchgate.net/publication/230904866_Proposal_for_quantum_physics_in_secondary_school
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia (MEN). (2004). *Formar en ciencias: ¡el desafío!*. https://www.mineduacion.gov.co/1780/articles-81033_archivo_pdf.pdf
- Montero, G. A. (2022). El progreso de la investigación, base de la economía de Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 25(1).
- Montoya, N. M. (2005). ¿Qué es el estado del arte? *Ciencia y Tecnología para la salud Visual y Ocular*, (5), 73-75. <https://ciencia.lasalle.edu.co/svo/vol3/iss5/10/>
- Morales, O. (2003). *Fundamentos de la investigación documental y la monografía. Manual para la elaboración y presentación de la monografía*. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.
- Moreno, F. M. M. (2019). *De Demócrito a las estrellas: el viaje al centro del átomo* (Vol. 16). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva.
- Müller, R. & Wiesner, H. (1998). Vorstellungen von lehramtsstudenten zur interpretation der quantenmechanik. *Zur didaktik der physik und chemie*, Alsbach S, 382.

- Muñoz-Burbano, Z. (2018). Quiebres epistemológicos para la enseñanza de la teoría cuántica. *Revista Historia de la Educación Colombiana*, 21(21), 79-97. <https://doi.org/10.22267/rhec.182121.9>
- Muñoz-Burbano, Z. E. (2020). *Enseñanza de la estructura atómica de la materia en la educación secundaria en Colombia* Doctoral dissertation, Universidad de Nariño y Universitat de València.
- Muñoz-Burbano, Z. E., Narváez, M. A., Solbes, J., Ramos Zambrano, G. E. y Garzón, F. (2024). *Formación del profesorado en Ciencias Naturales: una mirada desde la teoría cuántica y teoría de la relatividad*. Editorial Universidad de Nariño
- Muñoz-Burbano, Z. E., Narváez-Gómez, M. A. y Montenegro, L. A. (2021). Saber disciplinar en la formación de profesores en ciencias naturales: aproximaciones reflexivas. *Tecné, Episteme Y Didaxis: TED* (Número Extraordinario), 1571–1577. <https://revistas.upn.edu.co/index.php/TED/article/view/15389>
- Muñoz-Burbano, Z., Solbes, J. y Ramos, G. E. (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. <https://doi.org/10.19053/22160159.v11.n27.2020.10754>
- Narváez, M. (2022). Revisión sistémica sobre la enseñanza de la estructura atómica desde conceptos cuánticos. *Revista Historia de la Educación Colombiana*, (28-29), 247-277. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rhec/article/view/8859>
- Nicol, D. J. & Macfarlane-Dick, D. (2006). *Formative assessment and self-regulated learning: A model and seven principles of good feedback practice*. *Studies in Higher Education*, 31(2), 199-218. https://www.researchgate.net/publication/228621906_Formative_Assessment_and_Self-Regulated_Learning_A_Model_and_Seven_Principles_of_Good_Feedback_Practice
- Niess, M. (2005). Preparing Teachers to Teach Science and Mathematics with Technology: Developing a Technology Pedagogical Content Knowledge. *Teaching and Teacher Education*, 21(5), 509-523. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2005.03.006>
- Novak, J. D. (1998). *Learning, Creating, and Using Knowledge*. Lawrence Erlbaum Associates. <https://psycnet.apa.org/record/1998-07068-000>

