

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

**DOCTORADO EN INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICAS ESPECÍFICAS
(CIENCIAS EXPERIMENTALES)
UNIVERSITAT DE VALÈNCIA**



**ENSEÑANZA DE LA ESTRUCTURA ATÓMICA DE LA
MATERIA EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA EN COLOMBIA**

**Tesis doctoral
Zulman Estela Muñoz Burbano**

**DIRECTORES:
Dr. Jordi Solbes Matarredona
Dr. Germán Ramos Zambrano
Dr. Gustavo Marmolejo Avenía**

2020

Notas de la Autora

Zulman Estela Muñoz Burbano

VII Cohorte

Doctorado Ciencias de la Educación

RudeColombia - Universidad de Nariño

Doctorado en Investigación en Didácticas Específicas

Universitat de Valencia

Contacto: zulmamu0706@hotmail.com

*A Germán, Sofía y Germán...
por quienes soy, para quienes soy y en quienes me encuentro...*

Agradecimientos

A mi esposo y a mis hijos, por soportar mis ausencias, mis vacíos y temores, por comprender mis silencios y apoyar mi día.

A mis padres y hermanos: por estar siempre, aunque no les llame; por escucharme siempre, aunque nos les hable.

A la Doctora Gabriela Hernández Vega por su orientación y la calidez de su ejemplo.

Al doctor Jordi Solbes, por abrirme las puertas de su conocimiento y experiencia, por su tiempo e invaluable orientación.

Al doctor Germán Ramos, por compartir su saber con paciencia y dedicación.

Al Doctor Gustavo Marmolejo, por su dedicación y acertada dirección.

Al doctor Francisco Tarín, por su generosa colaboración en el tratamiento estadístico.

A directivos, docentes y estudiantes del Instituto Champagnat de Pasto.

A la Mg. Gloria Jurado (Rectora), docentes y estudiantes de la Institución Educativa Municipal Pedagógico.

A mis compañeros del doctorado, por permitirme crecer con su amistad y conocimiento, tendrán siempre mi admiración: Margoth, Janeth, William, Holman, Omar, Carlos, Edgar, Harold y Fredy.

A mis colegas, profesores y amigos que dedican su vida a enseñar química, física o ciencias naturales, nada más lindo y honorable que ser llamado maestro y entre ellos especialmente mil gracias a Ximena Jurado y Camilo Santander.

A mis amigos María Lorcy Rosero Mora, Alvaro Torres Mesias y María Teresa Alvarez

Tabla de Contenido

Introducción	10
1. Antecedentes de la Investigación: Tendencias en Investigación Didáctica en la Enseñanza de la Teoría Cuántica.....	14
1.1 Antecedentes de la Investigación Internacional.....	14
1.1.1 Pertinencia de la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia en la educación secundaria.	15
1.1.2 Propuestas de enseñanza de la Teoría Cuántica en la educación secundaria.....	17
1.1.3 Análisis de propuestas, dificultades y problemas en la enseñanza de la TC en la educación secundaria.....	24
1.2 Antecedentes de Investigación en Colombia	28
1.2.1 Trabajos en torno a estrategias de enseñanza de la TC en Colombia.	30
2. Problema de Investigación	38
2.1 Introducción de la Ciencia Moderna en la Enseñanza de las Ciencias Naturales en Colombia.....	38
2.1.1. Currículos desactualizados.	39
2.1.2. El problema de enseñanza de la estructura atómica de la materia.....	41
2.1.3. El problema de la formación de los docentes.....	43
3. Marco Teórico e Hipótesis	45
3.1 Enunciado de las Hipótesis	45
3.2 Fundamentación de las Hipótesis.....	45
3.2.1 Reflexión general sobre el marco teórico en el que se sitúa la investigación.	45
3.2.1. Enseñanza de la Estructura de la Materia.....	54
4. Diseño Experimental para Comprobar la Primera Hipótesis	71
4.1 Enfoque Metodológico	71
4.2 Diseño Experimental para contrastar la primera Hipótesis.....	73
4.2.1 Objetivos específicos Primera Hipótesis.	73
4.2.2 Análisis de legislación vigente en Colombia.....	73
4.2.3 Análisis de los libros de texto.....	74
4.2.4 Análisis de la enseñanza con profesores en ejercicio.....	83
4.2.5 Análisis de los conocimientos relacionados por los estudiantes de educación secundaria.....	90
5. Resultados para contrastar la Primera Hipótesis	96
5.1 Presentación y Análisis de los Resultados Obtenidos de Lineamientos Curriculares.....	96

5.1.1 Presentación y Análisis de los Resultados de los lineamientos curriculares.....	96
5.1.2 Presentación y Análisis de los Resultados Obtenidos de Estándares Básicos de Competencia.	100
5.1.3 Presentación y Análisis de los Resultados Obtenidos de los Derechos Básicos de Aprendizaje.....	103
5.2. Presentación y Análisis de los Resultados Obtenidos de los Libros de Texto (LT).	104
5.3 Presentación y Análisis de los Resultados Obtenidos para los Docentes	120
5.4 Segunda parte del Cuestionario a Docentes, Preguntas Abiertas.....	125
5.5 Presentación y Análisis de los Resultados Obtenidos con el Cuestionario de Alumnos .	140
6. Diseño Experimental para Contrastar la Segunda Hipótesis.....	151
6.1 Metodología de Investigación basada en el Diseño	151
7. Resultados para Contrastar la Segunda Hipótesis	206
7.1 Comparación de las puntuaciones obtenidas en los grupos pre-test y post-test. Prueba de la homogeneidad marginal	207
7.1.1 Tablas de contingencia.....	208
7.2 Comparación de las medias globales entre el pre-test y pos-test. Prueba de Wilconxon	217
7.2.1 Comparación de las puntuaciones globales de los grupos post-test tratado y control-post. Prueba U de Mann-Whitney.	217
7.2.2 Comparación de medias.....	218
7.2.3 Descripción detallada por categorías de cada ítem.....	219
7.2.4 Evaluación cualitativa de la Secuencia Didáctica	228
Conclusiones y Perspectivas	236
Referencias Bibliográficas	248
Anexos.....	275
Anexo 1. Listado de libros	276
Anexo 2. Rejilla de libros.....	278
Anexo 3. Instrumento profesores	280
Anexo 4. Instrumento Estudiantes	283
Anexo 5. Tablas Estadísticas.....	285

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema Marco teórico.	47
Figura 2. Sistema didáctico.	54
Figura 3. Diseño metodológico de la investigación.	72
Figura 4. Muestra Estudiantes.	91
Figura 5. Modelo planetario de Bohr.	113
Figura 6. Explicación Principio de Incertidumbre.	116
Figura 7. Giro del electrón.	119
Figura 8. Dibujo del átomo 1.	147
Figura 9. Dibujo del átomo 2.	147
Figura 10. Dibujo del átomo 3.	148
Figura 11. Dibujo del átomo 4.	148
Figura 12. Dibujo del átomo 5.	149
Figura 13. Dibujo del átomo 6.	149
Figura 14. Metodología DBR.	154
Figura 15. Panorama de la Institución Educativa Municipal Pedagógico.	155
Figura 16. Instalaciones del laboratorio de química.	156
Figura 17. Panorama Instituto Champagnat.	157
Figura 18. Estructura de la Secuencia desde lo conceptual.	159
Figura 19. Elemento decorativo e informativo del aula sobre el átomo.	160
Figura 20. Estudiante Personifica a Madame Curie.	163
Figura 21. Objetos ondulatorios y corpusculares.	163
Figura 22. Material para trabajar ondas.	164
Figura 23. Práctica. Espectómetro Casero.	165
Figura 24. Personificación de Madame Curie.	166
Figura 25. Meme elaborado por estudiantes que desarrollaron la UD.	168
Figura 26. Esquema para la planeación de cada una de las sesiones de trabajo.	171
Figura 27. Registro en Diario Observador de una de las Sesiones de la UD.	172
Figura 28. Representación de las medias del grupo control, pre-test y post-test.	219
Figura 29. Participación de estudiante en reflexión.	234
Figura 30. Nota escrita por una estudiante.	235

Lista de Tablas

Tabla 1. Muestra.....	84
Tabla 2. Rango de experiencia docente.....	84
Tabla 3. Alfa de Cronbach	92
Tabla 4. Resultado ítem 1.....	105
Tabla 5. Resultado ítem 2 y 3.....	106
Tabla 6. Resultado ítem 4 y 5.....	106
Tabla 7. Resultado ítem 5 y 7 de Libros de Texto	108
Tabla 8.Resultado ítem 8 de Libros de texto.....	109
Tabla 9. Resultado ítem 9 de Libros de texto.....	109
Tabla 10. Resultado ítem 10 de Libros de texto.....	110
Tabla 11. Resultado ítem 11de Libros de texto.....	110
Tabla 12. Resultado ítem 12 de Libros de texto.....	111
Tabla 13. Resultado ítem 13 de Libros de texto.....	111
Tabla 14. Resultado ítem 14 de Libros de texto.....	112
Tabla 15. Resultado ítem 15 de Libros de texto.....	112
Tabla 16. Resultado ítem 16 de Libros de texto.....	114
Tabla 17. Resultado ítem 17 de Libros de texto.....	114
Tabla 18. Resultado ítem 18 de Libros de texto.....	115
Tabla 19. Resultado ítem 19 de Libros de texto.....	115
Tabla 20. Resultado ítem 20 de Libros de texto.....	117
Tabla 21.Resultado ítem 21 de Libros de texto.....	117
Tabla 22. Resultado ítem 22 de Libros de texto.....	118
Tabla 23. Resultado ítem 23 de Libros de texto.....	118
Tabla 24.Resultado ítem 24 de Libros de texto.....	119
Tabla 25.Resultado ítem 25 de Libros de texto.....	119
Tabla 26. Distribución según formación docente.....	121
Tabla 27. Resultados de docentes de los 4 primeros ítems de Docentes	122
Tabla 28. Resultados de docente. Ítem 5.....	123
Tabla 29. Resultados de docentes. Ítem 6.	123
Tabla 30. Resultados de docente. Ítem 7.....	124
Tabla 31. Resultados de docente. Ítem 8.....	124
Tabla 32. Resultados de docente. Ítem 9.....	124
Tabla 33.Resultados de docente. Ítem 1, segunda parte.....	125
Tabla 34.Resultados de docente. Ítem 2, segunda parte.....	126
Tabla 35.Resultados de docente. Ítem 3, segunda parte.....	127
Tabla 36.Resultados de docente. Ítem 4, segunda parte.....	128
Tabla 37.Resultados de docente. Ítem 5, segunda parte.....	130
Tabla 38.Resultados de docente. Ítem 6, segunda parte.....	131
Tabla 39.Resultados de docente. Ítem 7, segunda parte.....	133
Tabla 40. Resultados de docente. Ítem 8, segunda parte.....	134
Tabla 41. Resultados de docente. Ítem 9, segunda parte.....	135
Tabla 42. Resultados de docente. Ítem 10, segunda parte.....	137
Tabla 43. Resultados de estudiantes del ítem 1.....	141

Tabla 44. Resultados de estudiantes del ítem 2.....	141
Tabla 45. Resultados de estudiantes del ítem 3.....	142
Tabla 46. Resultados de estudiantes del ítem 4.....	143
Tabla 47. Resultados de estudiantes del ítem 5.....	143
Tabla 48. Resultados de estudiantes del ítem 6.....	144
Tabla 49. Resultados de estudiantes del ítem 7.....	144
Tabla 50. Resultados de estudiantes del ítem 8.....	145
Tabla 51. Resultados de estudiantes del ítem 9.....	145
Tabla 52. Resultados de estudiantes del ítem 10.....	146
Tabla 53. Resultados de estudiantes del ítem 11.....	146
Tabla 54. Resultados de estudiantes del ítem 12.....	147
Tabla 55. Estructura de la planificación de la Unidad por sesiones.....	169
Tabla 56. Prueba de homogeneidad marginal.....	207
Tabla 57. Tabla de contingencia para el ítem No. 1.....	209
Tabla 58. Tabla de contingencia para el ítem No. 2.....	209
Tabla 59. Tabla de contingencia para el ítem No. 3.....	210
Tabla 60. Tabla de contingencia para el ítem No. 6.....	211
Tabla 61. Tabla de contingencia para el ítem No. 5.....	211
Tabla 62. Tabla de contingencia para el ítem No. 6.....	212
Tabla 63. Tabla de contingencia para el ítem No. 7.....	213
Tabla 64. Tabla de contingencia para el ítem No. 8.....	213
Tabla 65. Tabla de contingencia para el ítem No. 9.....	214
Tabla 66. Tabla de contingencia para el ítem No. 10.....	215
Tabla 67. Tabla de contingencia para el ítem No. 12.....	216
Tabla 68. Resultados obtenidos Ítem No.1. Comparación pre-test y post-test.....	220
Tabla 69. Resultados obtenidos Ítem No. 2. Comparación pre-test y post-test.....	220
Tabla 70. Resultados obtenidos Ítem No. 3. Comparación pre-test y post-test.....	221
Tabla 71. Resultados obtenidos Ítem No. 4. Comparación pre-test y post-test.....	222
Tabla 72. Resultados obtenidos Ítem No.5. Comparación pre-test y post-test.....	223
Tabla 73. Resultados obtenidos Ítem No.6. Comparación pre-test y post-test.....	224
Tabla 74. Resultados obtenidos Ítem No.7. Comparación pre-test y post-test.....	224
Tabla 75. Resultados obtenidos Ítem No.8. Comparación pre-test y post-test.....	225
Tabla 76. Resultados obtenidos Ítem No.9. Comparación pre-test y post-test.....	226
Tabla 77. Resultados obtenidos Ítem No.10. Comparación pre-test y post-test.....	226
Tabla 78. Resultados obtenidos Ítem No.11. Comparación pre-test y post-test.....	227
Tabla 79. Resultados obtenidos Ítem No.12. Comparación pre-test y post-test.....	228

Introducción

Las ciencias naturales: química, física o biología; no pueden ser las mismas que se enseñan desde hace un siglo; sus currículos deberían incluir ideas y conceptos propios de física y química modernas (Michellini, Ragazzon, Santi y Stefanel, 2000; Olsen, 2002, Pereira, Cavalcanti, Pessoa y Ostermann, 2012, Sinarcas y Solbes, 2013). De esta perspectiva, se considera necesario realizar un estudio de la enseñanza de la Teoría Cuántica (TC) como un campo que pertenece a la física moderna, articulado a la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia (EAM), en la asignatura de química.

Este documento, sintetiza la investigación que tiene como objetivo analizar la enseñanza de la Estructura de la Materia en la educación secundaria en Colombia. En el primer capítulo se describen los antecedentes de investigación, que permiten configurar la necesidad y pertinencia de incluir la enseñanza de teoría cuántica en la educación secundaria, se presenta una línea de investigación fuerte a nivel internacional, contrapuesta a una tendencia de investigación en Colombia, que en comparación con otros países de Latinoamérica, como Brasil, Argentina, se considera necesario fortalecer.

En el segundo capítulo, se describe el problema de investigación, sustentando que en Colombia en la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia existen omisiones teóricas: no se toma como eje conceptual a la Teoría Cuántica, configurando currículos desactualizados y con errores conceptuales. Desde esta perspectiva, la investigación pretende responder las siguientes preguntas: ¿Cómo se enseñan los conceptos básicos de la Estructura Atómica de la Materia en la educación secundaria en Colombia?, ¿qué dificultades produce esta enseñanza en los estudiantes?, ¿la aplicación de una secuencia de enseñanza que articule la Teoría Cuántica y los avances de la investigación didáctica permite superar algunas de las dificultades conceptuales evidenciadas en la enseñanza de la EAM?

Para resolver estos interrogantes, en el tercer capítulo, se plantea como primera hipótesis: se trata de una enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia en la educación secundaria colombiana descriptiva, escasa y formalista, que no tiene en cuenta la Teoría Cuántica y que, en consecuencia, producirá errores en el aprendizaje de dichos conceptos a los estudiantes. Entendemos una enseñanza descriptiva, como aquella que solo hace una

narración cronológica de los modelos atómicos; escasa, aquella que sencillamente alcanza al átomo de Bohr y que omite la fundamentación cuántica y formalista aquella que se centra en las ecuaciones, problemas numéricos, específicamente el formalismo matemático.

La segunda hipótesis plantea: si se diseña, se implementa y evalúa una secuencia para la enseñanza de la estructura atómica de la materia, que articule el enfoque conceptual de la teoría cuántica y que considere en su diseño los avances de la investigación didáctica, entonces, se pueden ayudar a superar algunas dificultades conceptuales de los estudiantes de educación secundaria.

En el referente teórico que orienta el desarrollo de la investigación, se asume como un escenario teórico, conceptual e interpretativo tanto para la recolección y análisis de información como para el diseño de la intervención: el constructivismo social y los aportes de la teoría de la trasposición didáctica de Chevallard (1998). Estos son referentes teóricos que se han asumido de manera flexible y complementaria, permiten orientar la toma de datos y la toma de decisiones frente a esos datos.

En el capítulo cuarto, se presenta el diseño metodológico implementado para el desarrollo de la investigación, se describe de manera integrada al diseño experimental para cada hipótesis. Se asume la concepción de investigación educativa en dos fases fundamentales. La primera fase de caracterización de la enseñanza de la estructura de la materia. La segunda fase, constituye el proceso de diseño, desarrollo y evaluación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje. Teniendo en cuenta la estructura en dos fases, es necesario que la investigación tenga una cierta libertad metodológica con la finalidad ampliar, optimizar y perfeccionar la actividad investigadora (Bisquerra, 2004). Con esta base, se estipula la metodología cuasi-experimental, además de técnicas de análisis cualitativo.

Los objetivos específicos correspondientes a cada una de las hipótesis de investigación, guían el proceso metodológico hacia la confrontación de cada una de ellas. En el capítulo cuarto, la primera hipótesis, presenta como objetivo: caracterizar la enseñanza de la estructura atómica de la materia. Para lo cual, se realizó el análisis de lineamientos y estándares curriculares vigentes en Colombia, análisis de libros de texto de química que contengan como unidad de contenido “La estructura atómica de la materia” para grado décimo de educación media en Colombia, cuestionarios y entrevistas a docentes y a estudiantes de grado décimo dentro de la asignatura de química.

En el quinto capítulo, se presentan los resultados correspondientes a la primera hipótesis, describen cómo los lineamientos curriculares, estándares básicos de competencia y

Derechos Básicos de Aprendizaje, si bien especifican normas generales que orientan la enseñanza de diversas teorías, no señalan específicamente enseñanza de la Teoría Cuántica en Colombia. En los libros de texto existen errores conceptuales. Con respecto a los resultados obtenidos con los cuestionarios a docentes, se presenta evidencia de que los docentes entrevistados, no toman en cuenta la Teoría Cuántica en la enseñanza de la estructura de la materia, así como presentan confusiones en nociones básicas de esta Teoría. Finalmente, con respecto a los estudiantes, los resultados corroboran que, en la enseñanza no se asume la Teoría Cuántica, pues los estudiantes no relacionan conceptos y nociones de esta teoría.

El diseño experimental para la segunda hipótesis se describe en el capítulo seis. Se desarrolla desde la metodología de diseño (*design-based methodology*), a partir de la que se configuró una unidad enseñanza desde la base conceptual de la Teoría Cuántica, la investigación didáctica y la historia de las ciencias. Para ello, y con base en los resultados obtenidos de la primera fase, se estructura la propuesta que consta de tres corredores conceptuales fundamentales: la divisibilidad de lo indivisible; más que una crisis y un nuevo átomo, una nueva ciencia.

En el capítulo siete, se presentan los resultados obtenidos con respecto a la implementación y evaluación de la propuesta. La Unidad desarrollada con seis grupos de estudiantes de educación básica secundaria, pertenecientes a dos instituciones, una de carácter público y otra de carácter privado, se evalúa en dos momentos: un primer momento de análisis cuantitativo desarrollado con el paquete estadístico SPSS, en el que básicamente se compara los resultados obtenidos en el pre-test y los resultados obtenidos con los grupos después de la intervención en el post-test. Un segundo momento de evaluación cualitativa, realizada con entrevistas cortas a docentes y estudiantes. Estos resultados permiten confrontar la segunda hipótesis. Además, permitirán cambios estadísticamente significativos en los aprendizajes de los estudiantes. Cuestión que posibilita salvar los problemas conceptuales derivados de la enseñanza de la estructura de la materia sin la base conceptual de la Teoría Cuántica.

Finalmente, en el presente informe se encuentran las conclusiones y perspectivas de la investigación. En este apartado se afirma, describe y justifica de forma sintética que las dos hipótesis asumidas en la investigación fueron contrastadas. La enseñanza de la estructura atómica de la materia en Colombia es escasa, formalista y no toma en cuenta la Teoría Cuántica. La secuencia diseñada, se constituye en un recurso tanto para docentes como para estudiantes, que permite superar las dificultades descritas.

En cuanto a las perspectivas que vislumbra esta investigación, se plantea la necesidad de configurar en Colombia una línea de investigación sobre la enseñanza de la teoría cuántica en la educación secundaria. Las preguntas de investigación que se abordarán desde esta línea de investigación aportarán elementos de reflexión para la actualización de los currículos, los libros de texto y las prácticas de enseñanza.

1. Antecedentes de la Investigación: Tendencias en Investigación Didáctica en la Enseñanza de la Teoría Cuántica

En este capítulo se describen los antecedentes de la investigación sobre enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia. De esta manera, se pretende contextualizar el problema de investigación objeto de estudio, puntualizar los frentes de análisis que se contemplan en la literatura especializada y establecer las carencias de investigación que se presentan en el problema estudiado. Todo lo anterior, aportó elementos que permitieron asumir una postura crítica frente a la investigación (Londoño, Maldonado y Calderón, 2014) en la enseñanza de la TC en la educación secundaria.

Esta revisión entra en el contexto del análisis documental (Barbosa, Barbosa y Rodríguez, 2013), siguiendo para ello esta metodología, determinada en dos pasos: un primero paso heurístico, de búsqueda de los documentos, selección de los mismos, clasificación. Para la selección de los documentos, en primer lugar, se delimitó el tema: Enseñanza de la Teoría Cuántica en la educación secundaria, tanto en el plano de la enseñanza de la Física como de la Química y, en segundo lugar, se seleccionaron artículos científicos disponibles en revistas científicas de acceso libre y repositorios de Universidades que permitan el acceso.

El segundo paso, denominado hermeneútico, corresponde a un proceso de análisis, interpretación y categorización de la información. En este paso, las investigaciones analizadas y referenciadas se presentan en dos grandes parámetros: investigaciones en el contexto internacional y en el contexto nacional.

1.1 Antecedentes de la Investigación Internacional

La revisión bibliográfica realizada permite reconocer que en la enseñanza de la TC, a nivel internacional existen varios grupos de investigación que se ocupan de este tema, con una producción importante que permite realizar una categorización de dicha producción. La categorización de las investigaciones se ha planteado en tres grandes líneas, que se deducen de un marco general de la producción académica analizada: en la primera, se destacan los trabajos que afirman la pertinencia y posibilidad didáctica de introducir la TC en la enseñanza secundaria; la segunda línea, por su parte, se relaciona con propuestas de enseñanza. Finalmente, en la tercera línea, se consideran los estudios que evidencian dificultades en la

enseñanza de la TC.

La búsqueda se realizó en revistas especializadas en enseñanza de las ciencias y repositorios de algunas universidades, el número de artículos revisados dependió del acceso a dichas revistas, por tanto, no se pretende abarcar la totalidad de artículos publicados; se tomaron trabajos publicados a partir del año 2000, sin embargo, por la naturaleza de la primera línea y con el fin de apoyar la idea de que la investigación didáctica sobre la enseñanza de la TC lleva ya una tradición de más de 30 años, se tomó artículos desde 1980 para esta línea en específico.

1.1.1 Pertinencia de la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia en la educación secundaria.

En una primera línea se describen los artículos que enfatizan en la necesidad y pertinencia de enseñar Teoría Cuántica en la educación secundaria. Es necesario partir de que, en principio, en la comunidad académica se generó un debate sobre la enseñanza de esta teoría en la secundaria. Los primeros aportes a favor de su enseñanza surgen en Estados Unidos, con trabajos como los de Haber-Schaim (1975); en el Reino Unido, Ogborn (1981), Lijnse (1981); en Hungría, Marx (1981); en Francia, Balibar y Lévy-Leblond (1984); en Italia, Fabri (1981); en Japón, Konuma (1988); en Alemania Fischler y Lichtfedtl (1992) y en España, Gil, Senent y Solbes (1986^a, 1989), Solbes, Calatayud, Climent y Navarro (1987a). En estos artículos, se plantean bases epistemológicas y didácticas, la necesidad de abordar esta temática en el contexto de la educación secundaria actual.

En esta perspectiva, en latinoamérica Jaime Klapp (1988), de la Universidad Autónoma Metropolitana de Iztapalapa e Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares de México, analizó el problema de la enseñanza de la Física Moderna. Este trabajo constituye uno de los trabajos pioneros en Latinoamérica, en que plantea la necesidad de su inserción en la educación secundaria. Trabajos recientes que enfatizan en la pertinencia de la enseñanza de la teoría cuántica en la educación secundaria y especifican propuestas de enseñanza son: Michelini, Ragazzon, Santi, y Stefanel, (2000), en el que, además, señala que la enseñanza sobre la formulación de Dirac de la Teoría Cuántica puede prescindir de la rigurosidad matemática adjudicada a este tema. Olsen (2002) trabaja la enseñanza de la dualidad onda partícula en estudiantes noruegos, aunque precisan que este tema ha sido controversial, ya que se ha considerado innecesario en la educación secundaria.

En Lobato y Greca (2005), las autoras aducen que el desarrollo científico y tecnológico del siglo XX no acompaña los aprendizajes en la escuela secundaria, analizan los contenidos de la Teoría Cuántica en los currículos de Portugal, Canadá, España, Francia, Reino Unido (Inglaterra y País de Gales), Dinamarca, Suecia, Australia, Italia y Finlandia. Concluyen que los temas de TC se abordan por la vía tradicional, que utiliza la historia para su enseñanza en Portugal, España, Italia y Finlandia; en Reino Unido se opta por la propuesta de Feynman; por su parte, en los currículos de Dinamarca, Suecia, Canadá y Australia se articula el trabajo desde la experimentación, la modelación teórica y componente de ciencia - tecnología y sociedad.

En la tesis doctoral de Paulo (2006), se aborda el tema desde la interpretación de Copenhague, en que se especifica la pertinencia de abordar el tema en la educación secundaria, y en la de Fanaro (2009), se analiza el problema de la inserción de temas de TC en la educación secundaria argentina. Este trabajo sirve de base para otras publicaciones, que enfatizan en la pertinencia y posibilidad de incluir estos temas, y se genera una línea de propuestas para la enseñanza desde la perspectiva de los caminos múltiples de Feynman.

En el mismo sentido, el texto de Oliveira, Vianna y Gerbassi (2007), enfatiza en cómo los currículos obsoletos, descontextualizados y desactualizados constituyen un problema tanto para profesores como para estudiantes; su trabajo versa sobre cómo introducir tópicos de Física Moderna y como ésta aporta para cerrar la brecha entre los avances tecnológicos y científicos con respecto a las aulas de ciencias.

Investigaciones más recientes que retoman la necesidad de enseñar TC a partir de la educación secundaria son: Fernández, González y Solbes (2005); Pena, (2006), Savall (2015); Tuzón y Solbes (2014, 2016); Martínez, Savall, Doménech, Rey y Rosa (2016). Las investigaciones referenciadas destacan que la complejidad matemática que subyace a este tema no es un óbice para su enseñanza y que, por el contrario, es importante el quiebre epistemológico que implica la teoría, frente a la ciencia clásica. Los trabajos referenciados también evidencian cuales son países que llevan una tradición de enseñanza de estos tópicos, así como de investigación en dicho campo.

Para acentuar la conclusión sobre la pertinencia, necesidad y posibilidad de la enseñanza de la Teoría Cuántica, es necesario referenciar el trabajo realizado desde algunas universidades, cuya producción ha influido la investigación en este campo en América Latina. Es el caso del grupo de la Universidad de Valencia, inicialmente dirigido por Daniel Gil y hoy liderado por Jordi Solbes, grupo que continúa trabajando en la enseñanza de la Física

Moderna en la educación secundaria, tiene una tradición de más de treinta años.

En Brasil, a través de los trabajos desarrollados por Marco A. Moreira, Fernanda Ostermann y colaboradores en la Universidad Federal do Rio Grande do Sul. En Argentina, en la Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires y la Universidad de Córdoba, se han generado contribuciones significativas, no solo con respecto a la pertinencia de la enseñanza de la Teoría Cuántica, sino con respecto a propuestas didácticas que permiten su inclusión en esta etapa de la educación en ciencias.

Esta sucinta presentación permite concluir que, desde hace ya varias décadas, existe un consenso sobre la pertinencia y necesidad que en la Educación Secundaria se enseñen tópicos de TC.

1.1.2 Propuestas de enseñanza de la Teoría Cuántica en la educación secundaria.

Una vez justificada la pertinencia, es necesario establecer un segundo grupo de investigaciones relacionadas con la enseñanza de la Teoría Cuántica en la educación secundaria. Esta es la línea de propuestas de enseñanza, en que se agrupan las investigaciones y reflexiones que, desde diversos enfoques, buscan activar la enseñanza de esta temática. Para su reseña se abren tres categorías: histórico-epistemológicas, experimentales y un enfoque teórico-conceptual.

Propuestas histórico – epistemológicas.

En el primer campo se agrupan las propuestas, que toman como eje fundamental la Historia de las Ciencias y su contribución a la didáctica. También se contemplan las propuestas que enfatizan en la necesidad de abordar el carácter contra intuitivo de la Teoría, el quiebre epistemológico que representa y las diferencias epistemológicas entre la física clásica y la Teoría Cuántica.

Teniendo en cuenta lo anterior, se destacan las investigaciones de Jordi Solbes, quien moviliza la investigación en la enseñanza de la Física Moderna en la educación secundaria. Desde los primeros trabajos de Solbes, se evidencia la tendencia hacia la utilización de la historia de las ciencias. Además, Solbes enfatiza la necesidad de marcar el contraste entre física clásica y física moderna, alcances y límites de la física clásica, así como las diferencias

epistemológicas con la Teoría Cuántica (Solbes, 1990; Gil y Solbes, 1993; Solbes y Traver, 1996, Solbes y Sinarcas, 2009).

Por ejemplo, en Gil, Senent y Solbes (1986b), se presenta un análisis crítico de la introducción de la Física Moderna en la enseñanza secundaria; concluye que tanto el profesorado como los libros de texto generan una enseñanza desestructurada con errores conceptuales de la Física Moderna, sin plantear su ruptura con la física clásica. En cuenta a Solbes (1990), plantea la inconveniencia de iniciar la enseñanza con la teoría de Planck, por “su dificultad didáctica” y porque éste no concibe $h\nu$ como un cuanto de radiación electromagnética. Esta posición se percibe en trabajos posteriores, como es el caso de los realizados con Sinarcas (2010, 2013).

Otras propuestas que asumen como eje la historia y epistemología son: Solbes, Silvestre y Furio (2010), ellas describen el desarrollo histórico de los modelos del átomo y el enlace químico, con sus implicaciones didácticas. En Solbes y Sinarcas (2010), por su parte, se presenta una propuesta basada en la investigación didáctica. En estos trabajos la conclusión predominante es el papel fundamental de la historia de las ciencias en el desarrollo didáctico.

En la línea de historia y epistemología se puede incluir, también, el trabajo realizado por Hadzidaki (2008), quien presenta un curso que busca mejorar la comprensión de los estudiantes acerca de varios de los temas de la TC; se parte de un análisis epistemológico y la exploración de los caminos de raciocinio y pensamiento que originaron la TC. En Savall, Domenech, Martínez (2013b), se presenta una investigación desde la historia de las ciencias, a la que le confieren una intencionalidad didáctica, alrededor de la introducción del concepto del fotón en bachillerato; lo hacen a partir del análisis de libros de texto.

En Latinoamérica, Greca y Moreira (2004) proponen un enfoque basado en la discusión de algunos tópicos particulares, es el caso de la superposición de estados y la dualidad de los objetos cuánticos. Los autores llaman la atención sobre los riesgos de una narración cuasi-histórica tradicional de la física cuántica, sin un quiebre respecto a la física clásica, y advierten que las concepciones previas pueden tanto facilitar el aprendizaje como obstaculizarlo. Por otra parte, Morais y Guerra (2013) presentan una secuencia que aborda el tema de energía relativista. Las conclusiones de este trabajo permiten establecer que, la historia y las discusiones epistemológicas son un buen hilo conductor para introducir temas de física moderna y contemporánea en la enseñanza secundaria.

Cambra y Lorenzo (2018), toman como estrategia didáctica el cine, específicamente la película *Copenhagen* y cómo desde la narrativa cinematográfica, se ofrece un análisis

renovado de la actividad científica, que de acuerdo con los autores abre nuevas posibilidades para el pensamiento y enseñanza de las ciencias. Otros estudios en esta línea son los de Talero (2009), Domenech, Martínez. y Savall (2013), Solbes (2014), Moreira y Massoni (2009), Henriksen, Bungum, Angell, Tellefsen, Frågåt y Vetleseter (2014); Céspedes (2016); Daboin (2015), quienes consideran relevante el trabajo desde el componente matemático hacia la formación de un pensamiento cuántico.

Una conclusión que se infiere de las investigaciones referenciadas, es la contibución de la historia y la epistemología de la ciencia a la didáctica de la Teoría Cuántica, así como en la necesidad de enfatizar en el quiebre epistemológico que subyace a la TC.

Propuestas desde situaciones experimentales y herramientas computacionales.

En esta segunda categoría, se agrupan las propuestas de enseñanza que parten de situaciones experimentales, la inclusión de simuladores, *softwares* y otras herramientas computacionales. En estas propuestas, no solo se vincula el proceso experimental, sino los aspectos conceptuales e incluso epistemológicos.

Por ejemplo: Ke, Monk, y Duschl (2005) realizan un estudio transversal sobre la comprensión de los estudiantes de física taiwaneses respecto a fenómenos subatómicos que se explican por la mecánica cuántica. La principal recomendación para la enseñanza de la TC radica en la necesidad de incluir actividades prácticas en una variedad de fenómenos precursores, para ampliar el repertorio de modelos mentales de los estudiantes.

En Brasil, en esta categoría se encuentran varios trabajos relacionados con el fenómeno de interferencia en el interferómetro de Mach-Zehnder. Fenómeno análogo al experimento de la doble rendija. En Ostermann y Ricci (2005), la propuesta para trabajar con profesores está centrada en el uso de experimentos virtuales y en Ostermann, Prado y Ricci (2006), se plantea una propuesta con un *software* libre, tipo “bancada virtual”, que simula el fenómeno de interferencia en el interferómetro de Mach-Zehnder. De acuerdo con los autores, el experimento es uno de los procesos cruciales para el entendimiento de conceptos fundamentales en física cuántica. Desde esta línea se derivan muchas investigaciones y artículos entre los que se destacan:

En Betz, Lima y Mussatt (2009), se presenta un recurso electrónico para la enseñanza de la dualidad de los objetos cuánticos; se toma el interferómetro de Mach-Zehnder como ilustración; trabaja con objetos de aprendizaje al tomar como elemento central una animación

interactiva, con el apoyo de textos auxiliares que presentan el formalismo matemático, el desarrollo histórico epistemológico y experimental del concepto.

El artículo de Silva, Cavalcanti y Ostermann (2015) presenta los resultados parciales de una investigación doctoral, que aborda las estrategias discursivas adoptadas por profesores en formación en la comprensión de conceptos fundamentales de física cuántica en actividades didácticas mediadas por el *software* del interferómetro Virtual de Mach Zehnder. En este mismo sentido, Telichevesky (2015), presenta el desarrollo, implementación y evaluación de un curso de física cuántica dirigido a estudiantes de secundaria. El curso está inspirado en las propuestas de Pessoa (1997, 2003) e introduce la física cuántica al considerar a la óptica de ondas como un contexto para incluir algunas analogías conceptuales básicas a los conceptos fundamentales cuánticos.

Igualmente, en Machado y Nardi (2007), se presenta una propuesta basada en un sistema hipertexto; la investigación incluyó la producción y validación de un *software* que simula algunos fenómenos nucleares, con un marco teórico fundamentado en Ausubel. Concluye que el uso de la computadora fue factor de motivación de los estudiantes; la diversidad de elementos de medios les ayudó a fijar la atención sobre el contenido y favoreció la visualización e interpretación de los fenómenos. Sales, Vasconcelos, Castro y Pequeno (2008) presentan los resultados de una investigación en que se utiliza objetos de aprendizaje (OA), basados en el uso de ambientes computacionales como recurso auxiliar del aprendizaje y al tomar como referente la teoría cognitivista de Ausubel. El desarrollo de la secuencia tiene como objetivo facilitar la comprensión del efecto fotoeléctrico y el cálculo de la constante de Planck, mediante la manipulación del recurso denominado “pato cuántico”. Los resultados establecen que efectivamente los estudiantes lograron realizar las actividades con mínimos errores.

Desde otra perspectiva, Melhorato y Nicole (2012) describen en detalle la construcción y montaje de un experimento, con el que los autores plantean que, es posible demostrar conceptos de cuantización de energía, modelo corpuscular de la luz, conducción de electricidad en sólidos. El artículo plantea que se logra motivar e interesar a los alumnos hacia la investigación científica y la posibilidad de contextualizar la enseñanza de la Teoría Cuántica en aspectos cotidianos.

En el trabajo de Savall, Domènech, Martínez Torregrosa, Rey y Rosa (2016), se presenta una propuesta didáctica basada en el modelo de enseñanza problematizadora. Se establece como una propuesta mixta, ya que vincula el componente de historia pero las

situaciones problémicas discurren a partir de situaciones experimentales de fácil construcción en la escuela, como lo es una rejilla de difracción. Este artículo es una profundización a la unidad completa, que se presenta en Savall, Domènech y Martínez (2015); al respecto, es necesario mencionar que Savall y colaboradores presentan trabajos similares en torno a la enseñanza de los espectros atómicos y la introducción del concepto de fotón (2013a, 2013b, 2014).

Otras investigaciones en esta línea son las realizadas por Müller y Wiesner (2000), Fernández, Morales y Ballesteros (2007); Muller (2008); Materán, Daboín, Reverol, Villarreal y Lobo (2013); López (2014); Monroy (2012); Savall, Domènech y Martínez (2014); Elgue (2015); Fanaro, Elgue y Otero (2015); Faúndez, Rojas, Pinto y Astudillo (2015) y Fanaro, Otero y Elgue (2016), Grosman, Braga, y Huguenin, (2019).

De esta segunda categoría, se concluye que no es necesario un montaje experimental elaborado para la enseñanza de la Teoría Cuántica; por el contrario, los montajes sencillos, los simuladores, y otras herramientas informáticas, permiten trabajar conceptos y movilizan el interés de los estudiantes; no siempre resulta necesaria la conexión a Internet y los estudiantes se sienten a gusto al trabajar; pero, es necesario reconocer que se requiere de un compromiso y capacitación por parte de los docentes para buscar los recursos necesarios para el desarrollo de las propuestas.

Propuestas de corte teórico-conceptual.

En esta tercera categoría se inscriben las propuestas de corte conceptual, teórico o con un enfoque preferiblemente matemático. Dentro de estos trabajos se presenta las contribuciones que se ha hecho desde el grupo de investigación de la Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Unicen), que trabajan sobre conceptos claves de la TC, como: superposición, comportamiento cuántico de los electrones, dualidad de los objetos cuánticos; su trabajo se basa en los conceptos de la formulación de integrales de camino desarrollada por Feynman, es una herramienta de cálculo, con un corte epistemológico. Este grupo de investigación toma como referente la Teoría de los Campos Conceptuales (TCC) de Vergnaud, por lo que su enfoque es conceptual.

Dentro de este grupo de investigación, se inscriben los trabajos que, desde la TCC, analiza la conceptualización de un sistema cuántico; critica la enseñanza desde un enfoque histórico, que recorre las anomalías clásicas de la TC. Por su parte, María de los Ángeles

Fanaro y colaboradores presentan una serie de propuestas para abordar la enseñanza de conceptos fundamentales de la TC en la escuela media, relacionadas con el enfoque de la Mecánica Cuántica de Feynman «*Path Integrals*», o «camino múltiples»; este es un enfoque alternativo y complementario al tradicional, que prescinde del enfoque histórico habitual (Arlego, 2008; Fanaro, 2009; Fanaro, Otero y Arlego, 2006; 2007a, b, c; 2008; 2009). Los trabajos concluyen que las aplicaciones de estos métodos favorecen una adecuada conceptualización de la temática; se entiende la conceptualización como un proceso cognitivo, en los términos de la TCC.

Este grupo abre otra posibilidad de enseñanza, en la que se plantea cómo introducir elementos de Mecánica Cuántica a través del estudio de la luz, igualmente, desde el enfoque de Feynman. Se utiliza un marco geométrico-vectorial; busca enfatizar el carácter probabilístico en el comportamiento de la luz y los principios de superposición lineal y de correspondencia, por lo que no es necesario referirse a los fotones (Arlego, Fanaro y Otero, 2012; Fanaro y Otero y Elgue, 2014; Fanaro, Arlego y Otero, 2014; Fanaro, Otero y Elgue, 2016). Además, en el libro *Enseñanza por Investigación en Física. Aspectos Básicos de Mecánica Cuántica en la Escuela Secundaria* (Fanaro, Elgue y Arlego, 2016) plasman situaciones de enseñanza que sirven como base a docentes de secundaria; es un texto fácil de abordar y una buena guía de enseñanza.

Son también, trabajos de corte conceptual, los realizados por Müller (2003) en Alemania; en Müller y Wiesner (2000), se presenta una propuesta en la que los aspectos conceptuales de la mecánica cuántica están en primer plano; presenta: un curso básico cualitativo y un curso avanzado cuantitativo. En el núcleo del curso básico están los conceptos de la propiedad dinámica y, en relación, la preparación de propiedades en un conjunto de objetos cuánticos. La interpretación de la probabilidad de Born se enfatiza fuertemente y, con su ayuda, se resuelve el dualismo onda-partícula. La relación de incertidumbre de Heisenberg se entiende como una declaración de imposibilidad sobre la preparación simultánea de dos propiedades (posición y momento). El curso avanzado cuantitativo proporciona una primera comprensión de las estructuras formales de la mecánica cuántica.

Otros trabajos, como los realizados por Cabral (2006), en Brasil; Valladares y Sanz (2011) presentan alternativas en torno a las posibilidades de la enseñanza de la Mecánica Cuántica en las escuelas secundarias, desde la perspectiva de la interpretación de Copenhague/Bohr, lo cual es sustancial, no solo por ser la interpretación más utilizada en el

campo académico, sino por su inteligibilidad y amplia difusión.

En su disertación de Maestría, Lima (2014) evalúa cómo la literatura contribuye a la formación de conceptos de Mecánica Cuántica, en la enseñanza media, en Brasil. En las conclusiones se confirma el papel de la literatura como herramienta de enseñanza de la física, que lleva a la abstracción y formación de conceptos abstractos de la física moderna. El trabajo de Pereira y Londero (2013), propone el papel de la lectura en la enseñanza de tópicos de TC. En este mismo sentido.

En otros trabajos, como en el de Nory y Zanetic (2005), se plantea una propuesta de enseñanza basada en el teatro. Hilger y Griebeler (2013) presentan resultados preliminares relacionados con la implementación de una Unidad de Enseñanza Potencialmente Significativa; se trabajan los conceptos de cuantización, incerteza, estado y superposición de estado; el referente teórico para la secuencia es el aprendizaje significativo; se analizan mapas mentales y mapas conceptuales.

Ferreira y un grupo de profesores de la Universidad de Brasilia (2018), presentan un trabajo relacionados con la enseñanza de la física atómica para estudiantes de secundaria, a través de una secuencia didáctica en forma de una Unidad de Enseñanza Potencialmente Significativa (PMTU). La conclusión determina que después de la aplicación de la secuencia didáctica y sus análisis, se alcanzó un aprendizaje significativo.

Otros trabajos en esta línea son: Budde, Niedderer, Scott y Leach (2002), Ballesteros, Bejarano, Forero y Muñoz (2013); Elgue (2015); González (2015); y Valverde (2016) Gonzales y Escudero (2016).

Esta tercera categoría de propuestas de corte conceptual permite concluir que, con pocas herramientas matemáticas, como las que tienen los estudiantes de educación secundaria, es posible desarrollar una enseñanza de la TC, este enfoque conecta estrategias variadas no solo específicas de las ciencias naturales, sino la literatura, el cine y teatro que cada vez adquieren mayor presencia. La presentación de las investigaciones tiene la pretensión de exhaustividad, pues en este campo a nivel internacional, son muchas las investigaciones que se encuentran. El objetivo es demostrar que existe una línea fuerte y consolidada en este campo.

1.1.3 Análisis de propuestas, dificultades y problemas en la enseñanza de la TC en la educación secundaria.

Hasta el momento, se han descrito dos líneas de investigaciones relacionadas con la enseñanza de la TC en la educación secundaria: pertinencia y propuestas de enseñanza. En esta tercera línea, se agruparían las investigaciones cuyo objetivo es el análisis de propuestas, formas y los problemas relacionados con la enseñanza de la TC en la educación secundaria.

En contraposición a los trabajos referenciados en la primera línea, en esta tercera es necesario relacionar algunas investigaciones que realizan una crítica fuerte e incluso se oponen a la enseñanza de la TC en la educación secundaria (Oñorbe, 1996), por considerarla demasiado compleja y requerir de un formalismo matemático, para lo que los estudiantes, según estos autores, no estarían preparados (Johnston, Crawford y Fletcher, 1998). Este tipo de investigaciones entienden la enseñanza desde la formulación en términos de conceptos matemáticos o que solo se puede entender su poder explicativo con el manejo adecuado del formalismo matemático (Fischler y Lichtfeldt, 1992). Es necesario advertir que, con este enfoque, no se encontraron investigaciones recientes, por cuanto, estas objeciones han sido superadas por la investigación didáctica.

La investigación, también ha aportado evidencias respecto a que la enseñanza tradicional de la física cuántica, en la educación secundaria, puede generar dificultades y errores conceptuales. En lo que se refiere al análisis y problemas en la enseñanza, investigaciones concluyen que, cuando se introducen estas temáticas, no se logra un aprendizaje apropiado de tópicos fundamentales, tales como el efecto fotoeléctrico, el modelo de Bohr y los espectros atómicos, la ecuación de De Broglie y las relaciones de incertidumbre (Niaz, Klassen, McMillan y Metz, 2010; Olsen, 2002; Pospiech, 2000; Domènech, Martínez y Savall, 2013).

En la Universidad Federal do Rio Grande do Sul, Rocha (2008), analiza las principales dificultades de comprensión, por los alumnos, de dos importantes conceptos de la Mecánica Cuántica: estado cuántico y superposición lineal. Se concluye que el enfoque utilizado propició un buen inicio de aprendizaje, pero conceptos esenciales como el de operador lineal y evolución temporal de sistemas cuánticos, necesitan trabajarse más en actividades futuras. La tesis doctoral de Pessanha (2014), de la Universidad de São Paulo, identifica obstáculos epistemológicos y didáctico-pedagógicos de diferentes naturalezas, entre los cuales hay algunos relacionados con la percepción ingenua de fenómenos de lo cotidiano, algunos

relacionados con el uso de metáforas e imágenes y otros relacionados con un raciocinio limitado e incongruente.

En Betz (2014), se presenta un análisis a la interpretación de la mecánica cuántica conocida como “interpretación onda piloto”, la que se constituye en un problema, por que se entiende que la función de onda de Schrödinger actúa como una guía que conduce a la partícula cuya posición, aunque fuese inobservable, se define bien en cada instante. Ivanjek, Shaffer, McDermott, Planinic y Veza (2015) analizan cómo la investigación en enseñanza de la física ha contribuido a la enseñanza y aprendizaje de la espectroscopia atómica; describe dificultades conceptuales y de razonamiento entre los estudiantes, al tratar de relacionar los espectros de líneas discretas con niveles de energía de los átomos en una fuente de luz.

El problema del aprendizaje de Mecánica Cuántica en los estudiantes universitarios lo abordan Johnston et al. (1998), quienes, en su investigación, concluyen que la TC es extremadamente difícil para estudiantes de Física y, por ende, debería tratarse lo más temprano posible, pero advierten que el problema radica en la enseñanza; que si se cambian las prácticas de enseñanza mejorará la conceptualización.

Con respecto a problemas con el poco conocimiento que refieren los estudiantes alrededor de la TC, se encuentran las investigaciones de Zollman, Rebello y Hogg (2002), quienes insisten en que profesores de física consideran que la mecánica cuántica es un tema muy abstracto, que no se puede entender hasta que los estudiantes hayan aprendido mucho de la física clásica. En contraposición, los autores consideran que es posible desafiar este conocimiento con herramientas didácticas con un enfoque práctico, con buenos resultados; por tanto, no es necesario esperar a niveles superiores para enseñar Física Cuántica. Otras investigaciones que respaldan esta posición son: McKagan, Perkins y Dubson (2008), Singh y Marshman (2015).

En esta misma línea se encuentran las investigaciones de: Greca y Moreira (2001), Ireson (2001), Escudero, Jaime y González (2016), Savall (2015), Özcan (2010), a quien además le preocupa el que los estudiantes confundan la física clásica con la mecánica cuántica. El problema de las bases matemáticas en los estudiantes es abordado en investigaciones como las realizadas por Akarsu (2010); Cid y Dasilva (2012); Solbes, Catalayud, Climent y Navarro (1987); Fanaro (2009); Greca y Moreira (2001); Monteiro (2010); Müller (2008); Pantoja, Moreira y Herscovitz (2013) y Sinarcas y Solbes (2013). En este sentido Baily y Finkelstein (2015) advierte que una orientación predominantemente algorítmica no permite a los estudiantes comprender las temáticas, sencillamente

operativizarlas, al igual que Greca y Herscovitz (2002), argumentan que, trabajar desde el enfoque matemático puede generar pérdida de interés por parte de los estudiantes.

Biauzus y Rosa (2018) analizan cuatro artículos sobre obstáculos en la comprensión de la TC y concluyen que, predomina el primer obstáculo epistemológico relacionado con el sentido común, pero otros obstáculos como el realista, sustancialista y animista también representan obstáculos importantes para el aprendizaje de la Mecánica Cuántica.

En Solbes y Sinarcas (2013), por su parte, exponen las dificultades de la enseñanza de la Mecánica Cuántica, amplían aspectos meramente conceptuales y los relacionan con el componente de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). Se explica, además, que una de las principales dificultades en el aprendizaje es de carácter ontológico y epistemológico, conclusión apoyada por investigaciones anteriores (Kalkanis, Hadzidaki y Stavrou, 2003; Solbes y Sinarcas, 2009), al no reconocer que los objetos cuánticos son objetos con un comportamiento cuántico y no partículas con comportamiento ondulatorio u ondas con comportamiento corpuscular (Feynman, 1971; Lévy-Leblond, 2003).

Otra de las conclusiones relevantes, fruto de la investigación didáctica, se relaciona con los docentes, pues, pese a que la inserción de la Teoría Cuántica se respalda tal como se ha descrito, el proceso no se ha realizado con la suficiente celeridad, ni de manera intensiva, como se quisiera. Al respecto, el carácter contra-intuitivo de la temática podría ofrecer una explicación; además, los mismos docentes no tendrían la suficiente claridad conceptual para hacerlo (Kalkanis et al., 2003; Fanaro, 2009, Savall 2015). Por lo cual, Adriane Griebeler (2012), parte de que enseñar Física Cuántica en la enseñanza secundaria es un desafío para los profesores, tanto por una posible falta de preparación, pero advierte que el abordaje de la Física Cuántica es fundamental, especialmente respecto a la propagación de versiones místicas y de representaciones sociales.

De igual manera, en Brasil, Pereira, Cavalcanti y Ostermann (2009) asumen el campo de formación de profesores y concluyen que la mayoría de los estudiantes tiene dificultades en reconocer en qué situaciones los objetos cuánticos (fotones o electrones) presentan comportamiento corpuscular u ondulatorio. Por tanto, es necesario referir investigaciones que, a partir de la pertinencia de la enseñanza de este campo de conocimiento, enfatizan en la formación del profesorado, tal como el caso de los trabajos realizados por Greca y Herscovitz (2002), Webber (2006); y Pereira et al. (2012). Kalkanis et al. (2003), quienes afirman que es necesario que los docentes cuenten con los conocimientos necesarios, incluso para

desenvolverse en la sociedad de hoy, para así propender por la adquisición de una nueva imagen de ciencia.

La tesis de Fernández (2014) titulada: *Teorías y modelos en la enseñanza aprendizaje de la física moderna*, pone en evidencia las dificultades de formación de los docentes y cómo dichas dificultades se verán proyectadas en su práctica pedagógica; concluye que los docentes en formación reciben una preparación básicamente en física clásica; además, encuentra que la interpretación de los profesores con respecto a la Mecánica Cuántica tiene los siguientes reduccionismos: primeros conflictos (visiones históricas lineales), objeto cuántico (coexisten dos modelos independientes uno para luz y otro para materia), descripción probabilística (asumen las relaciones de incerteza como desconocimiento de la posición de la partícula) y formalismo (se limita a la resolución de ejercicios).

En este mismo sentido, Araujo y Zago (2016) señalan que la formación de los docentes es un obstáculo para la enseñanza de esta temática en la educación secundaria, específicamente por una formación excesivamente basada en los supuestos de la racionalidad técnica.

Siqueira, Montanha, Batista y Pietrocola (2018), parten de que existe una tradición de enseñanza-aprendizaje en la que la mayoría de los maestros están inmersos, lo que configura los siguientes obstáculos didácticos: falta de dominio del contenido, metodología de enseñanza tradicional, evaluación tradicional, organización rígida de actividades y Currículum Tradicional.

Una vez descritas estas investigaciones, es necesario señalar que, con anticipación, los trabajos de Gil y Solbes (1993) advierten que las dificultades en el aprendizaje de estos temas se originan en la enseñanza, ya fuese porque no se introducen explícitamente o porque no se muestra la contradicción entre las nuevas ideas y las clásicas y, en consecuencia, los estudiantes siguen utilizando estas últimas, o porque se desarrollan solo como una narración histórica.

De esta tercera línea de investigación, es posible concluir que, si bien algunos conceptos ofrecen mayor problema en su comprensión por el carácter contra-intuitivo de la teoría y las pocas bases matemáticas, la mayor dificultad radica justamente en la enseñanza, pues los docentes de educación secundaria no se encuentran preparados para asumir esta tarea. Con respecto a los estudiantes, una dificultad importante en los estudiantes es la falta de comprensión de que los objetos cuánticos son objetos nuevos, con propiedades nuevas.

1.2 Antecedentes de Investigación en Colombia

Por otra parte, y dada la naturaleza de este trabajo, se considera oportuno proponer un apartado específico para la producción científica en lo que se refiere a la enseñanza de la TC en la educación secundaria en Colombia. Es importante partir del hecho de que, la investigación en enseñanza de las ciencias en Colombia está centrada en las facultades de educación (Claret Zambrano, Salazar, Candela, Villa, 2013). Cabe señalar que, las universidades de Antioquía, Pedagógica Nacional, Pedagógica y Tecnológica de Colombia y Distrital; tienen un amplio liderazgo en este campo, destacándose el grupo GREECE, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, quienes además cuentan con los investigadores internacionales Aduríz Bravo y Quintanilla Gática y se forman algunas redes académicas.

Por lo anterior, es importante referenciar el trabajo del investigador Alfonso Claret Zambrano de la Universidad del Valle quien realizó un estudio del “estatuto epistemológico” de la investigación en educación en ciencias, titulado “Establecimiento del estado del arte de la investigación en Educación en Ciencias en Colombia, 2000- 2011” cuya pretensión fue la construcción del “Estado del Arte de la actividad investigativa en educación en ciencias realizada en Colombia en la primera década del siglo XXI”. Este estudio derivó en siete líneas de investigación que estructuran el campo de la Educación en Ciencias en Colombia:

I) La Relación del Conocimiento Científico y el Conocimiento Común, II) La Enseñanza, Aprendizaje y Evaluación: Metacognición, Cambio Conceptual, Resolución de Problemas, e Historia de las ciencias, III) La relación entre la teoría y la práctica en las ciencias experimentales a través del laboratorio escolar, IV) Las nuevas tecnologías de la informática y la comunicación y su relación con la educación en ciencias naturales. - Inteligencia Artificial y Procesos de Razonamiento, V) Desarrollo Curricular en Ciencias Naturales, VI) Contextos culturales - Educación ambiental – Educación en Ciencias en Ambientes no Convencionales, VII) Conocimiento, Pensamiento y Formación del Maestro (Claret Zambrano, Salazar, Candela, Villa, 2013).

Este tratado, correspondiente a la primera década de siglo XXI, hace hincapié en el papel de las facultades de educación, así como el advenimiento de los programas de doctorado en educación y la generación de investigaciones a su alrededor; por otra parte, concluye en la necesidad de conocer las investigaciones de corte doctoral que se realizan en el país, para contrastarse con los resultados obtenidos (Claret Zambrano, et al., 2013). De igual

manera, desde el análisis de este trabajo establece la necesidad y pertinencia de estudios que actualicen esta información.

Las líneas descritas, son amplias y permiten vertientes de distintos temas. Por la especificidad de esta investigación, se buscó establecer si en Colombia podríamos hablar de una tendencia de investigación en didáctica de la Teoría Cuántica, por ello, las investigaciones que a continuación se referencian, se enfocan fundamentalmente dentro de esta vertiente.

En Colombia, si bien no se configura un debate académico, por la pertinencia de la enseñanza de la TC, tal como si sucede en el plano internacional, si se plantea un análisis crítico a la enseñanza de ciencia moderna, tal como el realizado por Villaveces (2000), en torno a la enseñanza de la química y la estructura atómica de la materia, y el de Martínez-Chavanz (2004), en cuanto a la recepción de la física moderna. De ahí que, en Colombia, se parte de la necesidad de enseñar tópicos de la Teoría Cuántica en la educación secundaria (Jaramillo, 2015, Muñoz Burbano 2018, Solbes, Muñoz Burbano y Ramos, 2019).

En este campo, son investigaciones notables las realizadas por el grupo de Rómulo Gallego, de la Universidad Pedagógica Nacional, que ha trabajado desde el análisis de los libros de texto, con respecto a la forma cómo se introducen los modelos atómicos clásico y pre-cuántico de Rutherford y Bohr y los aportes de estos recursos a la enseñanza. Se concluye en la necesidad de reflexionar sobre la confiabilidad de los libros de texto (Moreno, Gallego y Pérez, 2010); y la visión que en ellos se encuentra de los modelos atómicos (Cuéllar, Gallego y Pérez, 2008).

Otros documentos, que refieren una posición crítica frente a la enseñanza de la EAM en la educación secundaria, son, por ejemplo: el estudio de Gómez (2010), quien trabaja en la caracterización del conocimiento didáctico del contenido en química, del concepto de discontinuidad. Trabajo desarrollado con docentes en ejercicio, en el que se concluye que se evidencia un cambio parcial entre la teoría precuántica y cuántica, que lleva a ver al átomo como un sistema complejo. Los docentes que participaron de la investigación desarrollan unidades didácticas desde la organización propuesta por los libros de texto.