- Oliveira, F., Vianna, D. y Gerbassi, R. (2007). Física moderna en la escuela secundaria: lo que dicen los profesores. *Revista Brasileira de Enseñanza de la Física*, 29, 447-454.
- Olmstead, A. & Turpen, C. (2016). Assessing the interactivity and prescriptiveness of faculty professional development workshops: The Real-Time Professional Development Observation Tool (R-PDOT). <https://arxiv.org/abs/1606.07126>
- Olsen, R. V. (2002). Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: A study in Norway. *International Journal of Science Education*, 24(6), 565–574. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500690110073982>
- Osborne, J. (2010). Arguing to learn in science: The role of collaborative, critical discourse. *Science*, 328(5977), 463-466. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20413492/>
- Ostermann, F. y Moreira, M. A. (2000). Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. *Enseñanza de Las Ciencias*, 18(3), 391–404. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21689>
- Osuna-Acedo, S. y Gil-Quintana, J. (2017). El proyecto europeo ECO: Rompiendo barreras en el acceso al conocimiento. *Educación XXI*, 20(2), 31-54. <https://www.redalyc.org/pdf/706/70651145008.pdf>
- Pacheco, A. R., Lorduy, D. J., Flórez, E. P. y Páez, J. C. (2021). Uso de simuladores phet para el aprendizaje del concepto de soluciones desde las representaciones en química. *Boletín Redipe*, 10(7), 201–213. <https://doi.org/10.36260/rbr.v10i7.1358>
- Pantoja, G.; Moreira, M. y Elnecave, V. (2012). La enseñanza de conceptos fundamentales de Mecánica Cuántica a alumnos de graduación en Física. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 9(1), 22-39. <https://www.redalyc.org/pdf/2733/273331433002.pdf>
- Parga, D.L. y Mora, W.M. (2008). El conocimiento didáctico del contenido en química: integración de las tramas de contenido histórico–epistemológicas con las tramas de contexto–aprendizaje. *TED, Tecné Episteme y Didaxis*, (24), 56-81. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/1083>
- Park, S. & Oliver, J. S. (2008). Revisiting the conceptualisation of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research in Science Education*, 38(3), 261-284. <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9049-6>

- Pauli, L. A. B. (2000). La enseñanza de la química general y su vínculo con la vida. *Educación Química*, 11(4), 374–380.
- Paulson, F. L., Paulson, P. R. & Meyer, C. A. (1991). What makes a portfolio a portfolio? *Educational Leadership*, 48(5), 60–63. https://files.ascd.org/staticfiles/ascd/pdf/journals/ed_lead/el_199102_paulson.pdf
- Pena, F. (2006). Por qué, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e idéias de física moderna e contemporânea na sala de aula? *Revista brasileira de Ensino de Física*, 28, 1–2. <https://www.scielo.br/j/rbef/a/gNHXzH9HTpp6crh4WGnVVQz/?lang=pt>
- Pereira, A. & Solbes, J. (2022). The Dynamics of Perspective in Quantum Physics. *Science & Education*, 31(2), 427–450. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00252-9>
- Pérez, O. M. (2012). De la evaluación tradicional a una nueva evaluación basada en competencias. *Revista Electrónica Educare*, 16(1), 27–46. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/EDUCARE/article/view/2115>
- Pérez, Z. P. (2011). Los diseños de método mixto en la investigación en educación: Una experiencia concreta. *Revista electrónica educare*, 15(1), 15–29. <https://www.redalyc.org/pdf/1941/194118804003.pdf>
- Pérez-León, A.C., Velásquez-Márquez, A., Medina-López, M.C. & Bárcenas-Escobar, M. (2020). Las TIC como medio de aprendizaje de algunas nociones abstractas de Estructura Atómica. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 6(6), 26–30. <http://hdl.handle.net/11191/7684>
- Petrucci, R. H., Harwood, W. S. (1999). *Química General*. Prentice Hall.
- Petrucci, R., Herring, F., Madura, J. y Bissonnette, C. (2011). *Química General: Principios y Aplicaciones Modernas* (10.a ed.). Pearson Educación. https://quimica247403824.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/11/quimica_general_petrucci.pdf
- Popper, K. (1980). *La Lógica de la investigación científica*. Tecnos
- Porlán, R., Rivero, A. y del Pozo, R. (1998). Conocimiento Profesional y Epistemología de los Profesores, II: Estudios Empíricos y Conclusiones. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 16(2), 271–288. <https://ensciencias.uab.cat/article/view/v16-n2-porlan-rivero-martin>

- Posner, G. J. & Rudnitsky, A. N. (2006). *Course design: A guide to curriculum development for teachers*. Longman.
- Pospiech, G. & Schöne, M. (2011). Quantum physics in teacher education. *fisica. uniud. it*, FFP12 (November): 1–8.
<https://www.fisica.uniud.it/~ffp12/ftp/fullpapers/G%20Pospiech.pdf>
- Pospiech, G. (2000). Uncertainty and complementarity: The hearth of quantum physics. *Physics Education*, 35(6), 393–399.
https://www.researchgate.net/publication/231016267_Uncertainty_and_complementarity_the_heart_of_quantum_physics
- Quiroz-Londoño, F. (2020). El papel de la reflexión y la mediación didáctica en la enseñanza de las ciencias naturales: un estudio de caso de profesores en formación. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (47), 161-178. <https://doi.org/10.17227/ted.num47-6558>
- Resnick, R., Halliday, D., y Krane, K. S. (1993). *Física: volumen I*. CECSA
- Revelo-Sánchez, O., Collazos-Ordóñez, C. A., & Jiménez-Toledo, J. A. (2018). El trabajo colaborativo como estrategia didáctica para la enseñanza/aprendizaje de la programación: una revisión sistemática de literatura. *TecnoLógicas*, 21(41), 115–134.
<https://doi.org/10.22430/22565337.731>
- Rioja, A. (1995). Los orígenes del principio de indeterminación. *Theoria: An International Journal for Theory, History and Foundations of Science*, 117-143.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=141704>
- Rivero, J. (2007). Evaluación de los aprendizajes desde una perspectiva humanista en las universidades pedagógicas venezolanas. *REDHECS: Revista electrónica de Humanidades, Educación y Comunicación Social*, 2(3), 1-14.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2719550.pdf>
- Rodríguez, M. (2017). Alfabetización científica crítica y su relevancia en la educación actual. *Educación y Desarrollo*, 15(2), 93-105. <https://educacionydesarrollo.com>
- Rojas, G. (2019). Conocimiento didáctico del contenido como técnica interpretativa de una práctica docente musical. *Estudios Artísticos: revista de investigación creadora*, 5(7), 212-227. <https://doi.org/10.14483/25009311.14989>
- Rollnick, M. & Mavhunga, E. (2016a). “Can the Principles of Topic-Specific PCK Be Applied Across Science Topics? Teaching PCK in a Pre-Service Programme”.

- Insights from Research in Science Teaching and Learning, Volume 2. Cham*, editado por Nikos Papadouris, Angela Hadjigeorgiou, Costas Constantinou, 59-72. Switzerland: Springer International Publishing.
- Rollnick, M. & Mavhunga, E. (2016b). Pedagogical Content Knowledge. En *Science Education*, editado por Keith Taber y Ben Akpan. Róterdam: Sense Publishers, 507-522. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-6300-749-8_37
- Rollnick, M., Bennett, J., Rhemtula, M., Dharsey, N. & Ndlovu, T. (2008). The place of subject matter knowledge in pedagogical content knowledge: A case study of South African teachers teaching the amount of substance and chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1365-1387. <https://doi.org/10.1080/09500690802187025>
- Roth, K.J. (2007). Science Teachers as Researchers. In S.K. Abell & N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education*, pp. 1205-1259. (N.Y.: Routledge)
- Ruiz, C. (2018). Los juegos didácticos como estrategia de enseñanza y aprendizaje en el área de ciencias naturales y educación ambiental del grado 5ºB de La Institución Educativa Manuel Ruiz Álvarez de la Ciudad de Montería-Córdoba. <https://core.ac.uk/download/pdf/322624898.pdf>
- Sadaghiani, H. (2005). *Barreras conceptuales y matemáticas para los estudiantes que aprenden mecánica cuántica*. Universidad Estatal de Ohio.
- Sadler, D. R. (1989). *Formative assessment and the design of instructional systems*. *Instructional Science*, 18(2), 119-144. <https://michiganassessmentconsortium.org/wp-content/uploads/Formative-Assessment-and-Design-of-Instructional-Systems.pdf>
- Salazar, F. (2005). El conocimiento pedagógico del contenido como categoría de estudio de la formación docente. *Revista Electrónica Actualidades Investigativas en Educación*, 1-18. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44750211>
- Santander-Espinoza, M. J., García-Herrera, D. G., Álvarez-Lozano, M. I. y Erazo-Álvarez, J. C. (2020). Aprendizaje colaborativo como estrategia de inclusión para estudiantes con necesidades educativas especiales. *Episteme Koinonía*, 3(1), 184-200. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9299457.pdf>