Cuesta y Mosquera (2016, 2017, 2018), presentan reflexiones en torno a las implicaciones de la Naturaleza de Ciencia (NdC), en educación en ciencias y formación del pensamiento científico; concluyen afirmando que el énfasis en la NdC en la enseñanza de la

Mecánica Cuántica al parecer posibilita la formación de ciudadanía, abordar la Mecánica Cuántica como una construcción cultural e invita a los docentes a trabajar en este enfoque.

Ayala (2017), basado en las reflexiones y desarrollos del Programa de Maestría en Docencia de la Física y en algunas experiencias del Programa de Licenciatura de Física de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, se plantea como campo de trabajo del docente de ciencias, la recontextualización de los saberes científicos, se pone de manifiesto el carácter eminentemente cultural de dicha actividad y la complejidad de la misma.

Los trabajos descritos, si bien, no reseñan un debate sobre la pertinencia de la enseñanza de la TC en la educación Secundaria en Colombia, se suscriben dentro de la tendencia que asumen la pertinencia y necesidad de su enseñanza.

1.2.1 Trabajos en torno a estrategias de enseñanza de la TC en Colombia.

A continuación, se presentan los antecedentes de investigación relacionados con estrategias de enseñanza de la TC en Colombia, fue necesario ampliar la búsqueda de artículos científicos a ponencias publicadas, tesis de maestría y algunos ejercicios de investigación. La constante en estos trabajos es la presentación de temas puntuales, más que un enfoque específico relacionado con la Historia de las Ciencias, la Experimentación y los entornos virtuales, o un enfoque Conceptual.

Tal es el caso de Patiño (2007), presenta una propuesta pedagógica guiada por la mirada investigativa de la metodología del estudio basado en diseño, tomando como principal elemento el uso de herramientas de aprendizaje como las tareas de predecir, experimentar y explicar (PEE). Se encontró que dichas tareas fortalecieron la comprensión inicial de los estudiantes sobre efecto fotoeléctrico y cuantización. Por su parte, Moreno y Guarín (2010), describen la experiencia en la enseñanza de algunas nociones básicas, tales como la idea de tamaño, dualidad de la materia y el principio de superposición de estados, a nivel de secundaria. Asume la necesidad de un nivel de abstracción de pensamiento y la formalización matemática y se concluye que, es posible llevar al aula temas de física moderna y recurrir a procesos mentales, como la imaginación.

En Mendoza y Rozo (2011), se presenta una reflexión alrededor del principio de superposición de estados, partiendo del análisis del concepto de estado dentro del contexto de la mecánica clásica y el contexto de la mecánica cuántica. De esta manera, se utilizan analogías como herramienta didáctica dentro del contexto clásico y cuántico, con el fin de

conceptualizar y establecer las diferencias del principio de superposición desde la teoría clásica y la teoría cuántica

Por su parte, Bautista (2012) propone para la enseñanza de la superposición de estados, la recontextualización de los problemas que llevaron a la formulación de la teoría. Trabaja la formalización de la noción de cualidad, insiste en que, para ello, es necesario construir la formalización de la acción de observar, para incluir la idea de que cuando se observa al objeto, éste es perturbado. Esta propuesta tiene un enfoque además matemático.

Segura, Nieto y Segura, (2012), presentan su trabajo como material educativo, concluyen que todo proceso de enseñanza-aprendizaje de la mecánica cuántica requiere de la búsqueda de un lenguaje, que permita generar condiciones para organizar los hechos, los acontecimientos, lo que sucede y lo que se observa en los fenómenos naturales de una forma simplificada e intuitiva, con lo que se logran distintas conceptualizaciones del universo microscópico.

Cabrera, Quiroga, Naizaque (2012), hacen una revisión del concepto átomo, desde las últimas concepciones de la mecánica clásica, su transición en lo que se conoce como una mezcla entre la mecánica clásica y cuántica (mecánica cuántica antigua), y la nueva representación que implicó la visión de la mecánica cuántica, enuncian lo que consideran un nuevo constituyente básico de la materia, desarrollado a través de la manipulación del hombre, denominado puntos cuánticos.

Castrillón, Freire y Rodríguez (2014), presentan una propuesta didáctica para profesores de secundaria, en dos momentos: el primero constituye los contenidos a estudiar y el segundo, las estrategias a implementar en el aula, con una perspectiva basada en conceptos fundamentales de superposición y entrelazamiento cuántico.

Talero y Robayo (2016), presentan la propuesta de enseñanza del fotón, a partir de la relatividad especial, la teoría electromagnética, la mecánica newtoniana y argumentos de simetría. Esta es una contribución que motiva en la práctica escolar a tomar una postura fiel respecto al desarrollo teórico, ignorado por el desarrollo histórico; este artículo es el resultado del trabajo de grado titulado *Fotón, a partir de la Teoría Especial de la Relatividad* de William Robayo, y dirigido por Talero, a la Universidad Distrital «Francisco José de Caldas», para optar al título de Licenciado en Física.

Valderrama, Rayo, Suesca y Soler (2017) dan a conocer una propuesta para la enseñanza de los números cuánticos para estudiantes del grado décimo de educación media. Se fundamenta en el cambio conceptual y la innovación e investigación en la enseñanza de las

ciencias; basado en el alineamiento constructivo.

Por otra parte, Rozo Clavijo, Walteros y Cortés (2019), presentan su artículo afirmando que, es importante enseñar la Mecánica Cuántica, pues permite profundizar en las dificultades que presentan los estudiantes en la apropiación de algunos conceptos en los que se fundamenta como son: la noción de estado y principio de superposición. En este sentido, se propone un enfoque fenoménico, afirman que esta forma de plantear la enseñanza supera la dicotomía entre experimento y teoría, ya que desde esta perspectiva el experimento es considerado parte constituyente para la construcción de explicaciones en torno al fenómeno.

A continuación, se relaciona algunas comunicaciones presentadas en congresos, que fueron publicadas, y que permiten inferir el interés especialmente de docentes en formación, por la enseñanza de temas relacionados con la física moderna.

Cabrea et al. (2009) analizan algunas representaciones sobre la materia, de las que afirman se encuentran basados en valores numéricos y datos experimentales y avalados por teorías aceptadas. Concluye que, en las universidades Distrital y Pedagógica, en las que se forman licenciados en física, no existe ni propuesta metodológica o didáctica que abarque el concepto de átomo clásico hasta el modelo actual, de lo cual se deriva la preocupación por lo que se lleva al aula. Finaliza cuestionando la labor docente frente a la enseñanza de temas actuales de física.

Aguilar y Romero (2011), reconocen a la experimentación mental gran importancia para el hombre de ciencia profesional y lo asume como importante y necesario para el desarrollo psíquico del individuo y para aquel estudiante que aprende ciencias. Guevara, Maureen y Organista (2011), abordan la mecánica cuántica como un reto para la actual investigación en la enseñanza de la física, se presenta un análisis conceptual alrededor de la función de onda a través del “mentefacto conceptual”; este ideograma ayuda a identificar y organizar nociones constitutivas y diferenciadoras implícitas en el concepto de función de onda y se constituye en un aporte para la enseñanza-aprendizaje de este concepto.

Cuesta y Mosquera (2011, 2017), exponen algunas reflexiones en torno a los aportes e implicaciones de la Naturaleza de las Ciencias en la formación de pensamiento científico. La reflexión concluye que vale la pena investigar en la enseñanza de la Física Cuántica para construir marcos conceptuales y elementos teóricos que permitan superar dificultades; de igual manera, la enseñanza de la Física Cuántica contribuye a la alfabetización científica.

En Ballesteros et al. (2013), se aborda la enseñanza del orbital atómico, se propone el desarrollo de actividades experimentales relacionadas con la doble rendija. Concluye que la estrategia permite acercar a los estudiantes al modelo cuántico, pero recomienda la actualización en los programas de formación docente.

Céspedes y Tuay (2018), en su ponencia muestra los resultados del acercamiento de la modelización a las perspectivas de investigación educativa en mecánica cuántica. Los resultados presentados de la investigación surgen a partir de la construcción de las categorías de análisis, una categoría denominada: formalización del fenómeno, y en el abordaje teórico se realizó un análisis desde la modelización como una estrategia para el acercamiento de los estudiantes a la producción de conocimiento.

En la comunicación de Alvarado y Fanaro (2019), se presentan algunos resultados de una investigación más amplia que tiene como objetivo analizar la viabilidad de la enseñanza de nociones básicas de Mecánica Cuántica, relativas a los electrones en una escuela secundaria colombiana, adoptando el enfoque de Feynman. La comunicación se presenta como un aporte a la enseñanza de la Física para la escuela secundaria colombiana, brindando una alternativa viable para la enseñanza de conceptos cuánticos fundamentales, concluyendo que es posible superar obstáculos en la conceptualización de las nociones cuánticas, la propuesta tiene un enfoque conceptual que se soporta en un nivel matemático accesible a los conocimientos de los estudiantes.

Rozo Clavijo, Walteros y Cortes, (2019), en su artículo afirman que la enseñanza de la mecánica cuántica, ha generado una revolución cognitiva en la medida que da una nueva visión del mundo, afirmando la importancia de enseñarla para ello. Se propone un enfoque fenoménico como herramienta para la enseñanza de la mecánica cuántica. Se desarrollan actividades experimentales que son la estrategia para involucrar a los estudiantes en la construcción de explicaciones alrededor del fenómeno. La actividad experimental es entendida como aquella que le permite al estudiante realizar una reflexión alrededor del fenómeno para su explicación. Concluyen que esta forma de plantear la enseñanza de la mecánica cuántica supera la dicotomía entre experimento y teoría ya que, desde esta perspectiva, el experimento es considerado parte constituyente para la construcción de explicaciones en torno al fenómeno.

A nivel de Propuesta Doctoral, en Colombia, Nelly Yolanda Céspedes Guevara realiza la tesis doctoral *Análisis del fenómeno dualidad onda - partícula desde la producción de*

conocimiento (2016), en la que plantea objetivos como: proponer nuevos abordajes en los procesos de producción de conocimiento en torno la Mecánica Cuántica; construir estrategias de comprensión del fenómeno dualidad onda-partícula desde la producción de conocimiento desde la Educación en Ciencias.

Es así como en el trabajo de López (2014), se presenta una propuesta de unidad didáctica en seis guías conceptuales e informativas; se parte del concepto de superposición, se estudian los sistemas cuánticos de dos niveles o *qubits*, propiedades incompatibles y su fundamentación a través de modelos matemáticos, para realizar una construcción conceptual del principio de superposición de estados, en la educación media.

Es importante resaltar que, en Colombia, las universidades: Pedagógica, Tecnológica de Pereira, los Andes, del Valle, de la Amazonía, de los Llanos, Distrital «Francisco José de Caldas», Nacional Abierta y a Distancia, de Córdoba, entre otras ofrecen licenciaturas en física y química. Desde los trabajos de grado realizados como ejercicios de investigación formativa, se presentan propuestas de enseñanza sobre temas relacionados con TC. A continuación, se presentan algunos ejercicios de investigación, realizados para optar por el título de Licenciado:

Moreno (2009) presenta los resultados de su trabajo de licenciatura sobre la transposición del modelo semicuántico de Bohr, en libros de texto que se utilizan habitualmente en la enseñanza de la química en la educación media de algunos colegios de Bogotá, concluyendo que se promueve una visión deformada de la actividad científica, una imagen a-problemática y a-histórica y una imagen rígida de la ciencia, se promueve una visión positivista.

Feo (2012), exhibe una propuesta de contenidos curriculares, estos resultados permitieron diseñar una malla curricular para la asignatura de química. Propone abordar en grado octavo mecánica cuántica y estructura atómica. De igual manera, Castro (2014), propone el diseño e implementación de una unidad didáctica para la enseñanza significativa de los modelos atómicos; concluye que los estudiantes alcanzaron un cambio significativo e incluso un mayor interés y motivación para la construcción del conocimiento. En esta misma línea, Jaramillo (2015), presenta una propuesta didáctica apoyada en el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación para la enseñanza y el aprendizaje de la mecánica cuántica.

También, Cabrera (2014) identifica que, pese a que dentro de la propuesta curricular del Ministerio de Educación Nacional, se vincula desde muy temprano las nociones microscópicas, los textos de física presentan conceptos de dicha área totalmente desligados a su realidad microscópica y así mismo, las pruebas realizadas a estudiantes indican que, pese a conocerse los diferentes modelos, no logran relacionar dichas teorías con la fenomenología de su entorno, incluso evaden dicho vínculo limitándose estrictamente a descripciones macroscópicas.

Castaño (2014), proporciona la base para planear una intervención didáctica que permita mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje de la física, asumiendo una postura evolutiva de los procesos de enseñanza, lo que posibilita una mayor comprensión por parte de los estudiantes. Además de las ideas previas, también se pretende explicar cómo el lenguaje posibilita aprendizajes más significativos, siendo el mayor mediador entre la ciencia y el estudiante.

El trabajo de Figueroa y Orjuela (2015), adelanta un análisis de libros de texto de física, en torno a si incluyen o no temáticas relacionadas con la física moderna (cuántica, relatividad y nuclear). Se relacionan dos textos: uno de la editorial Norma y otro Hipertexto, de Santillana. Macías, Mejía y Aguilar (2015), manifiestan que es necesario mayor investigación en cuanto a qué conceptos y estrategias utilizar en la enseñanza de la física moderna, porque la producción actual es escasa y controvertida. Concluyen que los experimentos mentales contribuyeron al desarrollo de la física moderna y proponen este enfoque en la escuela secundaria, pero con su implementación con maestros en formación.

Walteros (2016), proponen una serie de actividades experimentales que permiten evidenciar el comportamiento de la luz, lo cual facilita a los estudiantes construir una imagen y explicación en torno a su comportamiento, evidenciando, además, la manera de proceder en formalización de la explicación. En Lopez y Vela (2016), el trabajo busca brindar herramientas para la comprensión y caracterización del comportamiento de la luz para su enseñanza en estudiantes de educación básica, por medio de la construcción y ejecución de un laboratorio móvil de óptica.

El trabajo de Castrillón Espitia (2016) presenta una estrategia didáctica para la enseñanza del modelo cuántico, mediante la implementación de la unidad de producción de conocimiento. Es descrita como una estrategia complementaria y de nivelación de contenidos abordados, la considera pertinente y adecuada, pues promueve la participación de los estudiantes y un aprendizaje autónomo y participativo.

López y Vela (2017), muestra el desarrollo que ha tenido el concepto de potencial vectorial, desde la teoría electromagnética clásica hasta la mecánica cuántica; haciendo un análisis cronológico, desde los experimentos iniciales para explicar los fenómenos eléctricos y magnéticos, pasando por el concepto de estado electrotónico y la matematización del potencial vectorial, hasta la manera en que el proceso experimental, desde un contexto cuántico, muestra la naturaleza física que tiene el potencial vectorial. Rodríguez (2018), presenta una propuesta para la enseñanza de conceptos preliminares de la mecánica cuántica, a partir del experimento de Franck-Hertz; de igual manera, presenta un módulo que incluye un conjunto de actividades basadas en una herramienta computacional con la que se realiza una simulación de la curva característica del experimento de Franck-Hertz, esta iría en el lenguaje de programación de C++.

Torres (2018) presenta el diseño de una unidad de enseñanza potencialmente significativa, considera que es necesario incluir mecánica cuántica cuando los estudiantes aún no han desarrollado sólidos conocimientos científicos en el campo de la física, que pudieran ser obstáculos representacionales para la incorporación de nuevos significados a sus estructuras mentales. También, Firigua (2019), plantea como objetivo la implementación de estrategias pedagógicas para mejorar actitudes hacia la física, considera que su propuesta promueve la comprensión de la mecánica cuántica, orientada hacia la influencia que ha tenido en el desarrollo tecnológico y social.

Rozo, Walteros y Cortés (2019), presenta un estudio histórico-crítico sobre los fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica, propuesto por Von Neumann, en 1932. Se concluye que reconocer la fuerte relación que siempre ha existido entre la física y la matemática es de vital importancia en el desarrollo de las diferentes experiencias de aprendizaje; manifiestan que realizar un análisis histórico-crítico permite estudiar la construcción de teorías, desde tres puntos: el análisis contextual en que se construye la teoría; el reconocimiento a los aportes hechos por el autor a la ciencia y, finalmente, cómo implementar tales saberes en la enseñanza, en particular la mecánica cuántica.

Finalmente, se puede mencionar algunos trabajos que se relacionan con la enseñanza de la estructura atómica de la materia, aunque no se enfatizan en la TC, sino específicamente con modelos atómicos (Uribe y Cuellar, 2003; Gallego y Perez, 2017; Ayala 2017), La mayor parte de producción corresponde a trabajos de maestría y ejercicios de investigación de licenciatura que a su vez son dinamizadores de artículos científicos, lo que evidencia el interés de estudiantes de licenciatura por la investigación en este campo y la necesidad de

revisar los procesos de formación de los futuros docentes, que aseguren una actualización de los currículos escolares.

La presentación de los antecedentes, es fundamental en el proceso de investigación, pues permite considerar, confrontar, adaptar, o evitar temáticas o enfoques que han sido tratados (Mamolejo y Gonzáles, 2015). Desde esta perspectiva, los antecedentes expuestos nos permiten concluir que en Colombia los artículos que presentan estrategias de enseñanza de la TC no esbozan un enfoque específico, tal como La Historia de las Ciencias, la Experimentación o el enfoque Conceptual, perspectivas que han sido establecidos para la enseñanza en este campo (Solbes y Sinarcas 2013).

Finalmente, mientras que en el contexto internacional se describen investigaciones que analizan problemas de enseñanza y de aprendizaje de la TC, en Colombia, no se encuentran este tipo de investigaciones. Lo anterior, posibilita a esta investigación, hacer un análisis de la enseñanza de la TC desde el desarrollo en el aula de la unidad de Estructura de la Materia en Química, especialmente de grado décimo.

2. Problema de Investigación

2.1 Introducción de la Ciencia Moderna en la Enseñanza de las Ciencias Naturales en Colombia

La Ley General de Educación en Colombia, Ley 115 de 1994 establece como uno de los fines de la educación, la formación científica básica (Artículo 5, numerales 5, 7, 9). Para garantizar dicha formación el Ministerio de Educación Nacional (MEN) expide lineamientos básicos que sirven de referente para la enseñanza de las Ciencias Naturales. Sin embargo, es necesario reflexionar sobre cómo se articula la educación científica en la secundaria, en la consecución de estos fines para lograr una formación científica básica, pues los logros alcanzados con respecto a los objetivos propuestos son limitados (Castro y Ramírez, 2013).

Se puede inferir que, la educación científica en Colombia presenta dificultades. Ha pasado más de un siglo del avance de la Física Moderna (FM), expresada como Teoría Cuántica y teoría de la relatividad y su enseñanza en Colombia, sigue siendo un campo poco explorado; la enseñanza de la física moderna responde a los mismos mecanismos de recepción tardía, como en su momento, se trató a la física clásica (Villaveces. 2000; Martínez-Chavanz, 2004).

Los investigadores Villaveces (2000) y Martínez-Chavanz (2004), respectivamente, han expresado su preocupación por la forma cómo se enseña Ciencias Naturales en Colombia. De igual manera, la inquietud por la brecha entre los currículos en ciencias y los avances científicos del momento. Específicamente, el doctor Martínez Chavanz, quien participa en la construcción de la Historia Social de la Física, asume una posición crítica respecto a la recepción de la física moderna, además plantea el interrogante frente a la manera cómo esta ciencia se aborda en los currículos de educación secundaria e incluso universitaria (Paty y Martínez-Chavanz, 2004; Martínez-Chavanz, 1986, 1987; 1993; 2004; 2005).

De acuerdo con Martínez-Chavanz (2005), la recepción de la física moderna en Colombia ha enfrentado problemas relacionados con el desarrollo técnico científico del país, además de resistencias de orden epistemológico. A inicios del siglo XX, de acuerdo con Martínez-Chavanz (2005), la física moderna tendría problemas para su aceptación en Colombia debido a la oposición de personajes de gran importancia científica, como es el caso de Julio Garavito Armero.

Julio Garavito Armero (1865-1920), reconocido como uno de los científicos más

importantes de finales del siglo XIX e inicios del XX, quien en su momento constituyó la elite científica del país; debido a su posición epistemológica acepta y promueve únicamente la geometría euclidiana y la física newtoniana, llegando incluso a rechazar las geometrías no euclidianas, por considerarlas artificiales, “no aceptó la física no newtoniana (la relativista, sobre todo) por encontrarla plagada de muchas hipótesis, poco natural y alejada del ideal clásico de absoluto”, con consecuencias nefastas para el país (Paty y Martínez-Chavanz, 2004). A pesar del tiempo, dichas consecuencias aún no se han evaluado claramente, sobre todo a la luz de la enseñanza de la ciencia moderna en las instituciones de educación secundaria.

Por su parte, Villaveces (2000) enfatiza más en la enseñanza de la teoría atómica, de forma específica desde la química, de la que afirma que en Colombia es una “disciplina muy fuertemente desarrollada en sus aspectos prácticos y fuertemente enraizada en el mundo contemporáneo, pero con bases teóricas endebles y con una relación problemática con el conjunto de la ciencia natural” (p. 10); además, llama la atención sobre cómo la química en su papel de disciplina científica, no se preocupa por la forma en que es entendida y la clase de conocimiento que genera.

De igual manera, Villaveces (2000) establece una distinción epistemológica muy importante entre el impacto de la Teoría Cuántica en la Física, al ser un paso definitivo “en la desintegración de la visión mecánica del mundo” (p. 18), mientras que, en la química, por el contrario, y “debido al uso generalizado de la aproximación de Born-Oppenheimer, se reforzó la imagen mecánica” (p. 18). De ahí que Villaveces (2001) afirma que, en Colombia, la enseñanza de la Estructura de la Materia no se aborda de manera adecuada; se trata de una enseñanza descriptiva, cronológica y con la construcción de prototipos planetarios de los modelos atómicos. De acuerdo con este autor, la formación recibida por los docentes en las facultades de educación de las universidades colombianas y la forma cómo se presenta la estructura atómica de la materia en los libros de texto, influye en la forma de enseñar esta temática.

2.1.1. Currículos desactualizados.

La sucinta descripción realizada en los párrafos anteriores, nos permite deducir que la tradición científica del siglo XX ha limitado de alguna manera la enseñanza de la ciencia moderna tanto en las universidades, como en las instituciones de educación secundaria; lo

anterior constituye un problema para la educación científica en Colombia, pues, a pesar de que los niños y jóvenes se relacionan de forma espontánea con productos tecnológicos (láseres, ordenadores, telefonía celular, etc.) y demás aplicaciones de la ciencia moderna, la escuela no promueve las herramientas para comprender los fundamentos de estos avances y su existencia en la cotidianidad.

Al respecto, el estudio realizado por Gallego, Gallego, Pérez y Figueroa (2013) concluye que, en Colombia, en la segunda mitad del siglo XX, no hubo concretamente una educación en ciencias que explicara, entre la población escolar, una versión de la actividad científica y tecnológica como una unidad necesaria del nuevo contexto cultural. Han transcurrido casi dos décadas desde el límite temporal de la investigación y la experiencia muestra que la situación no es diferente actualmente en Colombia.

Por su parte, Castrillón et al. (2014) concluyen que, en Colombia, la enseñanza de la mecánica cuántica, como parte de la física moderna, es un campo en formación; afirmando que lo que hoy sucede en las clases de física, podría tomarse como una crisis ya que “deliberadamente” se excluye a los estudiantes de secundaria de la actividad cultural derivada de las actuales investigaciones de ciencia y tecnología. Esta afirmación abre la discusión sobre la importancia de una actualización de los currículos acordes con los avances científicos del momento.

Por ello, es necesario revisar cómo se articulan los planes y programas de enseñanza de las ciencias en Colombia y cómo en ellos se manejan los conceptos relacionados tanto con química como con física moderna, ya que la exclusión antes mencionada pudiera no ser tan deliberada y sí, en cambio, concordar con la recepción de las ciencias contemporáneas y la forma cómo se asumen en los Estándares Curriculares propuestos por el MEN.

“Uno de los aspectos donde la ciencia puede hacer sus mayores aportes en una sociedad como la colombiana, es justamente en la educación” (Rodríguez, 2013, pp.12), pero se puede fracasar en esta educación, si la enseñanza de las ciencias no se actualiza y se enfoca a una enseñanza verdaderamente científica, lo que implica una posición crítica, sin verdades inamovibles o dogmas. La actualización en los currículos de ciencias naturales es una urgencia para Colombia. En los planes de estudio de la educación secundaria, se evidencia un apego a ciertos contenidos y a los programas escolares que desde hace tiempo se consideran arcaicos (Aliberas, 2006), impidiendo así que la escuela responda los requerimientos y avances que enfrenta el mundo en la actualidad y, por ende, se haya anquilosada en saberes descontextualizados para el momento.

Los saberes escolares, a nivel general, corresponden a una enseñanza del pasado, con principios clásicos, llegando hasta el siglo XIX (Fernández, 2014), lo que ocasiona una discrepancia entre los avances del conocimiento científico y la educación científica en la escuela. Entonces, se puede concluir que, la educación en ciencias de Colombia no solo pasó la mitad del siglo XX de espaldas a los extraordinarios avances de la ciencia, sino que sigue de espaldas, situación que la hace una nación acientífica, con analfabetismo científico (Rodríguez, 2013).

2.1.2. El problema de enseñanza de la estructura atómica de la materia.

Una vez descritos los problemas con la recepción de la ciencia moderna en Colombia y de la desactualización de los currículos, es necesario detenerse en el eje temático que articula la investigación en enseñanza de la Teoría Cuántica. Este eje temático es la Estructura de Materia, como una unidad de los programas de química, especialmente definida para el grado décimo de enseñanza secundaria en Colombia.

En el problema de enseñanza de la estructura atómica de la materia, se aplica lo descrito por Chamizo (2005), quien, desde un enfoque curricular, afirma que en la enseñanza de la química se han establecido tres puntos específicos: 1) el “Método” para referirse al análisis y la síntesis; 2) la “Medida”, que corresponde al concepto de mol y las relaciones estequiométricas; 3) el “Lenguaje”, correspondiente a la nomenclatura química. El método implica laboratorio y prácticas experimentales, que no son usuales; por tanto, al final solo quedan como temas de trabajo: la medida y el lenguaje, y para abordarlos, no es necesario sobrepasar el desarrollo del conocimiento en química hasta finales del siglo XIX, por lo que queda por fuera la mayor parte de la ciencia contemporánea, dentro de lo que se puede relacionar la concepción moderna de materia.

La teoría atómica y los modelos atómicos son aspectos cardinales para la comprensión de la Estructura Atómica de la Materia (Lombardi y Martínez, 2012). Este a su vez, es uno de los ejes fundamentales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales, específicamente de los conceptos y contenidos de la química. La estructura atómica de la materia incluye: teoría atómica, modelos atómicos, distribución y configuración electrónica, su relación con la tabla periódica. En este sentido, su enseñanza debe ajustarse a la construcción epistemológica e histórica de este saber, tomando como hilo conductor los aportes de la Teoría Cuántica; de no ser así, ésta queda incompleta y genera muchos vacíos

conceptuales y epistemológicos e incluso errores conceptuales (Solbes, Calatayud, Climent y Navarro, 1987b).

De lo anterior, se colige que es un problema no trabajar el modelo cuántico, pues es necesario para comprender la estructura electrónica de los átomos, el ordenamiento periódico y los enlaces de las moléculas (Solbes et al., 1987); además, la Teoría Cuántica permite explicar la evolución de fenómenos microscópicos, los avances en otras disciplinas como la biología e incluso la medicina, igualmente, para comprender mejor las teorías clásicas y demostrar sus límites de validez y diferencias con la teoría cuántica (Sinarcas y Solbes, 2013).

Es necesario, propiciar una enseñanza de las ciencias acorde con los fines planteados en la normativa vigente. Pero, que más allá de los mismos promueva una formación científica acorde al desarrollo actual de la ciencia y la tecnología, que no se limite a la necesidad de memorizar algunos conceptos y el desarrollo de algunos ejercicios. El ciudadano de hoy, necesita de herramientas para relacionarse con el mundo a través de las ciencias naturales e incluso la ciencia puede abrir nuevos espacios al reconocimiento y al goce de otros bienes y valores culturales (Hernández, 2005, p. 2).

Se pudiera pensar que es necesario interrogarse: ¿para qué enseñar ciencias en Colombia hoy?, pero Hernández (2005), propone más bien pensar sobre ¿cómo puede contribuir la educación en ciencias a la formación integral de las personas? Y considera “que las ciencias deben ser vistas como algo más que redes de conceptos y prácticas especializadas” (s.p.), situación que como él mismo advierte, se da en la ciencia en Colombia. Continúa su reflexión, planteando que la educación debe pensar las ciencias como prácticas sociales, reconocer críticamente los usos destructivos posibles del conocimiento científico y la necesidad de una vigilancia permanente sobre los efectos que ese conocimiento tiene sobre la naturaleza y sobre las comunidades humanas (Hernández, 2005).

En este sentido, es claro que le corresponde a la escuela generar un espacio de formación científica, que enseñe a pensar desde las ciencias y corresponda con lo planteado por el Ministerio de Educación Nacional (MEN), al buscar que el estudiante haga uso comprensivo del conocimiento científico y se acerque a éste como un científico natural.

Por tanto, es necesario revisar los contenidos reglamentados en los Lineamientos Curriculares (MEN, 1998), Estándares Básicos de Competencias (MEN, 2004), Derechos Básicos de Aprendizaje (MEN, 2017), y los libros de texto, porque la difusión de la Teoría Atómica en Colombia ha estado condicionada por las opciones educativas del país, ligada a una mala formación del profesorado para la enseñanza de química (Cubillos, Poveda y

Villaveces, 1989). El análisis de los libros de texto es importante, por cuanto, recogen los lineamientos conceptuales establecidos en los estándares y los presentan con un diseño didáctico para la enseñanza.