- Schön, D. A. (2016). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Routledge.
<https://rauterberg.employee.id.tue.nl/lecturenotes/DDM110%20CAS/Schoen-1983%20Reflective%20Practitioner.pdf>
- Schwab, J. (1978). Education and the structure of the disciplines. En *Science, curriculum, and liberal education*, editado por I. Westbury & N. Wilkof, 167-183. Chicago: University of Chicago.
- Serway, R. A. (2003). *Física, Tomo .I*. Mc Graw-Hill
- Serway, R. A. y Jewett, J. W. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna*. Cengage Learning Editores.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22. <https://people.ucsc.edu/~ktellez/shulman.pdf>
- Sinarcas, V. L. (2015). *Proposta per a l'ensenyament i aprenentatge de la física quàntica en 2n de batxillerat* (Doctoral dissertation, Universitat de València).
- Sinarcas, V. y Solbes, J. (2013). Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la Física Cuántica en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*. 31(3), 9–25. <https://doi.org/10.5565/rev/enscien/v31n3.768>
- Solbes, J. (2009). Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (I): resumen del camino avanzado. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 2-20.
<https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3713>
- Solbes, J. (2018). El modelo cuántico del átomo. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, (93), 26-33.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6532966>
- Solbes, J. (2019). Cuestiones socio-científicas y pensamiento crítico: Una propuesta para cuestionar las pseudociencias. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (46), 81-99.
<https://doi.org/10.17227/ted.num46-10541>

- Solbes, J. (2024). Construyendo la Didáctica de las Ciencias: hacia una Educación Científica basada en Evidencias. *Praxis & Saber*, 15(40), 1–17. <https://doi.org/10.19053/uptc.22160159.v15.n40.2024.17445>
- Solbes, J., Bernabeu, J., Navarro, J., y Vento, V. (1988). Dificultades en la enseñanza/aprendizaje de la física cuántica. *Revista Española de Física*, 2(1), 22–27. <http://hdl.handle.net/10550/36207>
- Solbes, J., Calatayud, M. L., Climent, J. y Navarro, J. (1987). Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 5(3), 189–195. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5162>
- Solbes, J., Domínguez-Sales, M., Fernández, J., Furió, C., Cantó, J. y Guisasola, J. (2013). “¿El profesorado de física y química incorpora los resultados de la investigación en didáctica?”. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 27, 155–178. <https://doi.org/10.7203/DCES.27.2617>
- Solbes, J., Fernández, J., Domínguez-Sales, M. C., Cantó, J.R. y Guisasola, J. (2018). Influencia de la formación y la investigación didáctica del profesorado de ciencias sobre su práctica docente. *Enseñanza de las Ciencias, Revista de investigación y experiencias didácticas*, 36(1), 25–44. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2355>
- Solbes, J., García Díaz, J. E., Alcalde de Oñate, A. M., Rubio Sáez, N. y Martínez-Pons, J. A. (1992). *Recursos y elementos de actualización científica*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia, Subdirección General de Formación del Profesorado.
- Solbes, J. y Gavidia, V. (2013). Análisis de las Especialidades de Física y Química y de Biología y Geología del máster de profesorado de educación secundaria de la Universidad de Valencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 582–593. <https://doi.org/10498/15615>
- Solbes, J., Montserrat, R. y Furió, C. (2007). El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 21, 91–117. <https://doi.org/10.7203/dces..2428>
- Solbes, J., Muñoz-Burbano, Z y Zambrano, G. (2019). Enseñanza de la estructura atómica de la materia en Colombia. *Revista Historia De La Educación Colombiana*, 22(22), 117–140. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rhec/article/view/4780>

- Solbes, J., Silvestre, V. y Furió, C. (2010). El desarrollo histórico de los modelos de átomo y enlace químico y sus implicaciones didácticas. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, (24), 83-105. <https://ojs.uv.es/index.php/dces/article/download/2402/1947>
- Solbes, J. y Sinarcas, V. (2009). Utilizando la historia de la ciencia en la enseñanza de los conceptos claves de la física cuántica. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, (23), 123-151 <https://doi.org/10.7203/dces.2404>
- Solbes, J. y Sinarcas, V. (2010). Una propuesta para la enseñanza aprendizaje de la física cuántica basada en la investigación en didáctica de las ciencias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 23(1-2), 57-84. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/7995>
- Solbes, J. y Traver, M. (2003). Against negative image of science: history of science in the physics & chemistry Education, *Science & Education*, 12, 703-717. <https://doi.org/10.1023/A:1025660420721>
- Sterling, S. (2001). *Sustainable education: Re-visioning learning and change*. Green Books. https://www.researchgate.net/publication/289505456_Sustainable_education
- Sterling, S. (2010). Learning for resilience, or the resilient learner? Towards a necessary reconciliation in a paradigm of sustainable education. *Environmental Education Research*, 16(5-6), 511-528. <https://doi.org/10.1080/13504622.2010.505427>
- Strnad, J. (1981). Quantum physics for beginners. *Physics Education*, 16, 88-92. <https://eric.ed.gov/?id=EJ247675>
- Styer, D. F. (1996). Common misconceptions regarding quantum mechanics. *American Journal of Physics*, 64(1), 31-34. <https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.18288>
- Talanquer, V. (2015). La importancia de la evaluación formativa. *Educación química*, 26(3), 177-179.
- Tardif, M. (2014). *Los saberes del docente y su desarrollo profesional*. Narcea Ediciones. <https://archive.org/details/tardif-m.-los-saberes-del-docente-y-su-desarrollo-profesional/page/7/mode/2up>
- Tilbury, D. (2011). *Education for sustainable development: An expert review of processes and learning*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000191442>

- Tipler, P. A. (2010). *Física*. Reverté.
https://www.academia.edu/45147942/F%C3%ADsica_Tipler_6a_Ed_Vol_1_TEMA_S_1_8
- Torres, N.Y. y Solbes, J. (2016). Contribuciones de una intervención didáctica usando cuestiones sociocientíficas para desarrollar el pensamiento crítico. *Enseñanza de las ciencias*, 34(2), 43-65. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1638>
- Traxler, J. (2009). Learning in a mobile age. *International Journal of Mobile and Blended Learning*, 1(1), 1-12.
https://www.researchgate.net/publication/372447949_Learning_In_Mobile_Age
- Tuzón, P. y Solbes, J. (2014). Análisis de la enseñanza de la estructura e interacciones de la materia según la física moderna en primero de bachillerato. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, (28), 175-195. <https://doi.org/10.7203/dces.28.3599>
- Tuzón P. y Solbes J. (2024) The use of embodiment to teach updated models of matter components and interactions in secondary school. *Physics Education* 59 045027
<https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad4c48>
- UNESCO. (2017). *Education for Sustainable Development Goals: Learning objectives*. UNESCO Publishing. <https://doi.org/10.54675/CGBA9153>
- UNESCO. (2021). *Mujeres en la educación superior: ¿la ventaja femenina ha puesto fin a las desigualdades de género?* <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377183>
- Valk, T., Driel, J. y Vos, W. (2007). Características comunes de los modelos en la práctica científica actual. *Res. Sci. Educ.* 37 469–88
- Van Driel, J. H., Verloop, N. & De Vos, W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 673-695.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199808\)35:6<673::AID-TEA5>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199808)35:6<673::AID-TEA5>3.0.CO;2-J)
- Van Driel, J. y Berry, A. (2012). Teacher professional development focusing on pedagogical content knowledge. *Educational Researcher*, 41(1), 26-28.
<https://doi.org/10.3102/0013189X11431010>
- Velarde, G. (2002). *Mecánica Cuántica*. McGraw-Hill