2.1.3. El problema de la formación de los docentes.

Desde esta perspectiva, si en la escuela secundaria se requieren cambios significativos en lo que se enseña, se demandan también cambios en la formación didáctica y disciplinar de los futuros docentes de ciencias naturales. Lo anterior obedece a que, en la preparación de los docentes se evidencia un barrido por los principales contenidos relacionados con física (Fernández, 2014), al igual que en otras de las áreas de las ciencias naturales. Este barrido evoca poca profundidad en el saber disciplinar, en la construcción de las teorías y su relación con la didáctica, especialmente en los temas relacionados con física y química moderna, lo cual se convierte en un problema para enfrentar las exigencias educativas, pues la preparación docente es la piedra angular de cualquier renovación en la educación científica (Vilches y Gil-Pérez, 2007).

La investigación didáctica ha permitido deducir que, uno de los aspectos que más ha limitado la enseñanza de la teoría cuántica es la formación de los docentes (Kalkanis et al., 2003; Fanaro, 2009, Savall 2015, Griebeler, 2012), quienes al no recibir una fundamentación en el saber disciplinar, no se sienten preparados para abordar estos temas en la escuela y trasladan esta falta de formación a problemas de la comprensión de la teoría, formulismo matemático o de recursos para su enseñanza. Una preparación específica en el saber disciplinar de física, química y biología es un coadyuvante en la enseñanza de las ciencias naturales, no es posible enseñar que lo que no sabe.

Es necesario considerar también, el posicionamiento de la didáctica de las ciencias naturales como disciplina emergente. Esto, se hace evidente a través de las investigaciones y publicaciones en este campo, situación que no se ve reflejada en los programas de formación de profesores (Oliva y Acevedo, 2005). Pues en ellos se hace un excesivo énfasis en problemas educativos de corte generalista o en las nuevas tecnologías (Oliva y Acevedo, 2005). Sin pretender desconocer la importancia de estos dos aspectos, un docente que se forma para enseñar ciencias naturales, debería alcanzar una preparación exhaustiva en la didáctica como disciplina que articula el saber específico para la creación de situaciones para su enseñanza. Al dar énfasis a problemas generales, la profundidad con que se aborda el

núcleo de didáctica se ve menguado, lo que se verá reflejado en la práctica pedagógica de los docentes de secundaria.

La situación problemática descrita lleva a establecer las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cómo se enseñan los conceptos básicos de la Estructura Atómica de la Materia en la educación secundaria en Colombia?
- ¿Qué dificultades produce esta enseñanza en los estudiantes?
- ¿La aplicación de una secuencia que articule la Teoría Cuántica y los avances de la investigación didáctica ayuda superar algunas de las dificultades conceptuales evidenciadas en la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia?

3. Marco Teórico e Hipótesis

En el capítulo anterior se ha planteado el problema de enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia, y se ha evidenciado la necesidad de una investigación en este campo. En este capítulo se formulan las hipótesis y se fundamenta la primera.

3.1 Enunciado de las Hipótesis

Se da respuesta las dos primeras preguntas mediante una primera hipótesis:

- Se trata de una enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia en la educación secundaria colombiana descriptiva, escasa y formalista, que no tiene en cuenta la Teoría Cuántica y que, en consecuencia, producirá errores en el aprendizaje de dichos conceptos por los estudiantes.

En cuanto a la tercera pregunta, se da respuesta mediante la segunda hipótesis:

- Si se diseña, se implementa y evalúa una secuencia para la enseñanza de la estructura atómica de la materia, que articule el enfoque conceptual de la teoría cuántica y que considere en su diseño los avances de la investigación didáctica, entonces, se pueden superar algunas dificultades conceptuales de los estudiantes de educación secundaria.

3.2 Fundamentación de las Hipótesis

Con el objeto de contrastar las hipótesis enunciadas, se efectuó un análisis de la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia y si esta enseñanza se realiza desde la base conceptual de la Teoría Cuántica, la manera cómo es presentada esta unidad en los libros de texto, así como las aportaciones didácticas al respecto. Para ello, es necesario comenzar trazando las líneas esenciales del marco teórico de esta investigación.

3.2.1 Reflexión general sobre el marco teórico en el que se sitúa la investigación.

En el siguiente apartado se describe la reflexión acerca del referente teórico que orienta esta investigación. Se toma en primera instancia un referente macro al proceso de

enseñanza aprendizaje, que es el socio-constructivismo e integrado a éste, se describe la Transposición Didáctica de Chevallard (1998) como referente desde el cual se analiza la enseñanza de la Teoría Cuántica.

El socio-constructivismo como marco teórico del proceso de enseñanza aprendizaje de la estructura de la materia.

La didáctica de las ciencias naturales, se ha constituido en un cuerpo sistemático de investigación, el cual aporta conocimiento teórico y aplicable para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Esta investigación se suscribe dentro de la corriente que considera la didáctica de las ciencias como una disciplina autónoma, “centrada en los contenidos de las ciencias desde un punto de vista de su enseñanza y aprendizaje” (Aduríz-Bravo e Izquierdo, 2002), con un basamento epistemológico específico que la hace independiente de otras disciplinas.

Desde esta perspectiva, se puede afirmar que la relevancia de enseñar ciencias no está en discusión, pero es necesario pensar en cómo hacerlo (Tamayo, Sánchez y Buriticá, 2010). Y es desde esta óptica, la investigación didáctica, ¿qué aporta en la transformación de las prácticas pedagógicas, así como al diseño curricular?

El desarrollo de la investigación requiere de la estructuración de un marco teórico, que permita la recolección de información, el análisis de los datos y el diseño de la intervención; tiene como finalidad exponer la investigación científica, que permite esclarecer el objeto de investigación, en este caso, enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia. Sin embargo, es conveniente asumirlo como un referente flexible y tener en cuenta, como lo establece Coll (1991), que una sola teoría no permite abarcar todos los campos que implican el proceso de enseñanza y aprendizaje, por lo que se considera conveniente admitir cierta flexibilidad, sin caer en la relativización o mixtura discordante en el marco teórico.

El referente que se presenta, genera un escenario teórico, conceptual e interpretativo que se ha considerado adecuado para comprender la enseñanza de la estructura atómica de la materia, comprender el papel que el docente confiere a la Teoría Cuántica en esta enseñanza, las transformaciones que hace del conocimiento y de los elementos didácticos que asume como necesario. Esto conlleva a constituir una especie de filtro no solo para el análisis de la enseñanza, sino también para proyectar los resultados obtenidos, hacia la intervención que se proyecta, con el fin de lograr transformación de esta enseñanza.

Desde esta óptica, se ha diseñado un esquema (figura 1) que sistematiza la postura y visión frente al referente teórico que orienta esta investigación. Como se enunció antes, entendemos que el proceso enseñanza aprendizaje es un proceso multifactorial, no causal. Es decir, el aprendizaje no es necesariamente consecuencia de la enseñanza. Se asume, además, la enseñanza como un proceso dinámico e interactivo, que promueve la construcción de un conocimiento y que favorecería el aprendizaje.

Por tanto, desde el socio-constructivismo entendemos que se puede hablar de enseñanza como una relación dialógica entre quien enseña, el conocimiento a ser enseñado y quien aprende dicho conocimiento, en la perspectiva de su propia construcción.

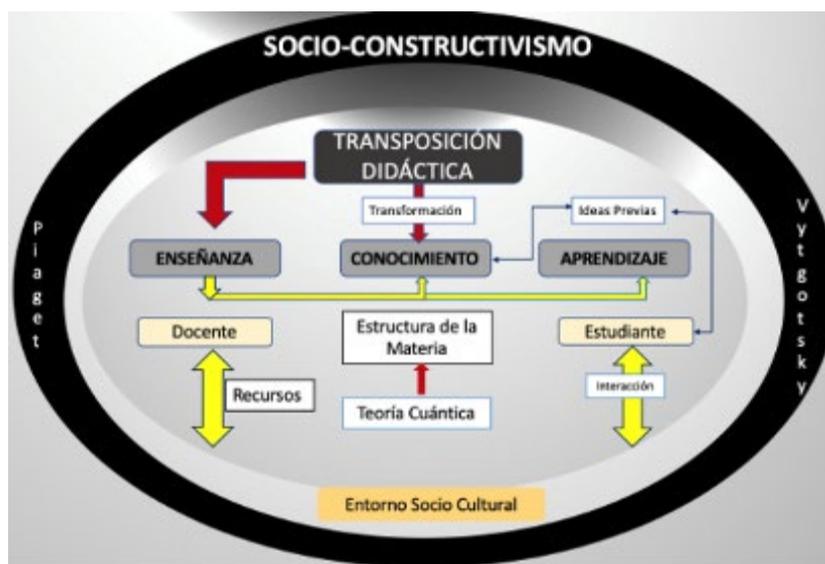


Figura 1. Esquema Marco teórico.

Fuente: esta investigación.

Se asume, el socio-constructivismo (Vygostki, 1979, Wertchs, 1993) como referente marco del proceso enseñanza – aprendizaje, pero a la vez, se considera fundamental enfatizar en la caracterización de la enseñanza. Para ello, se tomó como referente y apoyo la Transposición Didáctica de Chevallard (1998), porque desde la relación dialógica descrita, la enseñanza moviliza una serie de recursos didácticos y contextuales que transforman el conocimiento en un conocimiento escolar. Dicha transformación requiere de una atención especial, cada saber, cada conocimiento moviliza de forma diferente los recursos para su enseñanza, además, esta transformación no debe desvirtuar el conocimiento o alterarlo y convertirlo en un error.

Lo anterior se fundamenta en que, enseñar TC implica una base didáctica y epistemológica, que deberá relacionar, además de la construcción de conceptos, el aprender a hacer ciencia (procedimientos), la movilización de posturas epistemológicas y la relación con Cuestiones Socio-Científicas (CSC) (Hodson, 1992). Por tanto, se considera al constructivismo social como un referente amplio, que permite caracterizar la enseñanza y el aprendizaje.

Esta perspectiva teórica, asume el aprendizaje como un proceso de movilización de los saberes, de los recursos tanto personales como colectivos y de los que dispone el docente, lo que constituye una construcción y se ve afectado por el conocimiento, los contextos, las creencias y las actitudes de los alumnos y su aporte al aula (Sharma, 2014), (en la figura 1 el contexto socio cultural). Esto, permite pensar en una enseñanza, para Colombia, dentro de los contextos que esto significa: la normativa vigente, el desarrollo científico, los recursos, los libros de texto, las ideas previas de los estudiantes, entre otros.

El constructivismo social, es una teoría basada en el constructivismo cognitivo (Piaget, 1968a, 1968b, 1973), junto a las contribuciones de una construcción social del conocimiento de Vygotsky, y que, a la vez, surge como respuesta al paradigma conductista. Permite trabajar desde un plano social- interactivo y desde un plano personal (Vygotsky, 1978), entendido como “construir-conocimiento”, establece que el conocimiento, además de formarse a partir de las relaciones ambiente-sujeto, resulta de la interacción con el entorno social, y los nuevos conocimientos se forman a partir de los esquemas de quien aprende, el producto de su realidad y su interacción con los esquemas de los demás sujetos que lo rodean.

Inicialmente, el constructivismo otorgaría una primacía al sujeto, por lo cual su tesis central será la construcción de conocimientos a partir de lo que el sujeto ya conoce. Esta tesis, ampliamente aceptada por la comunidad científica, permite inferir que el aprendizaje es un proceso complejo, en el que no hay transferencia de conocimiento del profesor al estudiante, pero sí existe una relación entre quien enseña y quien aprende, a través de aquello que se aprende, de ahí que sea también relevante dicho conocimiento. Por ende, la enseñanza, debe ofrecer oportunidades para la construcción de significados (Driver, Newton y Osborne, 2000).

Quien aprende construye conocimientos, que se mantendrán si le resultan significativos. Es aquí donde se debe prestar atención a este conocimiento, que es temporalmente viable y no se define por siempre; requiere de una práctica reflexiva, se cuestiona; se sitúa en contextos y situaciones pertinentes en relación con las prácticas sociales establecidas (Jonnaert, 2001). Esto es especialmente revelador si se concierne a la Teoría

Cuántica, por cuanto los estudiantes reciben constantemente información relacionada con esta teoría a través de diferentes medios, de tal manera que, al relacionar el conocimiento científico trabajado en la escuela, éste adquiere mayor significatividad.

Para que los saberes sean significativos para el sujeto, deben ser articulados con recursos, que pueden ser afectivos, sociales o contextuales. De ahí que, en el proceso de construcción del conocimiento, los estudiantes desarrollan una serie de actividades mediadas además por aspectos emocionales y de valores que influyen en los procesos cognitivos (Zembylas, 2005). Nuevamente, el saber a enseñar -Teoría Cuántica-, ofrece la posibilidad de movilizar aspectos emocionales y de valores que le permiten al estudiante construir una posición frente a la construcción del conocimiento.

El socio-constructivismo, como teoría psicopedagógica, entiende el proceso de aprendizaje como un proceso activo, con un intercambio histórico-sociocultural; no atribuye ni a quien aprende, ni a quien enseña la actividad central de la construcción del conocimiento, sino a la interacción entre ellos (Barberà, 2006). Es desde esta correspondencia, que se comprende el papel del docente y del estudiante, y su vinculación a través de un saber específico como lo es la estructura atómica de la materia, avanzando en lo establecido por el constructivismo psicológico, donde el aprendizaje es personal, en el que el sujeto que aprende, construye a través del desarrollo de procesos inductivos y deductivos y poniendo a prueba su experiencia personal.

Ahora bien, trabajar desde el socio-constructivismo, implica partir de las ideas previas de los estudiantes. Pero, es necesario prestar mucha atención en el diseño de materiales que pudieran generar ideas erróneas que dificulten el aprendizaje. Más aún cuando la enseñanza y el aprendizaje de la estructura atómica de la materia parte del carácter abstracto del mundo sub-atómico. La investigación didáctica demuestra que las ideas de los estudiantes en este tema en particular, requiere de investigaciones específicas que proporcionen información para comprender las dificultades de los estudiantes y la idea de cómo abordarlas (Park y Light, 2009).

De igual manera, se asume el proceso no solo de incorporación del nuevo conocimiento, sino, también, de construcción conjunta del mismo, pues intervienen agentes sociales externos, que aportan los saberes culturales y, en las estrategias didácticas, se detecta una zona de desarrollo próximo (Vygotsky, 1978), que es la distancia entre lo que el alumno puede realizar solo y lo que podría realizar con ayuda de otra persona.

Asumir la construcción del conocimiento, en este caso, ligado a la estructura atómica de la materia y por ende a la TC, enfatiza en los aspectos activos y participativos del proceso de enseñanza - aprendizaje a través de diversas herramientas de comunicación, permite recurrir a escenarios de aprendizaje ligados a prácticas experimentales sencillas y, en un contexto familiar para el estudiante, crear y gestionar debates temáticos relacionados con Cuestiones Socio-Científicas, un campo que la investigación didáctica ha abordado ya (Solbes y Sinarcas, 2010), así también, realizar procesos y tareas, gestionar el tiempo a través de un esquema de trabajo integrado para el curso, que ofrece herramientas de comunicación entre los estudiantes.

Otro elemento conceptual del socio-constructivismo, que resulta valioso para esta investigación, consiste en referirse a las interacciones sociales con los pares o/y el docente, y con la naturaleza de los saberes (Jonnaert, 2001), característica que permite en el la TC, los objetivos que se pretenden al procurar su inclusión en los programas de educación secundaria y los objetivos mismos de su enseñanza en relación con la Estructura Atómica de la Materia. El constructivismo asume el aprendizaje esencialmente activo, que reconoce un papel relevante a quien aprende, el que, a su vez, incorpora a sus experiencias previas y a sus propias estructuras mentales el nuevo conocimiento.

En esta perspectiva, Bautier, Charlot y Rochex (2000, pp. 180-181) hablan sobre la correspondencia con los saberes como relación con el acto de aprender, con los saberes construidos como objetos sociales y culturales, con situaciones de aprendizaje; al ser ésta una relación de sentido y de valor: el individuo valora o devalúa los saberes y las actividades que tienen que ver con ellos, en función del sentido otorgado. Así, la aplicabilidad, y las relaciones con cuestiones socio-científicas de los conocimientos de la TC puede desarrollar significado para los estudiantes no solo por las aplicaciones tecnológicas, también con la necesidad de desmitificar cuestiones pseudocientíficas (Solbes, 2019), además porque el conocimiento actual depende en gran medida de los avances en este campo, por el uso de conceptos en documentales y películas de difusión científica y de ciencia ficción, así como del uso de estructuras de pensamiento relacionadas con esta teoría (Petit y Solbes, 2012).

El socio-constructivismo explica el proceso de construcción del conocimiento, pero ese proceso depende, entre otros factores, de la manera cómo es enseñado, tal como se explicó al inicio de este apartado. Así pues y de acuerdo con la naturaleza de esta investigación, fue necesaria una revisión de la enseñanza de un concepto específico como es la estructura atómica de la materia, el análisis de las estrategias y recursos que los docentes movilizan en la

enseñanza, así como el tratamiento que se da al conocimiento científico, por tanto, se tomó como referencia las nociones aportadas por la Teoría de la Transposición Didáctica, de Chevallard (1991), que asume una comprensible transformación entre el saber científico y el saber a enseñarse. Además, esta teoría, al reconocer esta transformación, implica una atención especial que evite la enseñanza de errores conceptuales.

La enseñanza de la estructura de la materia a la luz de la Transposición Didáctica.

En su trabajo, Chevallard (1991) define la transposición didáctica como un instrumento eficiente para analizar el proceso mediante el cual el conocimiento producido por los científicos al que se le ha denominado el saber Sabio, se convierte en el contenido en los programas que correspondería al conocimiento para enseñar y, el conocimiento que se produce en el aula de clases y que se denomina “el conocimiento enseñado”. Entonces, la enseñanza de un tema específico, conlleva una razonable transformación; sin embargo, esta transformación no puede ser de simplificar la teoría cuántica (o cualesquier saber a enseñarse) o resumirla.

Al respecto, se suscribe tal y como lo plantea Chevallard, que dicha transformación no puede ser una mera simplificación. Es, por lo tanto, un "nuevo" conocimiento que responde a dos dominios epistemológicos diferentes: la ciencia y el aula (Brockington y Pietrocola, 2005). Este aspecto es fundamental, porque el docente no es responsable de la producción del conocimiento científico, pero sí del dominio epistemológico que se genera en el aula, sobre ese conocimiento a enseñarse. Por tanto, bajo la premisa de “hacer comprensible” el conocimiento, se es responsable de su transformación en el saber enseñado.

Un aspecto importante en la enseñanza, está en reflexionar sobre el contenido a enseñar (Otero, 1989), esta reflexión debería estar enfocada hacia establecer no solo el cómo, sino a prever todo el sistema del aula en torno a dicho contenido. Es decir, cada contenido generará un sistema diferente a la hora de enseñarlo, obviamente, el contexto en el que se enseña dará un matiz especial, así como los recursos que se utilicen implicará que en conjunto se genere una transformación. Cuando el docente genera un proceso de planificación de qué, cómo, cuándo, con qué y a quién enseña, debería prever qué tanto se transforma el conocimiento -transformación que ha comenzado tiempo atrás- y cómo evitar que la transformación se convierta en un saber que se desvirtúa.

La selección y uso de estrategias didácticas, no solo deben apuntar a hacer un conocimiento “agradable” para el estudiante, estrategias que simplifican el saber podrían tener consecuencias contrarias a lo que se pretende enseñar. El proceso de enseñanza no tiene como objetivo hacer fácil un contenido, de ahí que se requiera una conjunción de elementos para hacer significativo el conocimiento en un escenario de construcción, en el que como se ha dicho antes, quién enseña, quién aprende (construyendo) y aquello que se enseña tengan un papel importante; lamentablemente, el docente no siempre presta atención a la transformación que él genera y que constituye en conjunto la transposición didáctica.

En este aspecto, cobran importancia investigaciones desde la didáctica de las ciencias y la posibilidad de ejercer vigilancia epistemológica, necesaria para evitar una enseñanza restringida solo a la historia de la ciencia, o carente de los conceptos mínimos establecidos en la teoría, lo que constituiría una enseñanza descriptiva o muy formalista. El principio de vigilancia epistemológica en la transposición didáctica es una de las condiciones que determinan “la posibilidad de un *análisis científico* del sistema didáctico” (Chevallard, 1991), por eso y más allá de este principio, corresponde a la investigación didáctica: tomar en cuenta las representaciones tanto de estudiantes como de profesores e integrar la idea de contrato didáctico al análisis (Barberà, 2005).

Consideramos de especial importancia revisar la transposición de esta temática, pues, como se ha argumentado en la descripción del problema, enseñar estructura de la materia sin la base de la TC deja carencias conceptuales y/o genera errores y dificultades en los estudiantes. En este sentido, otro concepto fundamental, tomado de la Teoría de la Transposición Didáctica de Chevallard (1998), es el envejecimiento biológico, que ha sido explicado como un distanciamiento de la enseñanza con respecto a los avances científicos o descrito como “el saber enseñado se vuelve viejo con relación a la sociedad; un aporte nuevo vuelve a estrechar la distancia con el saber sabio, este es origen de los procesos de transposición didáctica” (Chevallard, 1985. p. 26).

Esta situación preocupa y es objeto de esta investigación, pues, no se aborda el desarrollo de la ciencia desde inicios del siglo XX, en la enseñanza de la estructura de la materia. Esta disconformidad con el saber correspondiente a la comunidad científica, ya sea porque los progresos de la investigación han revelado falsos los resultados que son enseñados en la escuela o porque nuevas adquisiciones o conocimientos han sido elaboradas (Gómez, 2005), pone de manifiesto un problema en la enseñanza de la estructura atómica de la materia,

pues específicamente en este tema, se enseñan modelos que la ciencia ha advertido de sus incongruencias desde mucho tiempo atrás.

El distanciamiento entre el saber a enseñarse y el saber que se ha denominado sabio, constituye una brecha que la padecen los estudiantes, pero que el profesor podría procurar cerrar. Sin embargo, el profesor no siempre es consciente de dicho distanciamiento, al igual que los currículos que rigen su labor.

De igual manera, es necesario vigilar que el saber que se enseña en torno a la temática de Estructura Atómica de la Materia no se desvirtúe, no pierda su esencia, sea trivial o se contradiga con los planteamientos de la TC, pues se corre el riesgo de generar errores, como los que se describirán en este documento. En este sentido, la transposición didáctica de Chevallard ofrece un marco referencial prolijo para el análisis de los datos y la estructuración de una propuesta para la enseñanza y aprendizaje.

La idea del Sistema Didáctico de Chevallard (1998) corresponde a una relación ternaria entre quien enseña, quien aprende y el saber, como elemento constitutivo fundamental. Asumir el saber, en términos de un elemento importante para el sistema, es otra de las razones por las cuales se considera pertinente este referente. Como se enunció antes, es necesario un análisis que permita establecer un hilo conductor apegado al desarrollo de la TC en la enseñanza de la estructura atómica de la materia, determinar aquellos elementos conceptuales y epistemológicos necesarios para lograr su comprensión, así como escenarios que facilitasen quiebres epistemológicos relacionados con los aspectos contra intuitivos de la teoría.

En esta investigación se entiende el sistema didáctico como un ecosistema en el que el conocimiento se transforma a través de un proceso dinámico y dialógico. Dicha transformación no es responsabilidad exclusiva del docente; en los libros de texto también se lleva a cabo una transformación del conocimiento que se lleva al aula, pero sí es responsabilidad del docente una mirada crítica al contenido de los libros de texto. De igual manera, en este sistema didáctico y cómo le corresponde a la Teoría de la Transposición Didáctica, se encuentran el estudiante y el contexto socio-cultural y educativo en el que se desenvuelve el proceso de enseñanza - aprendizaje y el docente en un subsistema que los vincula con los libros de texto y el conocimiento mismo. La representación que se muestra a continuación (figura 2), es una abstracción muy general, cada vez que se plantea el proceso de enseñanza – aprendizaje; este sistema es nuevo y se generan nuevas transformaciones, en la

que se hace evidente una relación entre el conocimiento científico, el conocimiento a enseñar y el conocimiento enseñado, en un determinado contexto y con unos determinados actores.



Figura 2. Sistema didáctico.

Fuente: esta investigación.

Cabe señalar que, tanto la Teoría de la Transposición Didáctica, como el socio-constructivismo, asumen la relevancia del contexto en la enseñanza; el contexto no solamente como escenario de aprendizaje, sino como nicho sociocultural, en el que se originan los presaberes de los estudiantes y constituye un elemento del sistema didáctico que deberá tenerse en cuenta en la estructuración de una propuesta para la enseñanza.

De esta manera, en esta investigación se asume el socio-constructivismo como un referente amplio, en el que se desenvuelven e interactúan los agentes del sistema didáctico, a través de una relación dialógica y dinámica, cada uno con un papel protagónico alrededor de un objetivo básico que es el aprendizaje de un saber específico, en este caso la teoría cuántica en el contexto de la estructura de la materia.

Debido al planteamiento didáctico de la investigación, se presta especial atención a la enseñanza, entendida como se ha dicho, como un proceso de movilización de recursos para una transposición que propende por la construcción de un saber en los estudiantes.

3.2.1. Enseñanza de la Estructura de la Materia.

A continuación, se describe cómo la investigación didáctica, pone de manifiesto problemas en la enseñanza de la teoría cuántica y cómo estos problemas desembocan en dificultades en la comprensión de dichos temas.

Aunque se ha considerado que la química es una disciplina difícil de aprender debido a los conceptos abstractos que involucra, su enseñanza no puede trivializarse con miras a facilitar su aprendizaje (Sirhan, 2007). Justamente, uno de esos conceptos abstractos, es el concepto de materia y su estructura, que además es central en la enseñanza y aprendizaje de la química (Henaio-García y Tamayo-Alzate, 2010); ofrece a los estudiantes un campo amplio de conocimientos, se relaciona muy bien con temas de su interés y con las aplicaciones tecnológicas que los rodean, de ahí la importancia de una investigación en este campo.

Con respecto a esta temática, fácilmente surgen preguntas habituales en clase de química e incluso de física, como: ¿con un microscopio puedo ver el átomo? o ¿por qué no se repelen los protones en el núcleo, si tienen la misma carga? Estas preguntas solo pueden contestarse a la luz la física moderna y específicamente de la TC; no hacerlo, desde ese basamento teórico o evadir su respuesta, lleva a generar errores conceptuales difíciles de superar (Tuzón, y Solbes, 2014).

Por tanto, la hipótesis planteada se justifica en: si la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia se realiza a través de un recorrido solamente cronológico que van desde Dalton, pasa a los modelos atómicos de Thomson y Rutherford, llegando al de Bohr, donde prácticamente finaliza, sin fundamento en la Teoría Cuántica, será una enseñanza caracterizada por la ambigüedad y el formalismo y se sustentará en la presentación acrítica de los modelos atómicos (Solbes et al., 2010, Tuzón y Solbes, 2014). Lo cual constituye en un problema conceptual. Entendemos la enseñanza descriptiva, como aquella que solo hace una narración cronológica de los modelos atómicos, escasa cuando solo llega al átomo de Bohr y que omite la fundamentación cuántica, formalista aquella ajustada únicamente a los currículos envejecidos y desactualizados.

Por otra parte, la enseñanza de la estructura atómica de la materia conlleva una fuerte carga conceptual y epistemológica. Los estudiantes podrían conceptualizar un poco más la noción de átomo, porque la trabajan desde inicio de su formación secundaria, no así, otras nociones fundamentales como fotón, isótopo, la idea elemento, estos conceptos han evolucionado a lo largo de la historia de la ciencia y su perfeccionamiento ha requerido de quiebres conceptuales y epistemológicos para su contextualización en los nuevos paradigmas científicos.

Por lo anterior, la materia, compuesta por doce objetos cuánticos (6 quarks y 6 leptones) que interaccionan entre sí a través de las fuerzas fuerte, débil, gravitatoria y electromagnética, mediante los bosones intermediarios (Tuzón y Sobes, 2014), requiere de un

tratamiento especial en los sistemas de enseñanza, fundamentalmente en química y física. Por tanto, su enseñanza desde la Teoría Cuántica es necesaria para lograr comprensión de fenómenos naturales, comprender la estructura atómica de los átomos, su orden en la tabla periódica, los enlaces de las moléculas, las propiedades eléctricas y magnéticas en general, lo que podría ayudar a comprender un poco más el desarrollo industrial, electrónico y de comunicaciones del momento (Solbes et al., 1987b, Sinarcas y Solbes, 2013; Chaves y Shellard, 2005). Es necesario tener en cuenta que esta teoría no se aplica solo a sistemas microscópicos, sino también a dispositivos macroscópicos que forma parte de la cotidianidad como el láser, los diodos, transistores y *chips*, y a otros sistemas macros como la superconductividad (trenes magnéticos), superfluidez o la explicación de la estabilidad de las estrellas blancas y de neutrones desde el principio de exclusión.

Es así como, el modelo cuántico del átomo es necesario para comprender la estructura electrónica de los átomos, el ordenamiento periódico y los enlaces de las moléculas (Solbes et al., 1987a); además, la TC permite explicar la evolución de fenómenos microscópicos, los avances en otras disciplinas, como la biología e incluso la medicina; igualmente, para comprender mejor las teorías clásicas y demostrar sus límites de validez y diferencias con la TC (Sinarcas y Solbes, 2013). Una enseñanza que no contemple el quiebre y muestre los límites de validez de las teorías, también constituye un problema de corte conceptual e incluso epistemológico. Por eso, no se justifica una enseñanza formalista de temas parcelados, en que los conceptos surgen mágicamente y, luego, solo es necesario recurrir a la memoria de expresiones matemáticas, sin que existiera comprensión.

También, cabe hacer énfasis en que abordar la TC aporta a la comprensión de los aspectos relacionados con una imagen más apropiada del desarrollo de la ciencia, con lo que se abandona la ingenuidad sobre el absolutismo y conocimiento pleno, las crisis de las sociedades actuales, del trabajo de los científicos y su interacción con asuntos socio-científicos; además, en la escuela se debería aprovechar el creciente interés que los temas relacionados con la ciencia moderna despiertan en los estudiantes (Ostermann y Moreira, 2000; Sinarcas y Solbes, 2013).

En este sentido, es importante trabajar con los estudiantes la estructura de las teorías científicas que, en el caso de la TC tiene un formalismo exitoso para predecir y explicar los sistemas físicos, pero esta teoría no tiene una interpretación universalmente aceptada y carente de ambigüedades, situación que favorece interpretacionesseudocientíficas (De la Torre, 2000, Solbes, 2013). Estas interpretacionesseudocientíficas comprometen seriamente

el avance del conocimiento en las sociedades, lo que justifica aún más su tratamiento en el aula de clase. Por tanto, resulta válido enfatizar en el requerimiento de la preparación de los docentes para que la enseñanza de estos temas se adelantara de forma apegada a los criterios científicos.

Desde su surgimiento, la TC ha generado una verdadera revolución cognitiva, debido a que exige una nueva forma de percibir los fenómenos; además, las ideas y conceptos, tales como determinismo, localidad o simplemente trayectoria, comprensibles no solo en el ámbito académico, sino en el cultural (Greca y Herscovitz, 2002). Esto lleva, también, a considerar la necesidad de una revolución en la forma cómo se asumen estos temas en la enseñanza; no se justifican currículos para la educación secundaria que solo alcanzan el desarrollo de las ciencias hasta el siglo XIX (Oliveira et al., 2007; Moreira, 2007).

Solbes y Sinarcas (2010) recomiendan hacer notar cómo las ideas introducidas de cuantificación, comportamiento cuántico de los fotones, electrones, etc. (cuantos) y probabilidad, constituyen las principales características de la TC y, desde ellas, es posible responder a preguntas básicas como: ¿cómo se define el estado de un sistema y qué magnitudes lo caracterizan?, ¿cuáles son los valores posibles de cada magnitud?, ¿cuál es la probabilidad de encontrar cada uno de esos valores, si se establece una medida? y ¿cómo evoluciona el estado del sistema en el tiempo? Si esto, además, se articula a la construcción de un pensamiento crítico respecto al desarrollo científico y humano, se avanza hacia una enseñanza reflexiva y no repetitiva.

Pese a que la enseñanza de la TC se justifica ampliamente y se fundamenta en la investigación didáctica, es importante tener en cuenta lo enunciado por Fanaro (2009), que establece como factores que limitan la introducción de estos temas, en la educación secundaria: el desconocimiento de conceptos cuánticos asociados a las dificultades en la comprensión de conceptos clásicos por parte de los alumnos, la complejidad de las matemáticas incluidas, las propuestas de los libros de texto y la formación del profesor.

Estos factores no solo limitan la incursión de la TC en la escuela secundaria, sino permiten corroborar las conclusiones de Solbes et al. (1987a, 1987b, 2010, 2013) relacionadas con la enseñanza de esta teoría, ya que su enseñanza tradicionalista podría generar dificultades en la comprensión de estos temas; estas dificultades se pueden agrupar como ontológicas, epistemológicas y conceptuales.

Las dificultades ontológicas se relacionan con la falta de comprensión de que los objetos cuánticos no son ni ondas ni partículas, sino objetos nuevos, con un comportamiento

nuevo (Sinarcas y Solbes, 2013); este aspecto es crucial cuando se trata de establecer el quiebre entre la mecánica clásica y la mecánica cuántica, que se ha considerado necesario para la comprensión de esta temática. Específicamente, la transposición didáctica de la “dualidad de los objetos cuánticos”, es un aspecto que determina la falta de comprensión de los objetos cuánticos, un tratamiento simplificado de los mismos genera interpretaciones ingenuas tanto en docentes como en estudiantes, pudiendo sencillamente retroceder el debate a Newton y Huygens con respecto a la naturaleza de la luz.

Es necesario enfatizar en la nueva naturaleza de los objetos cuánticos, en contraposición de la física clásica en donde el carácter corpuscular y ondulatorio, son concebidos, bien definidos y diferenciados, incluso con características incompatibles entre sí. Los trabajos de Louis de Broglie (1892-1987) demuestran la naturaleza de los objetos cuánticos, lo cual resulta desconcertante pero ineludible frente al basamento experimental. Este punto de ruptura con la física clásica tiene consecuencias sobre la estructura de la materia, relacionadas entre otras con la indeterminación de los sistemas cuánticos, por tanto, la imposibilidad de hablar de trayectoria, posición o localización.

El segundo tipo de dificultades es de carácter epistemológico, pues se relaciona con lo que se puede o no conocer; los estatutos de científicidad admitidos para concepciones pseudocientíficas, se materializan en la dificultad para comprender las relaciones de indeterminación de Heisenberg y trasladar su indeterminación a un error en las medidas, o fallas en los instrumentos de medida (Solbes y Sinarcas, 2009); en este campo, se ha especulado mucho en las interpretaciones y conviene mencionar que, dado el carácter contraintuitivo de la TC, se aprovecha para malas deducciones que atribuyen la indeterminación a la observación o que asignan las propiedades de los electrones a las decisiones conscientes del observador, lo que les lleva a afirmar que la mente o la consciencia, pueden curar el cuerpo (Solbes, 2013).

Comprender las relaciones de indeterminación, implica asumir primero el comportamiento dual de los objetos cuánticos, comprender que en los sistemas cuánticos existen magnitudes conjugadas no mensurables de manera simultánea. Lo anterior, contradice la posibilidad de cuantificar y determinar con exactitud los objetos clásicos. La noción de certeza es fundamental en la física clásica, de ahí que este problema epistemológico sobrepasa la falta de comprensión de un concepto y pone de plano el problema de un pensamiento determinista y mecanicista marco de la mecánica clásica, en el que no cabe la probabilidad.

En este problema epistemológico, como lo describe Solbes y Sinarcas (2009), se traslada la indeterminación de los objetos cuánticos a un problema de medida, que se limita por fallas que pueden ser técnicas o de los instrumentos con que se mide, incluso se espera en un futuro que con mejores aparatos de medida, superar la indeterminación, tal como en la física clásica en la que se determina posición y velocidad con precisión, y las limitaciones de técnica y de cálculo pueden corregirse para un resultado más certero. Pero, es necesario aclarar que, la indeterminación es fundamental para acercarse a la teoría cuántica, pues es inherente a la naturaleza de los objetos cuánticos y de sus magnitudes conjugadas, independientemente de los aparatos y técnicas de medida.

Otra dificultad es de carácter conceptual, al no asumir como necesario el modelo cuántico para comprender la estructura de los átomos; en este sentido, se ha separado la estructura atómica de la disposición electrónica y su relación con el ordenamiento periódico y el tipo de enlace; por tanto, no se vincula conceptualmente la TC con estos temas, lo que genera un vacío conceptual que favorece una mala comprensión de esta temática.

En este punto, es necesario referir lo planteado por Villaveces (2000), cuando señala la ausencia de los químicos en el debate epistemológico. El autor explica que esta ausencia se puede deber a la inadecuada relación entre química y física, que le “delegó a la física la responsabilidad de pensar la química”. Esta carencia de pensar la química se ve proyectada, también, en las aulas colombianas, donde la enseñanza de la química se determina por lo planteado por Chamizo (2005): nomenclatura, estequiometría y método, sin dar lugar a pensar la química o introducir la TC.

Una vez enunciadas las dificultades, también es necesario referir, tal como se plantea en los antecedentes de la investigación, como rutas generalmente utilizadas para la enseñanza de la TC: la ruta histórica, que ha tenido un amplio desarrollo en la educación secundaria, con una presentación cronológica del desarrollo de la teoría. Por otra parte, una ruta empírica, donde se enfatiza en una enseñanza a partir de la difracción de electrones o la reconstrucción de experimentos sencillos y, por último, la ruta con un enfoque netamente matemático, que se trabaja en el nivel superior (Solbes y Sinarcas, 2013).

Descrita la situación anterior, es necesario referirse a los procesos de formación de los profesores, porque, en la concepción tanto de docentes como de estudiantes, la visión positivista aún persiste en torno a cómo se asumen la química, la física y las matemáticas (Vázquez, Acevedo, y Manassero, 2005), visión que incide de forma directa en la imagen de ciencia y la relación del estudiante con estas áreas del conocimiento.

De igual manera, no se debe desconocer que a la enseñanza de la TC se le atribuye una sobredimensionada complejidad, pese a reconocer que los problemas de aprendizaje relacionados con esta área del conocimiento no son exclusivamente consecuencia de la naturaleza de la disciplina como tal, sino de la forma acrítica de enseñarla (Greca e Herscovitz, 2002; Solbes y Sinarcas, 2009; Sinarcas y Solbes, 2013). Esto confluye en la necesidad de fortalecer los programas con que se forman los futuros docentes. Es necesario preparar al docente de ciencias con las herramientas científicas y didácticas adecuadas para abordar con confianza esta línea de enseñanza, pues la “piedra angular” para lograr una verdadera renovación en la educación científica es la formación del profesorado (Vilches, y Gil-Pérez, 2007).

Al respecto, Gallego (2004) plantea la necesidad de un análisis en torno a los paradigmas epistemológicos, pedagógicos y didácticos fundamentales de los programas de formación inicial de profesores de ciencias en Colombia. Dada la importancia que reviste la preparación docente en el desarrollo de su práctica pedagógica y didáctica, un profesor, al no contar con los elementos necesarios en su formación, no podrá estructurar una enseñanza acorde a los requerimientos actuales y, de hacerlo, le resultará complicado y podrá promoverla de forma inadecuada.

La descripción anterior permite deducir que, las dificultades en la comprensión de temas de la teoría cuántica, se relacionan entre otros, con su enseñanza. Una enseñanza simplista, la baja preparación de los docentes y la transposición de estos temas que se hace en los libros de texto configuran dificultades de orden ontológico, epistemológico y conceptual. No se trata únicamente de la naturaleza del saber de la teoría, sino también de la manera acrítica de la enseñanza. Las dificultades descritas ponen de manifiesto la necesidad de que la enseñanza acentúe el quiebre entre la física clásica y la teoría cuántica. En el caso específico de Colombia, las dificultades conceptuales subyacen de la falta de asumir el modelo cuántico en la enseñanza de la estructura de la materia.

Una mirada desde la Historia de la ciencia.

En este apartado, se hace una sucinta presentación del surgimiento de la Teoría Cuántica. No es pretensión abarcar el recorrido histórico, se trata de contextualizar la investigación en el marco de esta teoría y sus aportes a la comprensión de la estructura de la materia.

Como ya se ha señalado, la Historia de las ciencias, no como una crono-descripción de hechos y anécdotas, sino como actividades que muestran la naturaleza de la ciencia (NdC) y la sitúan en su contexto sociopolítico, con la introducción de Cuestiones Socio-Científicas, es un elemento didáctico que, además, contextualiza el saber científico y fortalece la enseñanza de las Ciencias Naturales, así como la capacidad de asumir un papel activo en decisiones sociales (Solbes y Torres, 2012).

A continuación, se presenta de manera concisa el desarrollo de los principales saberes relacionados con la TC.

La concepción de la construcción de ciencia como un proceso dinámico, en el que una teoría o un campo de investigación, para ser aceptado como paradigma, “debe parecer mejor que sus competidoras; pero no necesita explicar y, en efecto, nunca lo hace, todos los hechos que se puedan confrontar con ella” (Kuhn, 1962), es un punto de partida para el estudio de la evolución de los modelos atómicos y la estructuración de la Teoría Atómica Molecular, así mismos de la TC. Se entenderá entonces que, la construcción de la ciencia no es un juego de refutaciones ingenuas, sino un proceso de profundas confrontaciones en las que al final no todo será develado o explicado, pero que la riqueza está justamente en la lógica en que se presenta los quiebres, desde los que se pretende presentar una alternativa que contribuya a la Enseñanza Teoría Cuántica (Muñoz Burbano, 2018).

El estudio de la Estructura de la Materia, no solo se remonta a la teoría atómica de Dalton, si se pretende hacer énfasis en rupturas epistemológicas, se considera necesario al menos referirse a las disertaciones filosóficas en Grecia, que consolidaron la idea de materia para el mundo occidental principalmente. La concepción filosófica del átomo de Demócrito y su enfrentamiento teórico con la concepción de los cuatro elementos de Aristóteles es un escenario importante para el fortalecimiento de una idea de materia discontinua.

La idea de átomo de Dalton (1766-1844), es el punto de partida para la Teoría Atómica moderna, sin embargo, esta idea tomaría como fundamento, los trabajos de Boyle (1627- 1691), Lavoisier (1743-1789), Priestley (1733-1804), Cavendish (1731-1810), Proust (1754-1826), entre otros. Dalton, trabajaba en meteorología, la composición de la atmósfera y la solubilidad de los gases en agua. En los trabajos de 1808 y 1810, presentó los lineamientos de la teoría atómica, que se describen en los siguientes postulados:

- La materia se compone de partículas, muy pequeñas para ser vistas, llamadas átomos.
- Los átomos de un elemento son idénticos en todas sus propiedades, incluyendo el peso.

- Diferentes elementos están hechos a partir de diferentes átomos.
- Los compuestos químicos se forman de la combinación de átomos de dos o más elementos, en un átomo compuesto.
- Los átomos son indivisibles y conservan sus características durante las reacciones químicas.
- En cualquier reacción química, los átomos se combinan en proporciones numéricas simples.

Dalton, además propone una primera aproximación a tabla periódica basada en pesos atómicos, dicha tabla presenta errores, tales como considerar elemento a sustancias que hoy en día se sabe son compuestos como la “sosa” y la “potasa”, pero es importante reconocer este aporte. Después de algunos años, cuando se logró ordenar los elementos por sus pesos atómicos, se generaron los intentos por su clasificación, como es el caso de Chancourtis (1819-1886), Döbereiner (1780-1849), Newlands (1837-1898), hasta que se enunciara la ley periódica con el trabajo de Mendeleiev (1834-1907), trabajo que prevaleció por su capacidad de predicción, sobre el trabajo igualmente importante de Meyer (1830-1895), que se basó en los volúmenes atómicos.

El inesperado evento en el que se propone el concepto de electrón (1897), al igual que la neutralidad del átomo, son fundamentales para la estructuración del modelo atómico de Thomson (Caamaño, 2018). Un modelo que inicialmente no tendría respaldo experimental, situación que no es aclarada debidamente en los libros de texto (Domènech et al., 2013). Incluso, inicialmente Thomson supuso un número de aproximadamente 1.000 electrones para el átomo de hidrógeno. Además, inicialmente, se consideraba que los rayos catódicos eran torrentes de moléculas ionizadas o fluctuaciones producidas en el éter. El descubrimiento del electrón, tienen una importancia didáctica y epistemológica, al permitir deducir la divisibilidad del átomo.

Otro hecho importante, relacionado con el modelo atómico de Thomson se refiere a la movilidad de los corpúsculos (electrones), el símil del “pudín de pasas” introduce la idea de corpúsculos estáticos, sin tener en cuenta, el carácter dinámico de los corpúsculos que podían estar tanto en reposo, como en movimiento en anillos concéntricos (Moreno, 2018).

El experimento de dispersión de los rayos alfa, realizado por Geiger y Mardsen, bajo la dirección de Rutherford, evidencian la imposibilidad de una masa de carga positiva en la que se encontraban incrustados los electrones. Surge entonces, la concepción de un átomo nuclear. Con respecto al modelo atómico de Rutherford, una de las imágenes más arraigadas

entre los estudiantes y el público en general, es necesario enunciar, que el modelo de 1911 solo asumía que la carga de cierto signo, se concentraba en una región del átomo, teniendo la corteza, carga opuesta (Moreno, 2018).

A finales del siglo XIX, la física parecía haber llegado a un punto de cierre, con leyes y principios establecidos y los pilares de la mecánica newtoniana y la teoría electromagnética. Esta física surgió ante la incapacidad de la física aristotélica-escolástica de explicar adecuadamente fenómenos como el movimiento; se había posicionado con un poder explicativo que se creía absoluto, no se trataba de solo ver la naturaleza de una manera diferente, tenía un desarrollo metodológico claramente establecido.

Es necesario recordar que desde el siglo XVII y XVIII, la tesis de Newton sobre la naturaleza corpuscular de la luz se enfrentaba a la tesis de Huygens en la cual la luz ostentaba un comportamiento ondulatorio. Todo parecía resuelto cuando en el siglo XIX Thomas Young con el experimento de la doble rendija demostraría experimentalmente que la luz tenía comportamiento ondulatorio, lo que excluiría la idea de que Newton tuviera razón.

El inicio del siglo XX traería consigo una serie de problemas relacionados con la explicación de la emisión y absorción de ondas electromagnéticas. Los trabajos de Hertz (1887), Stoletow (1888) y Lenard (1889) permitieron comprobar que la materia sometida a radiación de longitud de onda corta emite electrones, pero para cada metal existe una frecuencia umbral ν_0 para la radiación, de tal manera que no se produciría radiación para valores menores de dicha frecuencia. La física clásica no podía explicar este fenómeno, pues, desde esta teoría, la energía se reparte uniformemente en la onda y, por tanto, el electrón recibiría energía de forma continua y proporcional a la intensidad de la onda.

Einstein (1905) supuso que la energía se emitía, transfería y absorbía discontinuamente y no solo se absorbía, como lo suponía Planck, de donde se concluye que la radiación monocromática de frecuencia ν se comporta como si constara de un número finito de cuantos denominados fotones y con energía $E = h\nu$. Esto constituiría la interpretación del efecto fotoeléctrico: si un fotón que incide sobre un material tiene una energía, $E = h\nu$, mayor que la función trabajo de éste (W), el electrón es arrancado del material, pero si la energía es menor, él no puede escapar de la superficie. Ahora, si el electrón asimila la energía del fotón, ésta es invertida para liberar el electrón del átomo y el resto contribuye a su energía cinética $\frac{1}{2}mv^2$, tornando a éste en una partícula libre. Por lo tanto, se debe cumplir la siguiente ley de conservación $\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - W$.

El hecho de que Einstein debiera considerar que la luz, clásicamente como un fenómeno ondulatorio, exhibiera comportamiento corpuscular, marcaría un antes y un después para la comprensión de los fenómenos naturales. Utilizar la cuantización de la energía explica por qué cada fotón incidirá individualmente sobre la superficie del metal, para arrancar un electrón solo en el caso de que su energía $h\nu$ fuese superior a la función trabajo. Ello explica que el efecto fotoeléctrico no se presentase por debajo de una frecuencia umbral y no aumentase el número de electrones emitidos, aunque aumentara la intensidad luminosa; también, explica que la energía cinética fuese independiente de la intensidad y creciera con la frecuencia. El hecho de que la emisión de electrones fuera prácticamente instantánea, se puede justificar con dicha hipótesis (Solbes y Sinarcas, 2010).

El Efecto fotoeléctrico se conocía desde finales del siglo XIX; aparecía cuando determinados metales se iluminaban con luz cuya frecuencia era igual o superior a un valor mínimo, diferente para cada tipo de metal, lo que era un hecho peculiar, que no encajaba con las previsiones de las teorías del momento. La física de la época afirmaba que la energía de los electrones emitidos dependería de la intensidad de la luz y no de su frecuencia. Este hecho, comparado con los grandes avances de la física en el siglo XVIII y XIX, pareciera sin importancia, pero se constituiría en un indicio de que algo no estaba bien.

De ahí que, la importancia radical de la explicación realizada por Einstein sobre el efecto fotoeléctrico, que le valdría el Premio Nobel, pues llevaba a pensar en que la radiación podía tener propiedades corpusculares.

El Modelo de Bohr.

Los modelos atómicos clásicos no podían explicar algunos fenómenos observados; el modelo de Thomson era incapaz de explicar la dispersión de partículas alfa por una fina lámina de oro (Geiger y Mardsen, 1909). De igual manera, el modelo de Rutherford no se ajustaba a la teoría electromagnética clásica y tampoco podía explicar el espectro discontinuo de los átomos y, justamente, este sería otro hecho que pondría a la ciencia, específicamente a la espectroscopia -disciplina con sus avances al servicio de la física y la química-, nuevamente en crisis. La teoría electromagnética predecía la emisión de luz como una serie continua de colores, pero, al igual que con las predicciones relacionadas al efecto fotoeléctrico, la experimentación demostraría lo contrario.

Las leyes clásicas que describían el movimiento, y le hubieran permitido a la Física Clásica posicionarse como una ciencia absoluta y prácticamente acabada, requerían ahora nuevos conceptos y nuevos principios. Así, en Mecánica Clásica, si se conoce la ecuación de movimiento *y* el estado del sistema en un instante dado, o sea las condiciones iniciales, permitirá determinar el estado en cualquier otro instante.

Ahora bien, el atractivo modelo de Rutherford era insostenible, ya que, al aplicar las leyes del electromagnetismo, los electrones emitirían radiación, con lo cual los átomos debían haber colapsado y, por tanto, la existencia de la materia no era posible. Pero como la existencia de la materia es indiscutible, nuevamente la física clásica se enfrentaría a sus propias predicciones.

Bohr, discípulo de Rutherford, trató de conciliar el modelo planetario con la estabilidad del átomo y las líneas espectrales; él aplicó las nuevas ideas cuánticas de la teoría de Einstein al modelo nuclear de Rutherford y postuló que el electrón se mueve en una órbita circular alrededor del núcleo atómico, solo en aquellas órbitas en las que el momento angular cumple con la condición de cuantización: $mvr = n \frac{h}{2}$; así, el electrón se moverá en la órbita permitida sin radiar energía electromagnética. Ahora, la emisión o absorción de energía radiante se realiza cuando el electrón pasa de una órbita a otra, lo que constituiría saltos discontinuos, destruyendo así la idea de un átomo como un sistema planetario en miniatura.

El problema del átomo de Rutherford se podía superar al introducir a los estados del electrón la cuantización, tanto de la energía como en el momento angular; el electrón solo podrá estar en valores de energía y momento angular bien definidos. De igual manera, el modelo de Bohr pudo explicar los espectros de absorción y emisión del hidrógeno.

El misterio de las líneas espectroscópicas y la estabilidad de los átomos parecían quedar resueltas, pues la excitación y el descenso a una órbita inferior de los electrones serían responsables de los espectros de absorción y emisión, así como la presencia de líneas en lugar de bandas continuas. A su vez, la cuantización de los electrones en órbitas circulares fijas alrededor del núcleo y en distancias determinadas explicaban la estabilidad del átomo.

Bohr 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. Respecto a la teoría de Bohr, Einstein se cuestiona: ¿por qué no emite el átomo en su estado fundamental? ¿qué sucede cuando pasa de un estado a otro? Y ¿qué leyes determinan las probabilidades de las transiciones? Para responder los interrogantes planteados, Bohr acepta

la existencia de estados discretos de energía, toma la estadística de Boltzmann y calcula la probabilidad de que las moléculas estuviesen en un estado de energía E_n .

Lo que se ha descrito, junto con los trabajos de Planck, se considerarán solo como el inicio de la Mecánica Cuántica. Louis de Broglie, quien, en su tesis doctoral *Investigaciones sobre la teoría de los cuantos*, da un paso adelante al introducir como hipótesis el comportamiento ondulatorio, además del corpuscular a cualquier objeto, tal como los electrones. Al ser así, relacionó las magnitudes características del aspecto ondulatorio (longitud de onda) con las del corpuscular (cantidad de movimiento).

Pero, de nuevo, los planteamientos de Louis de Broglie traerían consigo una compleja paradoja: el comportamiento corpuscular de un fenómeno ondulatorio y el comportamiento ondulatorio de un objeto asumido como partícula. Feynman (1971) lo explicará al decir: “no se comportan como ninguna de ellas, no es como ninguna de las dos”. Entonces, protones, electrones, neutrones, fotones, no son ni pequeñas partículas, ni pequeñas ondas; son objetos cuánticos y tienen un comportamiento cuántico, por lo que satisfacen las relaciones de indeterminación de Heisenberg: $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$ (una de las ecuaciones que recibe un mal tratamiento en los libros de texto).

Werner Heisenberg (1901-1976), desarrolló una explicación matemática basado en matrices. En 1927 planteó las relaciones de indeterminación. Las relaciones de indeterminación, consecuencia del comportamiento dual de la materia, dan cuerpo a uno de los más fuertes cuestionamientos a la física clásica, pues el universo desde la ciencia clásica se concibe desde los inicios del pensamiento occidental rígidamente causal, determinista, en el que no cabe la probabilidad o la indeterminación.

El acervo de la ciencia clásica, permite conocer con total precisión y de manera simultánea, tanto el momento como la posición de un sistema físico, de igual manera, establece que la acción de fuerzas sobre una partícula, determinan la variación en su momento y posición. Todo esto, se constituyó no solo desde el desarrollo científico de los últimos siglos, desde los inicios de las explicaciones filosóficas al mundo natural se configuró la imagen mecanicista y determinista del universo.

Las relaciones de indeterminación, llamadas de forma errónea como principio de incertidumbre (que no existe como postulado de la mecánica cuántica, sino como consecuencia de los mismos, Solbes, 2018), establecen que un sistema cuántico no puede ser determinado con absoluta precisión y de forma simultánea su momento y posición.

Heisenberg, acababa de descubrir que la mecánica cuántica proscibía la determinación exacta... Y es que, si bien podemos determinar con certeza dónde se encuentra exactamente un electrón o la velocidad de su desplazamiento, resulta imposible conocer ambos datos a la vez. (Kumar, 2011, s.p.).

De lo anterior se deriva que, entre más precisión haya del valor de la posición, menor será la precisión del momento, y a mayor precisión del momento la posición, será indeterminada. No se puede atribuir a problemas con los aparatos de medida, falta de conocimiento o desarrollo técnico, se trata de una restricción de la naturaleza, derivada, como se enunció antes de su comportamiento dual. Es el carácter ondulatorio del electrón, lo que no permitirá determinar simultáneamente su posición x y su cantidad de movimiento p . Esta situación no era un sencillo problema espectroscópico; conllevaba un problema mayor, relacionado con la estructura de la materia.

Por otra parte, y una vez descritas la hipótesis de De Broglie, al asociar cada partícula con una onda, Schrödinger, escribe la ecuación de propagación de las ondas de la materia. Para él, la forma en que Broglie explica las condiciones de cuantificación de Bohr-Sommerfeld, sugirió la idea de que la cuantización podría tratarse como un problema de valor propio, muy común en el estudio de las ondas (Jammer, 1966).

Schrödinger, al escribir la ecuación de propagación de la onda de la materia de De Broglie, eliminó el concepto de trayectoria de partículas al describir su movimiento usando ondas continuas.

El Modelo Cuántico.

El hecho de que los electrones no fuesen ni ondas ni partículas y la imposibilidad de utilizar para ellos el concepto de trayectoria, requiere un modelo más general para describir su estado; la ecuación de Schrödinger, en Mecánica Cuántica, permitirá conocer la evolución del estado de un objeto cuántico. La Teoría Cuántica se desarrolló como un formalismo matemático que les permitió a los físicos explicar y predecir los experimentos que no encajaban en la mecánica clásica de Newton y el electromagnetismo de Maxwell. Desde una línea analítica, Schrödinger propone una ecuación ondulatoria que describe la evolución de los sistemas cuánticos. Por su parte, Heisenberg, desde la correspondencia empírica, desarrolla la mecánica matricial. Estas dos líneas resultarían ser equivalentes, como demostró el propio Schrödinger.

La ecuación que Schrödinger introdujo lo que se denominó función de onda o función de estado, detallada a través de cuatro artículos presentados a lo largo de 1926. Así como la ecuación de un movimiento se obtiene a partir de la Ley 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 (Solbes y Sinarcas, 2010).

Esta ecuación es muy utilizada para introducir conceptos de la Teoría Cuántica, debido a que la formulación de Mecánica Ondulatoria de Schrodinger tiene una fuerte analogía con la óptica de onda clásica. Aunque es completamente contraintuitivo desde el punto de vista clásico. No se puede desconocer la influencia del trabajo pionero de Louis de Broglie (1892-1987) sobre la dualidad onda-partícula. El trabajo de Schrodinger buscaba una teoría para los electrones que incorporaba características de onda, sin perder las características como partícula.

Al aplicar la ecuación de Schrödinger a átomos hidrogenoides (un electrón ligado a un núcleo) aparece la discontinuidad en los valores posibles de la energía, encontrándose los mismos niveles energéticos que Bohr había calculado (Solbes y Sinarcas, 2010). Es necesario enfatizar que Bohr postuló que el momento angular de un electrón en un átomo hidrogenoide está cuantificado, siendo $\overline{L} = n\hbar/2\pi$ donde n es el número cuántico principal que también cuantifica la energía y toma valores $n = 1,2,3\dots$ (Solbes y Sinarcas, 2010).

La resolución de la ecuación de Schrödinger para átomos sencillos, ha sido el éxito más notable de la Mecánica Cuántica. Entonces, los estados del átomo se describirán como una solución de la ecuación de onda, lo que implica la cuantización de la energía y del momento angular. Solo existen estados ligados aceptables cuando la energía satisface la condición de cuantización:

$$E_n = -\frac{Z^2 E_0}{n^2},$$

Donde $E_0 = 13,807 \text{ eV}$, y $n = 1,2,3\dots$ es el número cuántico principal. Además, el momento angular orbital debe satisfacer la condición:

$L^2 = l(l+1)\hbar^2$, con l un número entero no negativo, denominado número cuántico del momento angular. La resolución de la ecuación de Schrödinger implica que, por cada valor de n , solo hay n valores diferentes del módulo del momento angular desde $l = 0$ hasta $l = n-1$. Por último, una de las componentes del momento angular deberá satisfacer la condición de cuantización: $L_z = m\hbar$, con m un número entero, denominado número cuántico

magnético, que cumple la condición de que, para un valor de l dado, m solo puede tener $\overline{2l + 1}$ valores, desde $+l$ hasta $-l$. De donde se infiere que existen limitaciones en cuanto al módulo y en cuanto a la dirección del momento angular: solo puede haber $\overline{2l + 1}$ orientaciones del momento angular.