- Verdugo, J.J., Solaz, J.J. y Sanjosé, V. (2019). Evaluación del conocimiento científico en maestros en formación inicial: el caso de la comunidad valenciana. *Revista de Educación*, 383, 133-162. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2019-383-404>.
- Verdugo-Perona, J. J., Olmos, R., Solaz-Portolés, J. J. y Sanjosé-López, V. (2017a). Análisis estructural del conocimiento didáctico del contenido científico Escolar en futuros maestros de primaria. *Interciencia*, 42(7), 446-450. <https://www.redalyc.org/journal/339/33952188008/html/>
- Verdugo-Perona, J. J., Solaz-Portolés, J. J. y Sanjosé-López, V. (2017b). El conocimiento didáctico del contenido en ciencias: estado de la cuestión. *Cadernos de pesquisa*, 47, 586-611. <https://www.scielo.br/j/cp/a/ZhnZqF6jFZ9vwNMPFHtvLJh/?lang=es&format=pdf>
- Vergara, C. y Cofré, H. (2014). Conocimiento Pedagógico del Contenido: ¿el paradigma perdido en la formación inicial y continua de profesores en Chile? *Estudios pedagógicos (Valdivia)*, 40(ESPECIAL), 323-338. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07052014000200019
- Villaveces, J. L. (2001). La enseñanza de la estructura de los átomos y de las moléculas. *Tecné, Episteme y Didaxis: ted*, (9). <https://doi.org/10.17227/ted.num9-5628>
- Vygotsky, L. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Crítica.
- Walsh, C. (2009). *Interculturalidad crítica y educación intercultural*. <https://sermixe.org/wp-content/uploads/2020/08/Lectura10.pdf>
- Wattanakasiwich, P. (2005). *Model of understanding of probability in modern physics* (Doctoral dissertation, Oregon State University).
- Wieman, C. E., Adams, W. K. y Perkins, K. K. (2008). PhET: Simulations That Enhance Learning. *Science*, 322(5902), 682-683. https://www.researchgate.net/publication/23441908_Physics_PhET_Simulations_th_at_enhance_learning
- Wieman, C. y Perkins, K. (2005). *Transforming physics education*. *Physics Today*, 58(11), 36-41. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3306072>

- Wilson, S. y Wineburg, S. (1988). Peering at history through different lenses: The role of disciplinary perspectives in teaching history. *Teachers College Record*, 89(4), 525-539. <https://eric.ed.gov/?id=EJ378238>
- Wilson, S., Shulman, L. y Richert, A. (1987). 150 different ways' of knowing: Representations of knowledge in teaching. En *Exploring Teacher Thinking*, editado por James Calderhead. London: Cassell, 104-124. <https://www.bibsonomy.org/bibtex/2babcb3b63f310862d6ca77beca014768/clachapelle>
- Wineburg, S. (1991). Historical problem solving: A study of the cognitive processes used in the evaluation of documentary and pictorial evidence. *Journal of Educational Psychology*, 83(1), 73-87. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.83.1.73>
- Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y. & Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41-49.
- Zabalza, M. A. (2007). *Competencias docentes del profesorado universitario: Calidad y desarrollo profesional*. Narcea. <https://inscripcion.fmed.uba.ar/pdfs/efd/Competencias.pdf>
- Zubieta-García, J. y Marrero-Narváez, P. (2005). Participación de la mujer en la educación superior y la ciencia en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 2(1), 15-28. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722005000100002&lng=es&tlng=es.