La ecuación de onda, en lugar de órbitas, proporciona funciones de estado, u orbitales atómicos, caracterizadas no solo por un número cuántico, como las órbitas de Bohr, sino por cuatro (n, l, m, s) con s como el número cuántico que resulta de la contribución de espín. Estas cantidades suministran toda la información posible sobre el estado del sistema. De la solución de la ecuación de onda, se deriva el concepto de orbital atómico, que representa un estado cuántico de un electrón en el que los atributos de energía electrostática, modulo del momento angular y una componente del mismo están bien definidos. Pero el atributo de posición no está bien definido, y todo lo que se puede saber básicamente sobre él es su densidad de probabilidad espacial, o la probabilidad de que se encuentre, en una medición, en una región particular del espacio. En un orbital, el electrón no está en una posición definida.

El modelo cuántico, a diferencia del de Bohr, puede esclarecer las líneas espectrales por las diferentes probabilidades de transición entre los distintos estados inicial y finales; explica, también, la amplitud de las líneas, que se aclaran desde las relaciones de indeterminación de Heisenberg $\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$. Otro aspecto, que permite comprender el modelo atómico cuántico y no el de Bohr, lo constituyen las propiedades direccionales en los enlaces químicos.

En las primeras décadas del Siglo XX, la Mecánica Cuántica se establece como una teoría que explica el comportamiento del mundo subatómico; describe la evolución de un sistema por medio de la llamada función de estado. La función de onda de un sistema físico describe tanto el estado instantáneo de un sistema como su evolución temporal. La función de onda constituye el núcleo formal de la Mecánica Cuántica.

Max Born hace énfasis en el carácter probabilístico de los fenómenos cuánticos al reinterpretar la ecuación de Schrodinger, al asumir que las ondas expresan la probabilidad abstracta de calcular una u otra propiedad de un sistema cuántico. Esto es fundamental y se debe tener en cuenta a la hora de enseñar conceptos tales como orbital y nivel de energía, pues es imposible describir la trayectoria de un electrón al interior de un átomo, de acuerdo con lo anterior es el cuadro de la función de onda da la probabilidad de encontrar el electrón en una determinada región.

La descripción histórica efectuada, conocida con amplitud, busca aclarar algunos de los errores más comunes alrededor del concepto de orbital con la región del espacio (Solbes et al., 1987), así como la idea de que los electrones son partículas con comportamiento ondulatorio o los fotones ondas con comportamiento corpuscular, o la idea de que los instrumentos de medida y/o el observador establecen la restricción en cuanto a la posición y momento de los objetos cuánticos, errores conceptuales que limitan la enseñanza de la Mecánica Cuántica (Solbes y Sinarcas, 2013).

4. Diseño Experimental para Comprobar la Primera Hipótesis

En este apartado, se describe el proceso metodológico a seguir para corroborar cada una de las hipótesis planteadas. Articulados al diseño experimental, se presentan los instrumentos construidos para la consecución de los objetivos que subyacen a cada una de las hipótesis. Se asume la idea respecto a que adelantar una investigación educativa significa utilizar el proceso organizado, sistemático y empírico para conocer la realidad, como base para construir ciencia y desarrollar el conocimiento científico sobre la educación (Bisquerra, 2004).

4.1 Enfoque Metodológico

El desarrollo de esta investigación se describe, desde la perspectiva de Bisquerra (2004), como una investigación educativa que, como tal, requiere de una conjunción de metodologías para lograr la comprensión del fenómeno educativo correspondiente a la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia. De igual manera, el autor señala que la investigación educativa, tal como se plantea en esta investigación, puede aplicarse, lo que implica no solo el reconocer un fenómeno y caracterizarlo, sino buscar su transformación desde su intervención.

Las dos hipótesis planteadas señalan dos etapas para el desarrollo de la investigación, y su avance exige realizar un esfuerzo para la integración de los datos, tanto cualitativos como cuantitativos, en busca de una unidad que permitiera la comprensión del fenómeno a analizar (Pereira, 2011). El término diseño se refiere al plan o estrategia adoptados para la confrontación de las hipótesis y la obtención de la información que se requiere (Hernández, Fernández y Baptista, 2006).

El tipo de diseño elegido para la investigación es cuasi-experimental, las hipótesis planteadas son causales. Además, no se asigna de forma aleatoria a los sujetos para trabajar con ellos; los grupos se conforman y su muestreo es intencional. Por tanto, se plantea la muestra intencional, que esta se caracteriza por un esfuerzo para obtener muestras representativas (Bolaños, 2012) y, en el caso de esta investigación, es necesario seleccionar “directa e intencionadamente” a los individuos de la población, específicamente docentes en ejercicio en educación básica y media y estudiantes de educación secundaria de instituciones públicas y privadas, así como urbanas y rurales, dada la posibilidad de acceder así a la

información.

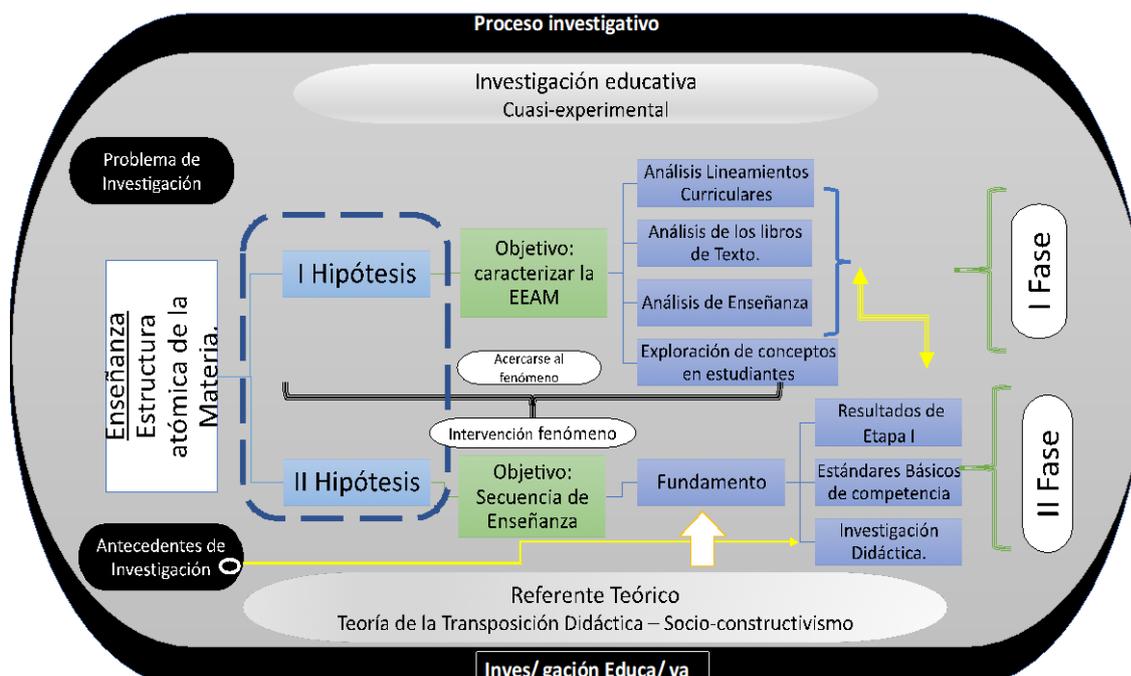


Figura 3. Diseño metodológico de la investigación.

Fuente: esta investigación.

Desde la búsqueda de antecedentes de investigación y formulación del problema de investigación, se plantean las hipótesis de trabajo y a partir de dicha definición, se establece un proceso en dos etapas, como se muestra en la Figura 3. La primera hipótesis da lugar a la primera etapa que busca conocer el fenómeno, para ello, se establecen cuatro aspectos que permiten la caracterización de la enseñanza de la estructura atómica de la materia en la educación secundaria, a saber: análisis de la normativa vigente y lineamientos curriculares, análisis de libros de texto, análisis de la enseñanza y, por último, análisis de conceptos que relacionan con la Teoría Cuántica los estudiantes.

Los datos recogidos en la fase de caracterización aportan los elementos necesarios para el desarrollo de la segunda hipótesis que, a su vez, constituye la segunda etapa de investigación, en la que se diseña, aplica y contrasta una secuencia de enseñanza para la estructura atómica de la materia en la educación secundaria.

A continuación, se describe el desarrollo metodológico planteado para la comprobación de las hipótesis y la consecución de los objetivos.

4.2 Diseño Experimental para contrastar la primera Hipótesis

La primera hipótesis establece que la enseñanza de la estructura de la materia en la educación secundaria colombiana es descriptiva, escasa y formalista, que no tiene en cuenta la Teoría Cuántica (TC) y que, en consecuencia, producirá errores en el aprendizaje de dichos conceptos por los estudiantes.

Con el fin de confrontar esta hipótesis, se plantean los siguientes objetivos.

4.2.1 Objetivos específicos Primera Hipótesis.

El objetivo general es:

- Caracterizar la enseñanza en Colombia de la Estructura Atómica de la Materia (EAM) y su relación con la TC.

Para caracterizar la enseñanza de la EAM es necesario:

- Analizar los lineamientos curriculares, estándares básicos de competencia y derechos básicos de aprendizaje, establecidos por el Ministerio de Educación Nacional.
- Establecer cómo se presenta la unidad de la EAM en los libros de texto de química, correspondientes a grado décimo; si se hace o no desde la base conceptual de la TC.
- Establecer cómo se enseña en instituciones oficiales y privadas la EAM de distintos departamentos; si se hace o no desde la base conceptual de la TC,
- Establecer qué conceptos relacionan con la EAM los estudiantes de grado décimo, desde la asignatura de química.

4.2.2 Análisis de legislación vigente en Colombia.

Con el fin alcanzar el primer objetivo se considera importante el análisis de los Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales (LN), Estándares Básicos de Competencias para Ciencias Naturales, (EBCCN) y los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA). Para ello, se asume una metodología de análisis documental, teniendo en cuenta los parámetros establecidos en la investigación, relacionados con la enseñanza de la estructura atómica de la materia, tomando como base la TC.

El estudio de estos elementos requiere de un proceso de análisis documental que implica búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, registrados en fuentes documentales (Arias, 2012) que, en este caso, los elementos de estudio son emitidos por el Ministerio de Educación Nacional (MEN). Estos documentos de dominio público, están concebidos para la consulta y para su análisis se desarrollaron dos etapas, una heurística y una hermenéutica.

La etapa heurística, corresponde a la búsqueda y recopilación de fuentes de información (Barbosa, Barbosa y Rodriguez, 2013). En la etapa hermenéutica, representa el trabajo de lectura, análisis, interpretación y comprensión crítica y objetiva (Barbosa et al., 2013), se concretizó una categorización inductiva, determinando condiciones que constituyen el sentido del análisis. La primera condición establecida fue que los documentos fueran rectores de la enseñanza de las ciencias naturales en Colombia, la segunda condición corresponde a la vigencia en la actualidad.

En la fase hermenéutica, se realizó el trabajo de análisis crítico, para ello se determinaron los siguientes elementos:

- Ciencia Moderna.
- Estructura Atómica de la Materia.
- Modelos Atómicos.
- Teoría Cuántica.

Estos elementos se contextualizan dentro de la asignatura de química, pues los Estándares Básicos de Competencia, si bien no delimitan asignaturas, si establecen dentro del apartado de procesos químicos, aquellos estándares que, en la operacionalización de las instituciones, se asignan a cada asignatura del área de ciencias naturales.

La información organizada se analizó respecto al problema de investigación y el propósito fundamental, es conocer si se abordan los elementos descritos y establecer posibles vacíos en el conocimiento. Para ello, se determinan las siguientes preguntas orientadoras: ¿Se aborda esta temática en el documento?, ¿con qué profundidad se hace?, ¿se relaciona con otra categoría establecida?, ¿debería abordarse?

4.2.3 Análisis de los libros de texto.

Uno de los problemas de mayor relevancia en la introducción de la TC en la educación secundaria es la falta de preparación que los docentes tienen al respecto (Fanaro, 2009;

Fernández, 2014), lo que otorga a los libros de texto un papel predominante en su enseñanza (Lima, Ostermann, Cavalcanti, 2017). Por ello, se toma como punto de partida para la caracterización de la enseñanza el análisis de los libros de texto.

Estos materiales de los currículos escolares, Martínez (2002), Gimeno Sacristán (2005) y Solarte (2006) los asumen como herramientas mediadoras, que traducen y concretan aquellos significados incluidos en el estándar prescrito por las instituciones que reglamentan los sistemas educativos. Desde esta perspectiva, no se puede desconocer la existencia de un vínculo indisoluble entre textos y procesos educativos, de ahí que, el estudio de los unos no podría darse por completo sin el reconocimiento de los otros (Páez, 2016).

Con respecto a la relación existente entre los estándares curriculares (para el caso de Colombia) y los libros de texto, estos últimos se tornan, también, productores de políticas curriculares, debido a que reinterpretan y crean nuevos sentidos, lo que afecta tanto al contexto de la práctica como al contexto de la producción de los textos (Gomes de Abreu, Gomes y Lopes, 2005). En el caso particular de la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia, es importante que, además de contemplar la importancia curricular de los libros de texto de uso nacional y que se presentan en el Anexo 1, se tomase en cuenta el riesgo de encontrar errores conceptuales que fácilmente llegan a las aulas y afectan la enseñanza.

Se considera pertinente este análisis, por ser los libros de texto un recurso común de los docentes para la enseñanza (Calvo y Martín, 2005), lo que lo constituye en un buen arbitrio en la planeación que realizan los profesores, porque, además, los apoyan en la elaboración de unidades didácticas, lo que posiciona a los libros de texto como objetos de investigación, con mucho interés para la didáctica (Marmolejo y González, 2013); además, representan una larga tradición en los sistemas educativos y, pese al surgimiento de propuestas de enseñanza y otros materiales, su uso se ha generalizado, en especial en la selección y difusión de los contenidos de enseñanza, incluso de una forma acrítica (Moya, 2008).

Otra razón que justifica el análisis de los libros de texto radica en que se presentan contenidos desactualizados, con errores conceptuales, o simplificados y reduccionistas, incluso en libros de uso en la Universidad (Ibáñez y Ramos, 2004; Snyder y Broadway, 2004; Álvarez, Nuño y Pérez, 2006; Quílez, 2006, 2009; Cohen y Yarden, 2010); en este sentido, las investigaciones realizadas por Gallego et al. (2013, 2009, 2010), en Colombia, así lo confirman, en particular en lo relacionado con los modelos atómicos de Rutherford y Bohr.

En esta investigación, se entiende el libro como un vector científico, didáctico y pedagógico (Alzate, Lanza y Gómez 2007), y se plantea que el objetivo de examinar los libros de texto, se relaciona con el análisis del contenido científico, la forma cómo se presenta este contenido, la presencia de errores conceptuales, la terminología y la contextualización utilizada para la presentación de las ideas relacionadas con la Estructura Atómica de la Materia.

Construcción de la Red de Análisis de Libros de Texto.

Para el análisis de los libros de texto (LT), se trabajó desde un marco analítico, basado en los trabajos de Solbes et al. (1987b), por lo cual se realizó una adaptación de su instrumento. Se sigue de igual manera la metodología de análisis documental en las dos etapas, la etapa heurística, de búsqueda y recopilación de los LT y la etapa hermenéutica, para la cual se utiliza la rejilla adaptada como se enunció anteriormente. Este instrumento busca constatar cómo se realiza la introducción del tema de Estructura Atómica de la Materia a través de establecer cómo se presenta la unidad de la EAM en los libros de texto; si se hace o no desde la base conceptual de la TC.

Con base en lo anterior, el instrumento se diseñó para constatar los siguientes elementos de análisis (Anexo 2):

- Presentación histórica de los modelos atómicos, sus antecedentes y limitaciones.
- Limitaciones de la física clásica para explicar algunos fenómenos.
- Teoría cuántica como un nuevo marco de conocimientos, en ruptura con la visión clásica.
- Modelo Cuántico.

Criterios de valoración de la red de análisis de textos.

A continuación, se presentan los criterios seguidos para la valoración de los ítems empleados en el análisis de los textos, para ello se determinó si el libro “lo hace”, “lo hace parcialmente” o “no lo hace”.

- **¿El texto presenta una introducción histórica del concepto de átomo?**

Se analiza si en el libro:

- Lo hace: la presentación se hace desde los orígenes en Grecia antigua, señalando la idea de discontinuidad que caracteriza los planteamientos de Demócrito y se explican las implicaciones epistemológicas de la discontinuidad de la materia.
 - Lo hace parcialmente: cuando se hace una presentación como secuencia de contenidos en los que se aborda los modelos atómicos.
 - No lo hace: no tiene en cuenta la historia de las ciencias, para la presentación de los contenidos.
-
- **¿Para la presentación del modelo atómico de Thomson, presenta antecedentes?**
 - Lo hace: se atribuye importancia a los hechos relacionados con el descubrimiento del electrón y el trabajo con los tubos catódicos y se menciona al menos tangencialmente el trabajo desarrollado por Crookes, Goldstein, Hertz, Bunsen y Kirchhoff.
 - Lo hace parcialmente: se relacionan los trabajos acerca de Thomson acerca de tubos catódicos únicamente.
 - No lo hace: Se presenta directamente el modelo.

 - **¿Para la presentación del modelo atómico de Rutherford presenta antecedentes?**
 - Lo hace: se aborda el estudio de la radioactividad, explica que Rutherford (1911) presentó un cálculo del tamaño del núcleo y periferia del átomo, se explica que 1 de cada 20.000 partículas se desviaron en ángulos grandes.
 - Lo hace parcialmente: solo se relacionan los trabajos referidos a la radiactividad.
 - No lo hace: se presenta directamente el modelo.

 - **¿Para la presentación del modelo atómico de Bohr presenta antecedentes?**
 - Lo hace: se explican el problema de los espectros atómicos y cómo estos no podían ser explicados por las teorías físicas del momento, se explica el espectro de la luz, se aclara el hecho de que la estabilidad del modelo de Rutherford se contradecía con los fundamentos de la mecánica clásica y de la teoría electrodinámica.
 - Lo hace parcialmente: explica el problema de los espectros atómicos y refiere la estabilidad del modelo de Rutherford.

- No lo hace: no refiere la dificultad de explicar los espectros atómicos y la estabilidad del átomo desde la teoría clásica.
- **¿Se explica el efecto fotoeléctrico?**
 - Lo hace: se explica como un fenómeno que se presenta al hacer incidir un rayo de luz de alta frecuencia, como la ultravioleta, sobre una placa metálica, produciendo una emisión de electrones.
 - Lo hace parcialmente: refiere el efecto fotoeléctrico, pero no lo explica detallando el proceso.
 - No lo hace: no lo menciona.
- **¿El efecto fotoeléctrico se explica mostrando una ruptura con la mecánica cuántica?**
 - Lo hace: se explica las consecuencias de los conceptos abordados por Einstein y las implicaciones epistemológicas que tiene al poner de manifiesto y claramente las limitaciones de la física clásica, se explica el aporte de Max Planck sobre el quantum.
 - Lo hace parcialmente: se menciona las dificultades de explicarlo desde la física clásica, pero no se enfatiza en la ruptura con la misma.
 - No lo hace: no se referencia a la física clásica y la limitación para explicar el efecto.
- **Para la presentación de cada uno de los modelos atómicos, ¿Se diferencia claramente que los modelos de: Thomson y Rutherford son clásicos?**
 - Lo hace: se establece que la física clásica dio origen y permitió la explicación de los dos primeros modelos y que sus explicaciones se basan en los fundamentos teóricos clásicos establecidos hasta el momento.
 - Lo hace parcialmente: se referencian como modelos clásicos, pero no se explica porqué.
 - No lo hace: los modelos se presentan sin diferenciar que son clásicos.
- **Para la presentación de cada uno de los modelos atómicos, ¿Se diferencia claramente que los modelos de: Bohr y Sommerfeld son pre-cuánticos?**

- Lo hace: se pone de manifiesto que el modelo de Bohr, es semi-cuántico porque el uso de la cuantización es ad-hoc y que permitió restringir el número de órbitas cuánticas posibles.
- Lo hace parcialmente: se referencian como modelos pre-cuánticos, pero no se explica porqué.
- No lo hace: los modelos se presentan sin diferenciar que son pre-cuánticos.

- **Para la presentación de cada uno de los modelos atómicos, ¿Se diferencia claramente que el modelo de Schrödinger es cuántico?**
 - Lo hace: plantea la diferencia entre semi-cuántico y cuántico, por cuanto la teoría cuántica resuelve las dificultades del modelo Bohr y el modelo mecánico-cuántico es una necesidad para una explicación del átomo que corresponda con la evidencia experimental.
 - Lo hace parcialmente: se referencian como modelos cuánticos, pero no se explica porqué o el quiebre con los modelos clásicos.
 - No lo hace: los modelos se presentan sin diferenciar que es cuántico.

- **¿Señala las inconsistencias de los modelos atómicos de Thomson?**
 - Lo hace: explica la dispersión de las partículas alfa en la laminilla de oro, detalla la importancia del ángulo de dispersión, explica detalladamente las consecuencias del experimento de la laminilla de oro.
 - Lo hace parcialmente: explica el experimento de los colaboradores de Rutherford sin especificar las consecuencias.
 - No lo hace: no explica el experimento.

- **¿Señala las inconsistencias de los modelos atómicos de Rutherford?**
 - Lo hace: se manifiesta la imposibilidad de explicar la estabilidad de los átomos, en contraposición a lo predicho por la teoría electromagnética clásica.
 - Lo hace parcialmente: referencia que hay inconsistencias, pero no las explica.
 - No lo hace: no presentan las inconsistencias.

- **¿Señala las inconsistencias de los modelos atómicos de Bohr?**

- Lo hace: plantea que el modelo no explica el desdoblamiento de las rayas espectrales, la mayor intensidad de unas líneas respecto de otras, la anchura de las mismas (todo ello en el propio espectro del átomo de hidrógeno), tampoco explica los espectros de átomos polielectrónicos, explica el problema de las órbitas circulares de radios definidos.
- Lo hace parcialmente: referencia que hay inconsistencias, pero no las explica, no hace referencia al problema de órbitas.
- No lo hace: no presentan las inconsistencias.

- **¿Se justifica la necesidad de introducir el modelo cuántico?**
 - Lo hace: explica que el modelo de Schrödinger no puede aparecer simplemente como una genialidad matemática, sino que es una necesidad por las limitaciones teóricas de la física clásica frente a las evidencias experimentales y teóricas que se consolidan frente a la explicación de la estructura del átomo.
 - Lo hace parcialmente: hace una introducción al modelo, sin especificar la ruptura de la Teoría Cuántica.
 - No lo hace: sencillamente introduce el modelo directamente.

- **¿Introduce las relaciones de indeterminación?**
 - Lo hace: se introducen las relaciones de indeterminación, incluso con el nombre de principio de incertidumbre.
 - Lo hace parcialmente: solo las menciona.
 - No lo hace: no las presenta.

- **Las relaciones de indeterminación son introducidas de manera histórica, crítica.**
 - Lo hace: se hace una presentación que contextualice el momento histórico en el que surgen, se explican que los límites de validez de la física clásica vienen dados por las relaciones de indeterminación de Heisenberg, se referencia aspectos relacionados con la vida y obra de Heisenberg.
 - Lo hace parcialmente: Se relacionan algunos hechos relacionados con la formulación de las relaciones.
 - No lo hace: se presentan las relaciones sin contextualización histórica.

- **¿Las relaciones de indeterminación se explican adecuadamente?**

- Lo hace: explica que estas demuestran las limitaciones del uso de conceptos clásicos, explica la imposibilidad de medir simultáneamente y con precisión dos magnitudes conjugadas, enfatiza que se trata de una restricción ontológica, no se planteen dificultades con los aparatos de medida, sino con la propia naturaleza del objeto cuántico.
- Lo hace parcialmente: se explican como la imposibilidad de medir simultáneamente y con precisión dos magnitudes conjugadas
- No lo hace: se relaciona la explicación con problemas con los aparatos de medida.

- **¿El electrón se explica como un objeto cuántico, que exige una nueva descripción?**
 - Lo hace: se establece que el electrón no es una partícula que se comporta como onda en el sentido clásico, enfatiza que el electrón y fotón, así como protón y neutrón están en las mismas condiciones.
 - Lo hace parcialmente: se describe al electrón como un objeto con comportamiento dual.
 - No lo hace: no presenta la dualidad de los objetos cuánticos.

- **¿Se introducen los niveles de energía como solución de la ecuación de Schrödinger?**
 - Lo hace: Se explica lo que representa Ψ , que la función de onda tiene un valor propio, que no es solo algo que elevado al cuadrado nos proporciona probabilidades, sino que es necesario que se presente como la función que representa el estado del sistema.
 - Lo hace parcialmente: relaciona los niveles con la ecuación de onda, pero no se explica.
 - No lo hace: explica los niveles de energía, pero no los relaciona con la ecuación de Schrödinger.

- **¿Se introducen los números cuánticos n , l , m como solución de la ecuación de Schrödinger?**

- Lo hace: se definen como el conjunto de valores numéricos los cuales dan soluciones aceptables a la ecuación de onda de Schrödinger para el átomo de hidrógeno, se explican como valores enteros o semienteros que identifican el estado del sistema.
- Lo hace parcialmente: relacionan los tres números cuánticos, pero no explica.
- No lo hace: presenta los números cuánticos, pero no los relaciona con la ecuación.

- **¿El significado del número cuántico n se explica como aquel que determina el tamaño de los orbitales?**
 - Lo hace: cuando explica que especifica la energía del orbital en el que se encuentra el electrón.
 - Lo hace parcialmente: relaciona con la ecuación, pero no explica que corresponde a la energía.
 - No lo hace: no explica la relación con la energía.

- **¿El concepto de orbital se explica como la función de onda o de estado?**
 - Lo hace: explica el orbital como una función matemática que describe el estado de un electrón y permite calcular la probabilidad de encontrar este en alguna región, explica la deducción desde la ecuación de onda.
 - Lo hace parcialmente: explica orbital como la probabilidad de encontrar el electrón en una región.
 - No lo hace: explica como un espacio físico donde hay probabilidad de encontrar el electrón.

- **¿Se explica que los orbitales están asociados a propiedades de los electrones y no tienen existencia independiente?**
 - Lo hace: explica al orbital como dependiente de los electrones y que son identificados por una combinación de números y letras que representan propiedades específicas de los electrones asociados con los orbitales.
 - Lo hace parcialmente: explica al orbital dependiente del electrón.
 - No lo hace: explica el orbital como independiente del electrón, espacio que será llenado por el electrón.

- **¿El número cuántico espín se introduce como un nuevo número para explicar la experiencia configuraciones electrónicas, efecto Stern-Gerlach?**
 - Lo hace: presenta el espín como una propiedad intrínseca, definida por el número cuántico intrínseco s , sin análogo clásico, sobre todo, no relacionarlo con ninguna rotación.
 - Lo hace parcialmente: explica como una propiedad sin análogo en el mundo clásico.
 - No lo hace: refiere sin contextualización la analogía de giro en su propio eje.

4.2.4 Análisis de la enseñanza con profesores en ejercicio.

Los libros de texto, por su uso mayoritario en el proceso de enseñanza, proveen una visión muy importante respecto a qué y cómo se enseña, pero es necesario confrontarla con lo que sucede en el aula. Para ello, se considera adecuado realizar un cuestionario dirigido a docentes en ejercicio en la educación secundaria, el objetivo que se pretende alcanzar con la aplicación del cuestionario es el de triangular con los estándares y los libros de texto, para establecer cómo se enseña en instituciones oficiales y privadas la EAM; si se hace o no desde la base conceptual de la TC.

La muestra abarca docentes de diversas especialidades, y de diferentes departamentos, de igual manera, de los 71 docentes en ejercicio, 17 docentes trabajan en instituciones privadas y 54 trabajan en el sector público, y de la muestra total, 21 de los profesores se desempeñan en el sector rural y, por tanto, 50 docentes corresponden al sector urbano tal como lo muestra la tabla 1. En la muestra están 30 docentes del municipio de Pasto, 20 docentes del departamento de Nariño y 21 docentes de otros departamentos de Colombia como Cundinamarca, Putumayo, Tolima, Huila, Valle del Cauca, Cauca y Antioquía. Con base en esto, se codificó a los docentes asignando letras y números, las letras corresponden al origen: PP: Profesores Pasto, PN: profesores del departamento de Nariño, PC: profesores de otros departamentos, tal como se detalla en la tabla 2. La tabla 2, detalla rango en años de la experiencia de los docentes entrevistados, de donde se infiere que el 68% de los docentes, se encuentran en un rango de tiempo de experiencia entre 0 y 20 años.

Tabla 1. Muestra

Distribución por regiones

Región	Docentes de Ins Rural/	Doc. Ins Urbanas		Total
		Publica	Privada	
Pasto	7	14	9	30
Nariño	7	10	3	20
Bogotá	1	3	1	5
Quindío		2		2
Huila	1	2		3
Tolima		1		1
Valle	1	1	1	3
Cauca	1	1		2
Antioquía	1	1	1	3
Putumayo	2			2
Total	21	35	15	71

Tabla 2. Rango de experiencia docente

RANGO TIEMPO - EXPERIENCIA	AÑOS
0-5	12
5-10	15
10-15	13
15-20	8
20-25	9
25-30	6
30 +	8
TOTAL	71

La muestra es intencional o por conveniencia: docentes en ejercicio, que trabajan Ciencias Naturales y que desarrollan la temática de estructura de la materia, especialmente de grado décimo, a quienes es posible acceder y obtener de ellos la información requerida.

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

Validación del instrumento para docentes en ejercicio.

La validación se hizo con el propósito de determinar específicamente si el instrumento determinaba lo que debía medir o se adecuaba al propósito para el que fue creado (Corral, 2009; Martín Arribas, 2004). Esta validación se realizó a través de *Know groups* (preguntar a grupos conocidos) (Robles Garrote & Rojas, 2015), o por consulta a expertos. Teniendo en cuenta que la validez de contenido no puede expresarse cuantitativamente, “se estima de manera subjetiva o intersubjetiva” (Corral, 2009).

Todo instrumento de investigación que sea sometido a una validación, debe contar con dos criterios de calidad: validez y fiabilidad (Robles Garrote & Rojas, 2015). Con respecto a la Validez, se solicitó a los expertos que se pronuncien sobre el contenido y la manera cómo se diseñó en instrumento, para determinar si el cuestionario aborda la temática de la investigación y apunta al objetivo de determinar cómo es la enseñanza de la estructura atómica de la materia y si se hace desde la teoría cuántica. Con respecto a la fiabilidad, entendida como el grado con el que un instrumento mide con precisión y descarta el error (Robles Garrote & Rojas, 2015), se preguntó a los expertos si el instrumento podría considerarse como fiable, con respuesta afirmativa.

Para ello, se conformó un grupo de siete expertos: un doctor en educación, con experiencia en investigación educativa; una doctora en enseñanza de las ciencias experimentales, con experiencia en investigación y enseñanza de física cuántica en la educación secundaria; una licenciada en química y doctora en educación, con experiencia en investigación didáctica; un investigador en el área de enseñanza de las ciencias naturales y tres docentes en ejercicio en el área de ciencias naturales.

El grupo de expertos se seleccionó teniendo en cuenta la experiencia en investigación educativa, pues en el diseño de las preguntas, su alcance, la probabilidad de error pueden ser evidenciados en virtud de su experiencia en el diseño de instrumentos, aplicación y evaluación. Los docentes en ejercicio aportan desde la comprensión de las preguntas y en la pertinencia de las temáticas abordadas en el instrumento, entre otros.

Además, el grupo de expertos se pronunció en torno a dos dimensiones del instrumento: claridad y pertinencia, entendiendo la claridad por la coherencia del enunciado o pregunta a quien va dirigida, así como su claridad interpretativa (la pregunta o el enunciado por sí mismo es suficiente para entender la finalidad de su contenido o claridad) y la pertinencia (si el enunciado o la pregunta por sí misma se relaciona directamente con el objetivo de la investigación).

Criterios de valoración para el instrumento de docentes en ejercicio.

El cuestionario consta de dos partes, la primera de preguntas cerradas en la que el docente tiene la posibilidad de elegir de acuerdo a su práctica didáctica entre: lo hace, lo hace ocasionalmente o no lo hace. Estos ítems, relacionan la práctica y la planificación escolar y conocer el grado de aceptación y el uso que los docentes confieren a los libros de texto, en este caso, no se trata de determinar si la respuesta es correcta o no. Se busca articular los resultados obtenidos en este instrumento con los resultados del análisis de los libros de texto.

Para ellos se indaga sobre el uso de los libros de texto en la planificación escolar para:

- ¿Determinar qué contenidos o conceptos contemplar en la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia?
- ¿Determinar qué fenómenos contemplar en la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia?
- En qué periodo (o en qué momento de un periodo) incluir la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia.
- ¿Determinar qué estándares, competencias promover en la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia?

En esta sección del instrumento se pregunta también por la conveniencia de la elaboración de maquetas, el uso de la historia de las ciencias, la realización de experimentos, abordar el efecto fotoeléctrico y la dualidad de los objetos cuánticos en la enseñanza de EAM, estas respuestas son luego ampliadas en la parte de preguntas abiertas.

La segunda parte, corresponde a preguntas abiertas, por tanto, se solicita dar respuesta con toda la información que el docente considera conveniente, además, se abre la posibilidad de ampliar mediante entrevista, no se considera respuesta correcta o incorrecta, se trata de determinar las tendencias.

• **Item 1: En caso de no utilizar los libros de texto en la planeación de la enseñanza de la EAM, ¿qué otro elemento considera?** Para esta pregunta, esperamos que las respuestas de los docentes correspondan a cualquiera de los siguientes grupos:

- Internet.
- Documentos del Ministerio de Educación Nacional, Plataformas de Ministerio de Educación Nacional (Colombia Aprende – Al tablero
- Artículos científicos.

• **Item 2: ¿Por qué considera importante la enseñanza de la EAM en la educación media de nuestro país?** Se espera los docentes establezcan explicaciones que se relacionen con perspectivas tales como:

- Conceptual – Propedeútica: es decir se considere importante porque permite aprender conceptos para grados superiores o por la importancia de los conceptos como tal.
- Epistemológica: se agrupan respuestas que considera importante la ruptura entre la mecánica clásica y la teoría cuántica.
- No se considera importante la enseñanza.

• **Item 3: ¿Qué contenidos considera convenientes para desarrollar el tema de Estructura Atómica de la Materia?** Se espera los docentes establezcan criterios en:

- Clásica: cuando refieren solo modelos atómicos, sin diferenciar la mecánica clásica de la Teoría Cuántica.
- Pre-cuántica: cuando además de los conceptos relacionados con modelos atómicos clásicos, enfatizan en los aportes de cuantización del modelo de Bohr.
- Cuántica: cuando enuncian conceptos relacionados con la teoría cuántica, tales como crisis de la mecánica clásica, naturaleza dual de la luz y de la materia, relaciones de indeterminación, ecuación de Schrödinger.

- **Item 4: Qué estrategias y/o recursos didácticos considera en la enseñanza de la EAM:** Se espera los docentes establezcan explicaciones que se relacionen con línea:

- 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.
- Convencional: cuando los docentes relacionen estrategias y recursos de uso generalizado para la temática, tales como videos, analogías, comparaciones, maquetas.

- **Item 5: ¿Qué estrategias utiliza para la enseñanza de los niveles de energía?**

- Pre- cuántico: cuando el docente explica los niveles de energía derivados del átomo de Bohr o de Sommerfield, cuando a través de analogías o comparaciones el profesor explica trasladando el concepto de órbita a orbital o a nivel de energía, cuando no relaciona la naturaleza dual del electrón.
- Cuántico: Cuando las estrategias que menciona el docente explican los niveles desde la ecuación de Schrödinger.

- **Item 6: ¿Qué estrategias utiliza para la enseñanza de los números cuánticos?** Se espera que las respuestas de los docentes se relacionen con perspectivas como:

- Pre-cuántico: cuando a través de analogías o comparaciones el profesor explica los cuatro números cuánticos, sin referir la ecuación de Schrödinger o sencillamente con distribución electrónica o cuando el docente explica los números cuánticos derivados del átomo de Bohr o de Sommerfield.
- Cuántico: Cuando las estrategias que menciona el docente explican los números cuánticos, n , l , m desde la ecuación de Schrödinger y explica la necesidad del cuarto número cuántico.

- **Item 7: ¿Qué estrategias utiliza para explicar el efecto fotoeléctrico?** Se espera las respuestas dentro de los siguientes criterios:

- Lo hace y muestra ruptura: que el efecto fotoeléctrico sea enseñado como uno de los hechos que generan la crisis de la física clásica.
- Lo hace y no muestra ruptura: el profesor describe la enseñanza, pero no argumenta la ruptura o la crisis.

- No lo hace, puede ser que manifieste que se trata de un tema de física.
- Confusión: cuando las respuestas de los docentes denotan que no se trata del efecto fotoeléctrico, sino de temáticas relacionadas con electricidad o similares.

• **Item 8: ¿Qué estrategias utiliza para explicar la dualidad onda corpúsculo?** Se espera las respuestas de los docentes establezcan encajen en:

- Lo hace y muestra ruptura: describe que en la enseñanza los objetos cuánticos no son ni partículas ni ondas en el sentido clásico, son objetos nuevos con nuevo comportamiento.
- Lo hace y no muestra ruptura: el profesor describe la enseñanza, pero no enfatiza en el comportamiento nuevo.
- No lo hace, puede ser que manifieste que se trata de un tema de física o complejo para la educación secundaria.
- Confusión: cuando las respuestas de los docentes denotan ejemplos o afirmaciones en las que se asume que la partícula describe un movimiento ondulatorio o similares.

• **Item 9: ¿Considera conveniente incorporar el principio de incertidumbre (relaciones de indeterminación) en la explicación de la teoría atómica?** Se espera los docentes establezcan explicaciones que se relacionen con perspectivas tales como:

- Lo hace y muestra ruptura: describe que es importante en la enseñanza, lo hace y describe que las relaciones de indeterminación son consecuencia del comportamiento dual del electrón, que se trata de una restricción de la naturaleza y que no corresponde a problemas con aparatos de medida.
- Lo hace y no muestra ruptura: el profesor describe que es importante en la enseñanza, pero no enfatiza en la ruptura del determinismo que implica esta temática.
- No lo hace, argumenta dificultad o no lo considera importante o pertinente.
- Confusión.

- **Item 10: ¿Considera conveniente introducir el modelo cuántico (MC) en la educación media en nuestro país? ¿Por qué?** las respuestas de los docentes pueden ajustarse a:

- Conceptual: cuando consideran importante solo en el sentido de comprender conceptos.
- Técnico: cuando relacionan con los avances tecnológicos del momento.
- Ocasional.
- No lo considera importante.

4.2.5 Análisis de los conocimientos relacionados por los estudiantes de educación secundaria.

Un cuarto elemento para contrastar la primera hipótesis y que permite configurar un diseño múltiple convergente fue el un cuestionario dirigido a los estudiantes, en cuyo plan de estudios se trabaja la temática. Con este cuestionario se pretende establecer qué conceptos relacionan con la EAM los estudiantes de educación secundaria y dentro de esta temática, que conceptos de la Teoría Cuántica. La población elegida es intencional, por cuanto: al tratarse de estudiantes de educación secundaria, es necesario contar con la colaboración de una institución educativa que permita recoger los datos, con miras a una futura intervención. La figura 4 muestra, que para el diseño experimental con estudiantes, se tomó una muestra total de 310 estudiantes de instituciones públicas y privadas del departamento de Nariño.

Con los estudiantes se organizaron dos grupos: un grupo de control y un segundo grupo experimental. El primero constituido por 110 estudiantes de tres instituciones: un grupo de una Institución pública del departamento de Nariño (con quienes se desarrolló el pilotaje), un segundo grupo de la Institución Educativa Municipal Pedagógico y un tercer grupo con estudiantes del Instituto Champagnat de la ciudad de Pasto. Los estudiantes de los tres grupos ya habían desarrollado el tema de investigación con sus respectivos docentes, por lo que constituyen el grupo control.

El grupo experimental de 200 estudiantes está constituido por seis grupos tomados de la Institución Educativa Municipal Pedagógico y del Instituto Champagnat de la ciudad de Pasto. A estos jóvenes se le aplicó un cuestionario previo al desarrollo de la Unidad y un posterior a la realización de la misma.

Los estudiantes que participaron en la investigación, tanto en el grupo control como en la intervención, son estudiantes regulares de grados décimo y once, con edades entre 15 y 17 años.

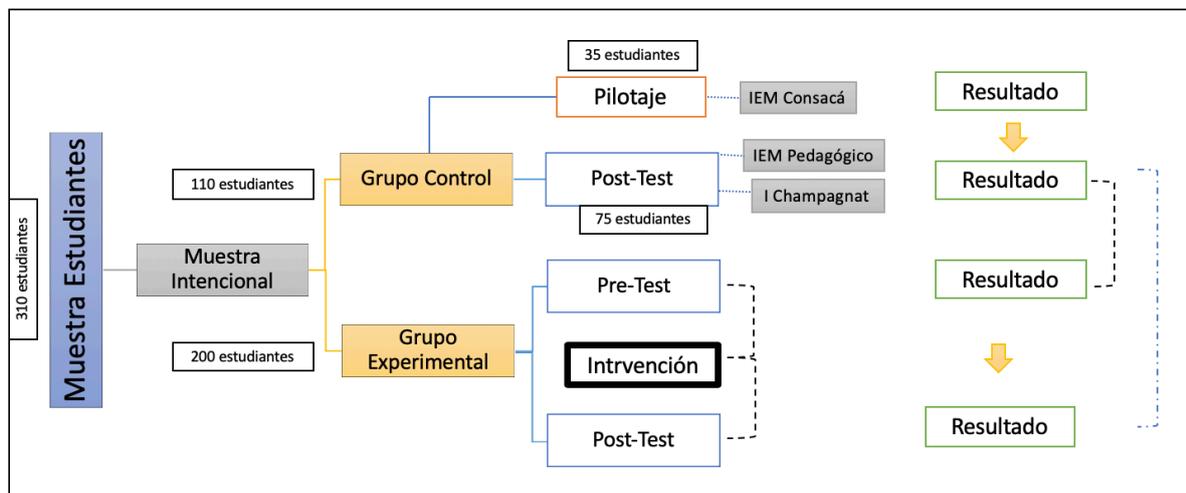


Figura 4. Muestra Estudiantes

Fuente esta investigación

Diseño de instrumento para estudiantes de Secundaria.

Para el diseño de instrumento (Anexo 4) se desarrolló el siguiente proceso:

- Elaboración de un primer borrador: este tiene en cuenta las aportaciones de la investigación didáctica sobre el tema, específicamente en lo relacionado con dificultades en el aprendizaje, ideas previas de los estudiantes, temáticas que se han considerado conveniente en el desarrollo de la unidad de EAM, así como los objetivos de enseñanza planteados en esta investigación.
- Realización de una prueba piloto con 35 estudiantes de grado décimo de una institución pública del departamento de Nariño. El pilotaje tuvo como objetivo establecer si los estudiantes comprendían las preguntas realizadas y la forma de dar respuesta; este trabajo contribuye a determinar de mejor manera la fiabilidad del cuestionario y posibilitó el cambio de algún ítem y en otros casos, una mejor redacción, para mayor claridad.

- La validación por grupo de expertos sigue el mismo proceso que el instrumento construido para docentes: tres doctores en didáctica de las ciencias experimentales, con experiencia en investigación educativa, con experiencia en investigación y enseñanza de física cuántica en la educación secundaria; un investigador en el área de enseñanza de las Ciencias Naturales; dos docentes en ejercicio en el área de Ciencias Naturales y tres estudiantes de último año de educación media. Los doctores se pronunciaron además sobre los criterios de valoración y cómo se deberían presentar a estudiantes de educación secundaria.

Análisis de fiabilidad del cuestionario.

Una vez se obtienen los resultados del pilotaje, se procede al análisis de fiabilidad del cuestionario. Aunque, existen varios métodos para valorar la consistencia interna de los cuestionarios, para esta investigación se consideró el Alfa de Cronbach (Cronbach, 1951), por ser uno de los más usados en investigaciones en ciencias sociales (Ledesma, 2002, Gadermann, Guhn, y Zumbo, 2012). De acuerdo a lo establecido por Oviedo y Campo-Arias (2005) un valor del alfa de Cronbach, entre 0.70 y 0.90, indica una buena consistencia interna para una escala unidimensional.

Para la aplicación del Alfa de Cronbach, se tomó los resultados obtenidos en el grupo piloto y siguiendo los pasos establecidos en el programa SPSS se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 3. Alfa de Cronbach

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,762	12

El valor obtenido del Alfa de Cronbach permite inferir que el cuestionario es fiable, puesto que supera el valor mínimo establecido de 0,7 como referente para considerar que haya fiabilidad. De esta manera, se asume que el cuestionario para estudiantes es válido para esta investigación.

Criterio de valoración para el cuestionario de estudiantes.

Al tomar en cuenta que las preguntas son abiertas, se establecieron los criterios de valoración y se determina la escala de 0, 1, 2; según la respuesta pudiera catalogarse como incorrecta, medianamente correcta o correcta. A continuación, se presentan los criterios de corrección del cuestionario y con base en ellos se establece el valor a cada ítem. A continuación, se relacionan los criterios tenidos en cuenta para la valoración del cuestionario de los estudiantes, con base en estos se evaluó el cuestionario, aplicado al grupo de pilotaje, control, grupo en el que se intervino en pre y en post.

1. Cómo definiría una partícula?

2: Una porción de materia, de masa m , localizada en el espacio y que puede ser descrito por las leyes de Newton.

1: Explica como algo diminuto, pero lo relaciona con masa.

0: No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.

2. Cómo definiría una onda?

2: Como una vibración que se propaga en el espacio y transporta energía (pero no materia) de forma continua.

1: Da un ejemplo o sencillamente lo asocia a una perturbación.

0: No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.

3. Enuncie cinco palabras que asocie con cuántica:

2: Relaciona al menos cuatro de las siguientes palabras: Probabilidad, Indeterminación, Quantum, Electrón, Fotón, Espectro, Estado.

1: De las palabras anteriores relaciona dos o tres.

0: No da ninguna explicación u relaciona palabras como cantidad, número o espiritualidad, conciencia, etc.

4. ¿Conoce algunos hechos que se relacionen con la crisis de la física clásica?

2: Relaciona al menos tres de los siguientes hechos: el efecto fotoeléctrico, los espectros atómicos, la radiación del cuerpo negro o la catástrofe del ultravioleta, la inestabilidad del átomo de Rutherford.

- 1:** Relaciona uno o dos de los hechos descritos anteriormente,
- 0:** No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.

5 ¿Cómo definiría electrón?

- 2:** Componente fundamental y elemental del átomo, cargado negativamente y que no es ni una partícula clásica ni onda en el sentido clásico.
- 1:** parte constitutiva del átomo que está en la periferia, tiene masa y carga negativa.
- 0:** No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.

6. ¿Cómo definiría el fotón?

- 2:** Paquete o cuanto de energía que constituye la luz (radiación electromagnética), sin masa (se propagan con velocidad c), ni carga y que, al igual que el electrón, no es ni una partícula clásica ni una onda clásica. Cuanto de luz.
- 1:** Partícula de la luz.
- 0:** No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.

7. ¿Cómo explica los niveles de energía en el átomo?

- 2:** Son estados de energía donde se puede encontrar los electrones.
- 1:** Espacio alrededor del núcleo en el que se encuentran los electrones, está conformado por subniveles.
- 0:** No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.

8. ¿Cómo explica el principio de incertidumbre (Relaciones de Indeterminación) de Heisenberg?

- 2:** Establece la imposibilidad de medir de manera simultánea y con precisión absoluta la velocidad y la posición del electrón.
- 1:** Relacionar la imposibilidad de medir la velocidad y posición del electrón.
- 0:** No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea, especialmente si se relaciona con aparatos de medida.

9. ¿Cómo definiría orbital atómico?

- 2:** Función de onda o de estado que describe el comportamiento del electrón.
- 1:** Probabilidad de encontrar al electrón en una determinada zona del espacio.

0: No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.

10. ¿Cómo definirías número cuántico?

2: Se definen como el conjunto de valores numéricos que dan soluciones a la ecuación de onda de Schrödinger

1: Relaciona cuatro números cuánticos para explicar el átomo.

0: No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.

11. ¿Qué relación hay entre números cuánticos y sistema periódico?

2: los números cuánticos permiten establecer la configuración electrónica de los átomos que se verá reflejada en la tabla periódica, determinando los grupos y periodos de los elementos, zonas de elementos representativos (s y p), elementos de transición (d), lantánidos y actínidos (f).

1: describe que en la tabla periódica existen regiones relacionadas con los números cuánticos.

0: No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.

12. Dibuje un átomo

2: No dibuja el átomo explicando dificultades con la escala, o se dibujan orbitales

1: Dibuja como una nube con el núcleo en el centro o especifica sus partes, sin dibujarlo.

0: Dibuja el átomo como sistema solar en miniatura o con orbitas

5. Resultados para contrastar la Primera Hipótesis

Este capítulo da cuenta de los resultados obtenidos para confrontar la primera hipótesis de la investigación, en primera instancia se presenta el resultado correspondiente a documentos emitidos por el MEN, son de consulta obligada para la enseñanza de las ciencias naturales en Colombia, y que se le ha denominado lineamientos curriculares. En el segundo apartado se describen los resultados correspondientes al análisis de libros de texto. La tercera sección corresponde a los resultados obtenidos tras la aplicación de cuestionario a docentes en ejercicio. Finalmente, la cuarta sección describe los resultados obtenidos con la aplicación del cuestionario de estudiantes de décimo grado de educación secundaria.

5.1 Presentación y Análisis de los Resultados Obtenidos de Lineamientos Curriculares

5.1.1 Presentación y Análisis de los Resultados de los lineamientos curriculares.

La Ley General de la Educación Colombiana (Congreso de la República de Colombia, 1994), en conformidad con la Constitución Política Nacional contempla como fines de la educación, entre otros:

El pleno desarrollo de la personalidad, ... la formación en el respeto a la autoridad legítima y a la ley, a la cultura nacional, a la historia colombiana y a los símbolos patrios, ... la adquisición y generación de los conocimientos científicos y técnicos más avanzados, humanísticos, históricos, sociales, geográficos, y estéticos, mediante la apropiación de hábitos intelectuales, adecuados para el desarrollo del saber... el estudio y la comprensión crítica de la cultura nacional, y de la diversidad étnica y cultural del país, como fundamento de la unidad nacional y de su identidad... el acceso al conocimiento, la ciencia, la técnica y demás bienes y valores de la cultura, el fomento de la investigación y el estímulo a la creación artística en sus diferentes manifestaciones. El desarrollo de la capacidad crítica, reflexiva y analítica que fortalezca el avance científico, y tecnológico nacional, orientado con prioridad al mejoramiento cultural, y de la calidad de la vida de la población, a la participación en la búsqueda de alternativas de solución a los problemas y al progreso social y económico del país. La adquisición de una conciencia para la conservación, protección y mejoramiento del medio ambiente, de la calidad de la vida, del uso racional de los recursos naturales, de la prevención de desastres, dentro de una cultura ecológica y del riesgo y de la defensa del patrimonio cultural de la nación. (Congreso de la República de Colombia, 1994).

Estos fines, deberían asegurar una educación científica acorde con los requerimientos actuales. Un mundo cada vez más global, complejo y desafiante, exige una educación que

permita al estudiante alcanzar su máximo potencial, a través de una educación integral, que informe y forme desde el conocimiento científico, teniendo en cuenta el entorno social y ambiental. El MEN con el propósito de orientar en la estructuración y planeación de las áreas fundamentales, definidas por la Ley General de la Educación, establece los lineamientos curriculares, los estándares básicos de competencia y en la actualidad los derechos básicos de aprendizaje, así como las mallas curriculares, estos documentos son de obligada referencia para los docentes en la enseñanza de las Ciencias Naturales en Colombia.

Los lineamientos curriculares son orientaciones epistemológicas, pedagógicas y conceptuales definidas por el MEN, estipulan los fundamentos pedagógicos y epistemológicos que sustentan la enseñanza de las Ciencias Naturales en Colombia, este documento presenta una disertación en torno a ciencia, tecnología y sus diferencias, pero no hay una referencia directa a la Ciencia Moderna y al papel que juega en el desarrollo de los pueblos y a su enseñanza.

Entendidos como el horizonte deseado para la formación en ciencias en Colombia, están diseñados para apoyar el proceso de fundamentación y planeación de las áreas obligatorias (MEN, 2018), este documento presentado al país en 1998, hasta ahora no cuenta con una actualización concreta que garantice reformas sustanciales al mismo.

El documento, en una primera parte presenta: referente filosófico y epistemológico; referente sociológico; referente psico-cognitivo. El referente filosófico y epistemológico desarrolla el concepto del mundo de la vida de Husserl: “punto de partida y de llegada”. Tomar como punto de partida a un filósofo de principios de Siglo XX, permite tener una idea de lo poco actualizado de estos documentos. En el apartado que corresponde al sentido del área de ciencias naturales y educación ambiental en el mundo de la vida, comienza por hacer una diferencia entre el mundo de la vida (cotidianeidad) y el mundo de las teorías, situación que podría generar una extensa discusión epistemológica (que no corresponde al objetivo de esta investigación).

Siguiendo esta línea, asume los fenómenos químicos, como un proceso de evolución desde átomos simples a átomos más complejos e incluso a la formación de moléculas, tal como se enuncia en la siguiente cita, describe al electrón *gravitando* alrededor del núcleo.

El hidrógeno, que representa el mayor porcentaje de la materia del universo, en su núcleo tiene un protón y un neutrón alrededor del cual gravita (*sic*) un electrón. El helio, que sigue al hidrogeno en complejidad y porcentaje de materia que representa, aunque este porcentaje es mucho menor, en su núcleo tiene dos protones y dos neutrones alrededor del cual gravitan (*sic*) dos electrones.... Entre estos átomos se dan interacciones gracias a los electrones residuales que se redistribuyen alrededor de dos o

más átomos. La atracción eléctrica causada por la redistribución de los electrones causa la adhesión entre átomos para formar moléculas. Además de los procesos físicos que hemos descrito, se inicia entonces un nuevo tipo de procesos: los procesos químicos. (MEN, 1998).

La propuesta de los lineamientos curriculares, diseñados por el MEN, pretende una enseñanza de las ciencias naturales interdisciplinar, integral, con un enfoque “holístico” y contextualizado siempre al “mundo de la vida”. Sin embargo, lo que se puede evidenciar es que, en su afán por integrar y articular los contenidos y el enfoque, no hay profundización y ni siquiera referencia a la ciencia moderna y contemporánea, solo se refiere a la ciencia clásica representada por Galileo Galilei y Newton. Esto se pone de manifiesto, cuando se describe como conocimiento científico básico para grados décimo y once, en los procesos físicos las siguientes unidades: Electricidad y magnetismo, fuentes energéticas y transformación de energía, la fuerza y sus efectos sobre los objetos, luz y sonido la tierra en el Universo.

Con respecto a los mismos grados, además de otras unidades, específicamente en los procesos químicos, para estructura de la materia se enuncia:

“Estructura atómica y propiedades de la materia: La tabla periódica de los elementos: un modelo científico. La tabla y los modelos atómicos. La tabla, los modelos atómicos y la predicción de resultados en las reacciones químicas. Nomenclatura química. Oxidación-reducción. Moléculas biológicamente importantes: carbohidratos, proteínas, lípidos, DNA” (MEN, pag 83),

La cita anterior, menciona modelos atómicos, pero no establece específicamente conceptos de la Teoría Cuántica, y por tanto los modelos atómicos pueden llegar únicamente hasta el modelo semi-cuántico de Bohr. Lo anterior, constituye un problema para la planeación curricular en ciencias naturales, pues los docentes no tendrán un referente para modernizar su enseñanza. Si bien, se deberían asumir solo como un referente y se debería tomar como un mínimo, es necesario establecer específicamente la temática, por la importancia de la Teoría Cuántica en la EAM, tal como sucede en otros países como Brasil, Argentina, Chile entre otros.

En esta investigación no se analiza, los referentes sociológico y psico-cognitivo, porque no corresponden a las categorías enunciadas anteriormente. Los lineamientos curriculares presentan, además, otro apartado referido a pedagogía y didáctica, En el documento se relacionan algunas definiciones de Pedagogía, dentro de las cuales se toma la

Pedagogía como “una disciplina del conocimiento”(p. 41), referencia además la posición de reconocidos investigadores Colombianos que asume la pedagogía en un plano reflexivo, como la cita de Mockus (1988): enunciados que orientan el quehacer docente y le confieren sentido. De igual manera, se relaciona la definición de Vasco (1990) como reflexiones y transformaciones de la práctica educativa.

Con respecto a la Didáctica, esta se asume como estrategias, relaciones del docente en el contexto, pero se insiste en que el docente puede construir su propia didáctica. Finalmente, se hace hincapié que tanto Pedagogía como Didáctica parten de la reflexión del mundo de la vida y regresan al mismo (p 41).

En este acápite, se motiva la utilización de los laboratorios en la enseñanza a través de argumentos que incluyen la posición de Kant, filósofo del siglo XVIII, frente a la experimentación y afirma además: “El experimento tiene el papel de confirmar o falsear las hipótesis que el científico ha construido sobre la base de sus idealizaciones acerca del Mundo de la Vida” y continúa planteando situaciones experimentales referidas a Galileo, Mendel y Pasteur básicamente, lo que nuevamente permite evidenciar hasta donde avanza el saber en los lineamientos curriculares.

La contribución de dichos autores a las ciencias naturales es innegable, pero se ha avanzado mucho más allá con las experimentaciones en radioactividad, física cuántica, relatividad, nanotecnología, genoma humano, entre otras. Desde la perspectiva didáctica, se ha construido una tendencia más que al laboratorio como tal, al desarrollo de una actividad científica en el aula de clases que vincula más que el laboratorio, prácticas experimentales y desarrollo de un pensamiento crítico (Gómez, Adúriz-Bravo, 2007, Adúriz, e Izquierdo, 2009). Además, implica un acercamiento al trabajo que comporta la actividad científica desde la cotidianidad de la escuela, estableciendo los valores que subyacen al trabajo científico desde los ámbitos ético, sociopolítico y epistemológico y el papel mismo del lenguaje (Blanch, Bonil, & Izquierdo, 2004).

De lo anterior, se concluye que si el objetivo general de las enseñanzas de las ciencias naturales en Colombia es:

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

armónica con la preservación de la vida en el planeta. (MEN, 1998, s.p.).

Y teniendo en cuenta que, dentro de los objetivos específicos se encuentra: “Que el estudiante desarrolle la capacidad de: – Construir teorías acerca del mundo natural. – Formular hipótesis derivadas de sus teorías. – Diseñar experimentos que pongan a prueba sus hipótesis y teorías” (MEN, 1998, s.p.), no son del todo correctos, ya que la ciencia no se empieza con teorías, sino con preguntas y que difícilmente se pueden alcanzar, porque el estudiante no puede construir teorías.