Anexo A. Matriz de análisis y reflexión del estado del arte de la investigación

Selección de Resúmenes y Diligenciamiento de la Matriz (Heurística)

Número	Título del Artículo o Investigación	Año	País de la Investigación	Resumen	Comentario del Investigador	Referencia (Google Académico)
Asigna un número secuencial a cada artículo o investigación.	Escribe el título completo del documento	Indica el año de publicación	Especifica el país donde se llevó a cabo la investigación (en la escritura los organizamos por internacionales, nacionales y regionales)	Pega el resumen del artículo o investigación, asegurando de que sea conciso y representativo del contenido	Incluye tus observaciones o reflexiones sobre el artículo, destacando su relevancia y aportes a tu investigación (desde lo que estipula el resumen)	. Proporciona la referencia completa del documento, utilizando el formato adecuado (APA) para facilitar su localización.

Paso Revisamos a profundidad del contenido (hermeneútica)

Introducción	Metodología	Resultados	Conclusiones	Análisis crítico del investigador
Principales campos conceptuales que aborda	Enfoque e instrumento utilizado	Principales resultados (mencione tres)	Escriba la principal conclusión	Reflexión personal sobre el proceso de investigación y los hallazgos. Se abordan los campos conceptuales explorados, el enfoque e instrumento utilizado, y se mencionan tres resultados clave. Se expresa una opinión crítica sobre los hallazgos.

..

Anexo B. Programas de licenciatura en ciencias naturales

Universidades	Programa
Universidad de Antioquia (U1)	Licenciatura en Ciencias Naturales (LIC1)
Universidad del Cauca (U2)	Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental (LIC2)
Universidad de Córdoba (U3)	Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental (LIC3)
Universidad de Nariño (U4)	Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental (LIC4)
Universidad Surcolombiana (U5)	Licenciatura en Ciencias Naturales: Física, Química y Biología (LIC5)

Anexo C. carta de aval y consentimiento informado

Yo _____, mayor de edad, identificado/a con la cédula de ciudadanía no. _____ de _____, actuando como _____, libre, sin presiones indebidas declaro:
Que he recibido toda la información clara y concreta por parte de la investigadora: _____, sobre la investigación titulada: _____, en calidad de investigadora

Me han advertido que, en el desarrollo del proceso de investigación, en ningún momento se hará público los nombres y documentos de identificación de los participantes, salvaguardando la confidencialidad de la información suministrada y su privacidad, asimismo, no saldrá de dominio público hechos relacionados que puedan proporcionar información para la identificación de los sujetos, manifestando que se guardarán adecuadamente en todo el estudio todas las reservas y discrecionalidades correspondientes. Se me ha explicado y he comprendido satisfactoriamente la naturaleza y propósito de la investigación y las posibles implicaciones que podría tener, especialmente, el hecho de que no hay riesgo en su implementación. Adicional a lo anterior, he podido preguntar mis inquietudes al respecto y he recibido de manera satisfactoria las respuestas y explicaciones del caso; también, se me ha informado sobre el derecho de los sujetos y mío propio de participar voluntariamente en la investigación y la posibilidad de retirarme de la misma sin ningún tipo de consecuencia.

Se me ha informado que, en caso de dudas, explicaciones o similares de forma emergente o adicional de mi parte frente a la investigación, puedo comunicarme con la investigadora de la tesis – _____ estudiantes del doctorado en Ciencias de la Educación de la Universidad de Nariño- RUDECOLOMBIA y doctorado en investigación en didácticas específicas (ciencias experimentales) Universidad de Valencia.

He sido interrogado sobre la aceptación o no de esta autorización para el desarrollo en el caso de ser aceptado la mencionada investigación, es decir, de contar aval para su desarrollo, por esto, autorizo:

Para que la investigadora realice las diferentes tareas propias de la investigación, quien se comprometen a informar de los avances y resultados obtenidos, así como toda aquella información que de manera positiva o negativa pudiese influenciar tanto mi estado social o de salud como el de los sujetos de estudio.

En constancia, se firma el presente documento a los ____ del mes de julio del año ____

Firma quién autoriza _____

Firma investigadora _____