5.1.2 Presentación y Análisis de los Resultados Obtenidos de Estándares Básicos de Competencia.

Por su parte, los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales (EBCCN), se definen como referentes que permiten evaluar los niveles de desarrollo de las competencias que alcanzan los estudiantes en su vida escolar. En la página del MEN, el Periódico digital *Altablero* precisa los estándares como el punto de partida para que cada institución definiera su marco de trabajo curricular; plantea que el objetivo es asegurar una educación similar, de alta calidad y con igualdad de oportunidades, que contribuyesen al diseño de pruebas de logros académicos estandarizados y comparables.

De igual manera, los EBCCN “Guía sobre lo que los estudiantes deben saber y saber hacer con lo que aprenden” (MEN, 2006), son también de referencia obligada en la planeación curricular del área para los docentes colombianos, en la parte introductoria señala: el mundo cada vez cambiante y desafiante requiere de personas que “cuenten con los conocimientos y herramientas necesarias que proveen las ciencias para comprender su entorno” (MEN, 2006, p. 96). La pregunta que surge es: ¿pueden los estudiantes colombianos realmente “comprender el mundo de hoy”? o esa comprensión se limita, tal y como lo explican Oliveira, Vianna, y Gerbassi (2007), a los contenidos curriculares obsoletos, descontextualizados y desactualizados se constituyen en un problema, para profesores y especialmente para los estudiantes.

En los EBCCN, se referencia adecuadamente a Kuhn, en torno a la “verdad científica” como un conjunto de paradigmas provisionales, susceptibles de ser revaluados y reemplazados por nuevos paradigmas” (MEN, 2006, p. 98), se asume, además que la actividad científica está dada principalmente por un proceso de formulación de hipótesis y diseño de estrategias investigativas para su constatación, sin reglas fijas, en un proceso

flexible y reflexivo, en el que hombres y mujeres dentro de su realidad cultural, social, política y económica movilizan dichos procesos. Esta visión del proceso científico es dinámica, y se vería fortalecida si se hiciera alusión a las nuevas teorías (TC) que explican el nuevo mundo.

En este sentido, es necesario enfatizar que, el advenimiento de un nuevo paradigma, en los términos de Kuhn, producido por el desarrollo de la TC no solo implicaría una explicación diferente de los fenómenos naturales, sino un nuevo pensamiento regido por el indeterminismo y la probabilidad (Moreira, 2012, Muñoz, 2019), otra razón por la cual llama la atención que en el documento no se haga relación a la ciencia moderna y contemporánea y específicamente a la TC.

La revisión a los Estándares Curriculares, entendidos como contenidos mínimos para la educación en Colombia, confirma lo que Lobato y Greca (2005) concluyen sobre cómo el desarrollo científico y tecnológico del siglo XX no está presente en la educación secundaria, pues si bien se da cierta libertad curricular, puntos específicos de la física y química modernas y contemporáneas no son señalados como obligatorios. Se enfatiza así, la poca importancia dada a estos temas, pese a que los requerimientos sociales e intelectuales de esta época dependen de conceptos como la relatividad, probabilidad, incertidumbre, no causalidad e incongruencia entre otros (Moreira, 2012), conceptos propios de la teoría cuántica y en general de la ciencia moderna y contemporánea.

Los EBCCN, señalan dentro del apartado, “manejo conocimientos propios de las ciencias naturales” una subdivisión: entorno vivo, entorno físico y relación ciencia, tecnología y sociedad, de las que se aclara, deben leerse y trabajarse de forma integrada los procesos físicos y dentro del entorno vivo: procesos biológicos y procesos químicos. Revisando detenidamente las “acciones” relacionadas con el conocimiento científico al que hacen mención los lineamientos (MEN, 2006), se encuentran las siguientes acciones relacionadas con la enseñanza de la estructura atómica de la materia:

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

Grado Octavo y Noveno: No se encuentra ninguna referencia al tema.

Grado Décimo y Once: Explico la estructura de los átomos desde diferentes teorías. Explico la relación entre la estructura de los átomos y los enlaces que realiza. (MEN, 2006, s.p.).

Estas acciones, descritas en los EBCCN, son la carta de navegación para los docentes y se plasman en los libros de texto, si bien, no hacen alusión directa a la TC, dejan abierto el espacio para que se trabaje desde ella. Esta amplitud, puede generar ambigüedad y dificultades, toda vez que en grado sexto a séptimo con estudiantes cuya edad estaría entre 11 y 13 años, los docentes deberán realizar un análisis de qué temas se deberían articular, pues la edad y los conocimientos de los estudiantes, no permitirían abordar temas relacionados con la TC.

En este sentido y con mayor razón para grados sexto y séptimo, debería considerarse la pertinencia (Pедуzzi y Basso, 2005) y sobre todo la manera en que se aborda la temática relacionada con el modelo atómico de Niels Bohr, pues se puede caer en una excesiva simplificación que al final termine en una imagen del átomo como un sistema solar en miniatura. En Colombia, normalmente los docentes que trabajan las ciencias naturales de grado sexto y séptimo son licenciados en Biología o licenciados en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental, reciben una formación muy básica en química y física, lo cual es otro factor que requeriría un análisis más detallado.

Con respecto a grado décimo y once, nuevamente tal como se plantean las actividades, sin detallar, se abre la posibilidad que el docente decida si trabaja o no desde la TC. El hecho de que en el estándar esté directamente relacionado con la estructura de los átomos y los enlaces, desde diferentes teorías, abre claramente el espacio para el trabajo desde la teoría cuántica, aunque, debería ser más explícito y orientar de manera más directa hacia esta teoría. Un aspecto a destacar, es que los libros de texto, toman los estándares curriculares y los desarrollan tanto para docentes como para estudiantes, de tal manera, que es otro factor a tener en cuenta, al no existir una alusión directa a la teoría cuántica, en los libros de texto es posible notar también el vacío al respecto.

En los estándares, la falta de énfasis en la estructura atómica puede producir lagunas en la enseñanza, de ahí la necesidad de orientar al docente para que analice la manera como se articulan los conocimientos ligados a una determinada teoría, establezca una selección de los temas que se tratan y la determinación de su profundidad, dependiendo del grado en el que se trabaje y con miras a los conocimientos construidos hacia los grados superiores.

Los EBCCN plantean correctamente como meta de la formación en ciencias: “el favorecer el desarrollo del pensamiento científico, desarrollar la capacidad de seguir aprendiendo, desarrollar la capacidad de valorar críticamente la ciencia, aportar a la formación de hombres y mujeres miembros activos de una sociedad”. Si bien estas metas no

solo son plausibles, sino deseables, una vez más, resulta necesario hacer alusión a la ciencia moderna, lo que fortalecería la formación en ciencia para este nuevo contexto. El apartado de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS), moviliza acciones didácticas tendientes a favorecer el desarrollo de una formación en ciencias actualizada y puede servir como escenario para vincular la Teoría Cuántica. Por ello, es necesario confrontar estos hallazgos con la práctica docente, y saber si se hace o no.

Así pues, es necesario referir que los EBCCN plantean, en los logros esperados, temas relacionados con la estructura atómica de la materia, ya fuese a través de las teorías que explican el átomo, la Teoría Atómica, la distribución y estructura electrónica, los enlaces y el ordenamiento periódico; esto, a la vez que permite considerar temas relacionados con la TC, asume una estructura muy general, donde el profesor tiene toda la potestad de tomar o no la TC como referente conceptual y, tal como se ha argumentado, esto no es habitual. La preocupación es mayor cuando los temas referidos pueden asumirse en grados 6, 7, 9 o 10, en los que supuestamente varía la profundidad con que se desarrollan.

Por lo anterior, se hace necesario, confrontar lo que los estándares plantean con el trabajo desarrollado por los docentes, cómo ellos lo asumen, qué tanto consideran los temas y la posibilidad de trabajar desde esta teoría, puesto que los estándares básicos de competencia, constituye referencian obligada para la planeación curricular del área para los docentes colombianos.

5.1.3 Presentación y Análisis de los Resultados Obtenidos de los Derechos Básicos de Aprendizaje.

Con respecto al I documento de los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA), que guardan coherencia con los lineamientos curriculares y los Estándares Básicos de Competencias, plantean rutas de enseñanza, y aunque por sí solos no constituyen una propuesta curricular (MEN, 2017. p. 6), han sido diseñados para articularse a los proyectos educativos de cada institución, no presentan referencia directa a la enseñanza de tópicos de la teoría cuántica o física moderna y contemporánea en general. Las temáticas que se plantean son reducidas e incluso queda la idea, que muchos de los temas centrales han desaparecido del área de ciencias naturales y educación ambiental.

Por otra parte, al plantear rutas para la enseñanza en Colombia tampoco presentan referencia directa a la enseñanza de tópicos de la teoría cuántica o la física moderna y

contemporánea, por ejemplo, para el grado séptimo los DBA aluden al estudio de la estructura de la materia y su relación con el sistema periódico, pero en los demás niveles de escolaridad no existe alusión alguna a tal cuestión.

Lo anterior evidencia que los lineamientos curriculares, los estándares de competencia y los DBA dan libertad al docente para la estructuración de sus currículos en ciencias naturales y existen temáticas que podrían y, más aún, deberían relacionarse con la TC, pero no se señalan tópicos específicos, como sucede en otros países, tales como España, Argentina o Brasil. Así pues, no se encuentra en los documentos oficiales colombianos taxativamente señalada la enseñanza de conceptos cuánticos o conceptos referidos a física o química modernas y contemporáneas, lo que se constituye en una debilidad del sistema curricular que normativiza la enseñanza de las Ciencias Naturales en Colombia.

5.2. Presentación y Análisis de los Resultados Obtenidos de los Libros de Texto (LT).

El análisis de los lineamientos curriculares y estándares básicos de competencia generan un panorama muy general sobre la enseñanza de una temática en específico. Se requiere confrontar dichos hallazgos con otros escenarios que posibiliten tener mayor claridad sobre aquello que se desarrolla en el aula de clase. Por tanto, es necesario analizar libros de texto que desarrollen los estándares diseñados para la enseñanza.

Se analizaron 18 libros de texto de grado décimo de química (Anexo 1), de las editoriales más representativas de circulación en Colombia: en un periodo comprendido entre 1994 y 2018, teniendo en cuenta el advenimiento de la Ley General en 1994 y los cambios que esta generó. De igual manera, tanto la temporalidad, como las editoriales analizadas -que en Colombia no son muchas- permite una muestra heterogénea. Se tomó, además, como criterio, las recomendaciones de los docentes que participaron en el estudio, preguntando que libros utiliza y la editorial, así como aquellos libros que hacen parte de los bibliobancos de las instituciones a las que tuvimos acceso.

Análisis y discusión de resultados de libros de texto.

A continuación, se describe por cada ítem los resultados obtenidos:

Tabla 4. Resultado ítem 1.

Ítem No.1	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿El texto presenta una introducción histórica del concepto de átomo?	16,6%	32,4 %	50%

Si bien el 16% de los libros hacen una presentación histórica del contenido, solo el 8% de ese 16%, hacen una somera introducción desde los planteamientos filosóficos de Grecia, es decir, se refieren al atomismo de Demócrito y hacen una leve presentación de la teoría de los 4 elementos de Empédocles, presentada como fundamento de lo existente por Aristóteles. En los LT analizados, se conectan casi directamente los planteamientos filosóficos de Demócrito con la noción química del átomo de Dalton, sin distinguir justamente que los primeros son planteamientos filosóficos y la primera idea química de átomo la manifiesta Dalton, aunque no haga una distinción entre elemento y átomo específicamente (Alzate, 2009).

Evidencia de lo anterior, es que los libros analizados no asumen los trabajos de científicos como Robert Boyle (1627-1691) y Antonie Lavoisier (1734-1794), los cuales tienen una importancia fundamental, no solo porque comienzan a dibujar la idea de que la materia no fuese continua, sino constituida por una sustancia básica, además, porque los trabajos de Boyle al confrontar las ideas aristotélicas de los cuatro elementos marcan el comienzo del final de la Alquimia; por su parte, Lavoisier da fin a las discusiones metafísicas para concebir el elemento como resultado de la experiencia (Alzate, 2009).

Solo 23% de los textos analizados evidencian un acápite específico para hablar de la discontinuidad de la materia, siendo esta noción fundamental para las ciencias naturales, por ser necesaria la comprensión de la materia formada por partículas en movimiento (Giudice y Galagovsky, 2008), los demás libros no prestan atención a este concepto, por tanto, no señalan las consecuencias epistemológicas del mismo, concebir la naturaleza discontinua de la materia implica aceptar un modelo microscópico para explicar la realidad macroscópica, aceptar la idea de vacío; va en contra de la percepción del mundo, en el que la materia se presenta como algo continuo (Gomez-Crespo y Pozo, 2000).

Otro aspecto importante, es que un solo texto (Mora Penagos, Parga Lozano, y Torres Rodríguez, 2003), presenta un contenido referido a las “dificultades de la teoría de Dalton vistas desde la teoría atómica de hoy”, haciendo referencia sobre todo a la limitación de la indivisibilidad del átomo. Este apartado es importante puesto que permite reconocer las limitaciones de la teoría y del trabajo de los científicos, fortaleciendo la noción de una ciencia dinámica y evolutiva, no acumulativa.

Se considera que el 33% de los LT hacen una introducción histórica parcial cuando simplemente enuncian los trabajos de Demócrito y Dalton, sin referirse a los detalles enunciados anteriormente.

Tabla 5. Resultado ítem 2 y 3

Ítem No. 2 y 3	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Para la presentación del modelo atómico de Thomson presenta antecedentes?	50 %	27.5 %	22.5 %
El modelo de Thomson se presenta teniendo en cuenta los aportes de la Historia de las ciencias		82.5 %	16.5 %

El 50% de los libros analizados hacen una presentación de los antecedentes al modelo atómico de Thomson, referenciando los trabajos de Crookes, Hertz, Goldstein, Busen, Kirchoff entre otros, se concentran en la descripción de los trabajos con los rayos catódicos. Solo el 27 % de los libros refieren la naturaleza eléctrica de la materia.

Con respecto a la presentación general del modelo, si bien un 83% de los libros presentan un componente histórico, es parcial pues no refieren aspectos fundamentales del modelo presentado a inicios de siglo XX por Thomson. La presentación de los LT analizados evidencia muy poca referencia desde la historia de las ciencias, por ejemplo, se desconoce que en el modelo los electrones podrían estar tanto en movimiento en anillos concéntricos como en reposo tal como lo expresa en su artículo (Thomson, 1904), incluso Bohr (1913) hace alusión a la movilidad de los electrones en órbitas circulares dentro del átomo de Thomson, hecho que debería ser considerado (Moreno, 2018).

Por otra parte, el 50 % de los LT analizados asumen la analogía del “puddín con pasas”, en los que se presentan electrones estáticos, lo que se constituye en un error (Moreno 2018), esto corresponde a una abstracción sumamente sencilla, desconociendo el formalismo matemático detrás de este modelo. Además, Thomson quiso demostrar que las propiedades de los elementos químicos dependían de su peso atómico tal como se expresaba en la ley periódica.

Tabla 6. Resultado ítem 4 y 5

Ítem	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Para la presentación del modelo atómico de Rutherford presenta antecedentes?	72.2 %		27.8 %
El modelo de Rutherford se presenta teniendo en cuenta los aportes de la Historia de las ciencias		83.3 %	16.6 %

La tabla 6 muestra que el 72.5 % de los textos analizados presentan antecedentes al modelo de Rutherford. Sin embargo, con respecto al experimento, no se explica que 1 de cada 20.000 partículas se desviaron en ángulos grandes, siendo que éste es un hallazgo fundamental y no solo el hecho de que en lugar de una leve desviación se presentara una gran desviación. Otros antecedentes que se tendrían en cuenta son los mencionados por Solbes et al. (2010), referentes a Perrin (1901), quien imagina el átomo formado por una partícula positiva alrededor de la que giran como pequeños planetas electrones que compensan la carga total, y Nagaoka (1904), quien propone un modelo más concreto en que los electrones equidistan del núcleo, moviéndose con velocidad angular común.

Además, con respecto a la historia de las ciencias, hay hechos que se deberían relacionar con el modelo y no se hacen. Por tanto, se considera que el 83% de los LT hacen una presentación parcial, por ejemplo, no se explica que Rutherford (1911) no solo dio la idea de cómo se organizaba el átomo, presentó un cálculo de su tamaño en el orden de 10^{-10} m y el núcleo de 10^{-14} m, esto tiene como consecuencia que el núcleo sea al menos unas diez mil veces más pequeño que el resto del átomo, lo que implica una gran cantidad de espacio vacío en la organización atómica.

Por otra parte, en los textos analizados el núcleo positivo del átomo es una consecuencia directa del experimento, al respecto Moreno (2018) llama la atención en este punto, pues en el artículo presentado por Rutherford (1911), en las conclusiones se lee: “Las deducciones de la teoría considerada hasta ahora son independientes del signo de la carga central, y hasta el momento no se ha encontrado posible obtener evidencia definitiva para determinar si es positiva o negativa”. En esta primera presentación del modelo, se habla de una carga igual y opuesta a la carga central condensada en un núcleo.

El no tener en cuenta la historia de las ciencias y en este caso de los documentos originales, quizá con la intención de simplificar el conocimiento para hacerlo más sencillo no permite evidenciar los procesos y la naturaleza de la construcción del conocimiento. Esto, es un problema de simplificación que sustrae elementos importantes, por ejemplo, los LT no mencionan el papel que juegan Geiger y Marsden en el desarrollo del modelo.

Desde esta perspectiva, los resultados obtenidos en este análisis, coinciden con las conclusiones del estudio sobre este modelo realizado por Cuellar, Perez y Quintanilla (2005), en el sentido de evidenciar que los libros de texto no hacen un reconocimiento a la historia y la filosofía de las ciencias.

Tabla 7. Resultado ítem 5 y 7 de Libros de Texto

Ítem	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Para la presentación del modelo atómico de Bohr presenta antecedentes?	44,4%	22,2 %	32,4 %
El modelo de Bohr se presenta teniendo en cuenta los aportes de la Historia de las ciencias		88,9 %	11,1 %

En la tabla 7 se muestra que 44,4 % de los libros analizados presentan antecedentes al modelo atómico de Niels Bohr, mientras que el 33 % de los libros no lo hace. Lo cual se manifiesta, al desconocer aspectos como los relacionados a continuación: en su artículo de 1913 Bohr parte de las limitaciones de los modelos atómicos de Thomson y Rutherford, especialmente haciendo referencia a la inestabilidad del átomo de Rutherford. Los LT omiten también, aportes en torno a los espectros de los átomos basados en el átomo de Rutherford, aportes sobre mediciones precisas de las longitudes de onda de las rayas espectrales de Rowland; los trabajos de Balmer y Rydberg y como estos planteamientos desafiaban a la mecánica clásica.

Por otra parte, se considera que el 22,2 % de los libros analizados hacen una presentación histórica parcial, pues no detallan aspectos relacionados con los espectros atómicos y sería importante que mencionaran al menos, que Bohr en 1913 plantea como necesidad introducir los trabajos desarrollados por Planck y sus cuantos de acción, desafiando la electrodinámica clásica, para la explicación de la estabilidad del modelo de Rutherford. Otro aspecto que se omite es que cuando Bohr postuló su modelo, no conocía aún las fórmulas de Balmer y Paschen para el espectro de hidrógeno, por tanto, su aporte estuvo en la predicción de estas.

Es importante hablar del efecto fotoeléctrico, la radiación del cuerpo negro, incluso la catástrofe del ultra violeta, pues Bohr toma la idea de Einstein de los cuantos de luz o fotones de energía para la explicación de los espectros, al considerar que cualquier emisión o absorción de radiación por el átomo es un proceso individual acompañado de una transferencia de energía. De tal manera que, en un proceso de emisión de energía se presenta la transición del electrón desde un nivel alto de energía a otro inferior, y en un proceso de absorción el átomo transita desde su estado fundamental hasta uno excitado.

El 88,8 % de los textos analizados presentan los espectros de la luz y al menos una breve explicación de los espectros atómicos, en relación con el modelo atómico de Bohr. El

42 % de los libros menciona el concepto de la cuantización de la energía como un concepto fundamental.

Tabla 8. Resultado ítem 8 de Libros de texto.

Ítem	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Se explica el efecto fotoeléctrico?	6.1 %	16.6 %	77.2 %

En la tabla 8, se muestra que la enseñanza de esta temática, se requiere asumir el quiebre epistemológico entre el determinismo y la causalidad de la física clásica y el indeterminismo y la dualidad de la Teoría Cuántica (Solbes, 2013, Muñoz, 2019), para ello es necesario evidenciar la crisis de las teorías clásicas, frente a la imposibilidad de explicar algunos fenómenos tales como el efecto fotoeléctrico.

Sin embargo, solo el 6 % de los libros analizados explican el efecto fotoeléctrico. Algunos libros presentan lecturas adicionales en cada unidad, pero tampoco en este apartado o a manera de complemento o profundización se hace alusión al efecto fotoeléctrico. Un 17% explica brevemente o menciona el efecto fotoeléctrico, pero no hace una explicación del fenómeno como tal y, por tanto, no se describe la importancia científica y epistemológica que tiene.

Se considera fundamental tratar el efecto fotoeléctrico, por cuanto, es uno de los problemas que junto con la catástrofe del Ultravioleta y los espectros atómicos darían origen a la crisis de la física clásica.

Tabla 9. Resultado ítem 9 de Libros de texto

	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿El efecto fotoeléctrico se explica mostrando una ruptura con la mecánica cuántica?	5.5 %		94.4 %

Solo un texto, hace referencia al efecto fotoeléctrico como uno de los fenómenos que darían origen a la crisis de la ciencia clásica. No es suficiente una mención del efecto fotoeléctrico, es necesario al menos una explicación del fenómeno y las consecuencias de los conceptos abordados por Einstein en su explicación, por las implicaciones epistemológicas que tiene, al poner de manifiesto y claramente las limitaciones de la física clásica, la construcción de la ciencia como un proceso complejo, no lineal ni acumulativo y en el que se

requiere la construcción de nuevas explicaciones teóricas, cuando las evidencias experimentales contradicen las predicciones teóricas.

Algunos libros hacen mención a los trabajos de Planck, pero no se enuncia que la hipótesis cuántica de Planck se constituyó como una nueva teoría, cuando en 1905 Einstein publica su artículo "sobre un punto de vista heurístico concerniente a la producción y transformación de luz", donde explica cuánticamente el efecto fotoeléctrico (Petrucci, Herring, Madura, y Bissonnette, 2011). Pues al utilizar el resultado de Planck sobre la emisión de energía de un cuerpo negro en forma de paquetes; propone que la cuantización es una propiedad intrínseca de la luz.

Tabla 10. Resultado ítem 10 de Libros de texto

Ítem 10	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
Para la presentación de cada uno de los modelos atómicos, ¿Se diferencia claramente que los modelos de: - Thomson y Rutherford son clásicos?			100 %

En la tabla 10 se muestra que el 100 % de los libros de texto, no hacen una diferenciación entre la teoría que respalda cada uno de los modelos. Es necesario, no solo que se presente una secuencia de contenido, sino que desde una perspectiva crítica, se analice el proceso de construcción del conocimiento que da origen a dichos modelos, en el caso de los modelos clásicos de Thomson y Rutherford mantienen principios básicos, como son: la aceptación del átomo como partícula mínima de un elemento, su divisibilidad, neutralidad y la existencia de corpúsculos negativos denominados electrones, fundamentados en la mecánica y el electromagnetismo clásicos.

Tabla 11. Resultado ítem 11 de Libros de texto

Ítem 11	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
Para la presentación de cada uno de los modelos atómicos, ¿se diferencia claramente que los modelos de: Bohr y Sommerfeld son pre-cuánticos?	5.5 %	38 %	55.5 %

Uno solo de los libros hace referencia a que el modelo de Bohr, configura una transición entre la ciencia clásica y la teoría cuántica, el 55% de libros no explican este importante hecho, al que debería hacerse énfasis, pues a pesar de utilizar conceptos clásicos, el modelo de Bohr introduce la cuantización de la energía en el átomo. El 38 % de los LT que se refieren a la cuantización, no explican que esta introducción es "ad hoc", configurándolo como un modelo pre-cuántico, pues no se desarrolla plenamente el concepto, que pone de

manifiesto la incapacidad de la electrodinámica clásica para dar cuenta del mundo subatómico, e introduce el concepto de fotón de Planck y Einstein a la hora de explicar los espectros atómicos (Holton y Brush, 2001).

Tabla 12. Resultado ítem 12 de Libros de texto

Ítem 12	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
Para la presentación de cada uno de los modelos atómicos, ¿Se diferencia claramente que el modelo de Schrödinger es cuántico?	33.3 %	22.3 %	44.4 %

El hecho de que solo un 33 % de los LT hagan una clara diferencia del modelo cuántico, es consecuencia de que anteriormente no se ha reconocido, que hay modelos clásicos, modelo precuántico y las limitaciones de validez de la física clásica. Esto dificulta comprender la importancia de un modelo cuántico. Por otra parte, el 22 % los LT analizados, no hacen énfasis en este aspecto, por lo que se considera que hacen solo una diferencia parcial del modelo cuántico, lo que permite deducir una presentación empírico-positivista de los modelos, sin hacer énfasis en la necesidad de un quiebre ocasionado por la TC.

En la presentación que hacen los LT de este modelo atómico, se mezclan las nociones clásicas, precuánticas y cuánticas, lo cual genera una confusión que podría deberse a la necesidad de los autores de los libros, por simplificar conceptos, pero esta yuxtaposición es una de las principales fuentes de errores conceptuales (Solbes et al., 1987).

Tabla 13. Resultado ítem 13 de Libros de texto

Ítem	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Señala las inconsistencias de los modelos atómicos de Thomson?		55.5 %	44.5 %

Si bien el 55 % de los libros analizados explican las inconsistencias de modelo de Thomson, ninguno de los LT explica detalladamente que el modelo propuesto por Thomson no sería capaz de desviar el rayo en un ángulo tan grande, y que lo realmente importante era el hecho de que una de cada veinte mil partículas fuera desviada con grandes ángulos. Las deflexiones considerables de las partículas alfa, eran debidas al paso a través del campo de fuerza central, situación que no ocurriría en el modelo de Thomson a menos que el diámetro de átomo fuera excesivamente pequeño (Rutherford, 1911).

Si bien los libros de texto, quizá no podrían detallar el proceso de construcción de cada modelo, sí es importante que se comprenda que un experimento diseñado para

comprobar una teoría, mostró las inconsistencias de ella y generó, por tanto, su reformulación en un nuevo modelo.

Tabla 14. Resultado ítem 14 de Libros de texto

Ítem 14	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Señala las inconsistencias del modelo atómico de Rutherford?	33.3 %	27.8 %	38,8 %

Pese a que el 34 % de los libros analizados explican que el problema con el átomo de Rutherford es su inestabilidad en contraposición a lo predicho por la teoría electromagnética clásica, según la cual, un electrón que gira alrededor del núcleo, emitiría energía continuamente en forma de radiación electromagnética, lo que llevaría al colapso del núcleo, no se consideran otros aspectos importante como el hecho de que Niels Bohr estudiaba las implicaciones del núcleo y de los electrones con las propiedades físicas y químicas de los elementos.

Además, tampoco se referencia que Bohr investigó el comportamiento de los rayos alfa y beta, así como lo hizo Thomson desde su modelo, lo que llevó a Bohr a considerar el cuanto de acción de Planck en la constitución electrónica del átomo de Rutherford y desde ahí, explicar uniones moleculares y efectos radioactivos y magnéticos, pero no la estabilidad del átomo. Este es un escenario, para que los libros de texto muestren una limitación de la física clásica y se presente el cuanto de acción de Planck.

Frente a la necesidad de explicar detalladamente las inconsistencias de cada uno de los modelos atómicos y en este caso el modelo de Rutherford, se considera que el 28 % de los LT señalan solo parcialmente las inconsistencias, pues se debería especificar con más énfasis que un solo experimento no es capaz de derribar una teoría (Blanco y Niaz, 1998); tanto el proceso para debatir el modelo de Thomson, como para el modelo de Rutherford, este proceso puede ser lento, complejo y derivado de esto puede presentarse la coexistencia de dos modelos.

Tabla 15. Resultado ítem 15 de Libros de texto

Ítem 15	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Señala las inconsistencias de los modelos atómicos de Bohr?	5.5 %	38.8 %	55.5 %

La tabla 15 muestra que solo el 5 % de los libros de texto explican detalladamente las limitaciones del modelo atómico de Bohr, y esto se constituye en un problema, debido a que este modelo es gráfico, lo que permite a los estudiantes y docentes hacer analogías con el sistema planetario de donde se desprenden errores conceptuales muy difíciles de superar. En este sentido y especialmente para este modelo, es muy importante resaltar que las analogías pueden ser confundidas con el concepto, se retienen fácilmente los detalles más llamativos; los estudiantes e incluso los profesores pueden descuidar las limitaciones, pueden tener dificultades intrínsecas con el pensamiento analógico, lo que dificulta la comprensión de la analogía (Parente, dos Santos y Tort, 2014) presentada por los LT.

El modelo atómico de Bohr, presenta una importancia fundamental en la transposición didáctica de la EAM, por cuanto, el modelo cuántico no es trabajado con profundidad, lo que hace que prácticamente sea el modelo de Bohr el último modelo con que se quedan los estudiantes. Lo anterior, genera controversia sobre la pertinencia de su enseñanza y la manera como se presenta en los libros de texto (Peduzzi y Basso, 2005). Por otra parte, los estudiantes muestran resistencia a cambiar su visión de los modelos científicos previamente construidos (Justi, 2006) y el modelo de Bohr, lo trabajan desde grados inferiores, y les ofrece un buen poder explicativo.

Se considera que el 39 % de los LT presentan parcialmente la inconsistencia del modelo, pues no refieren el problema de la órbita como tal. Uno solo de los libros analizados hace una leve explicación al problema de las órbitas, más como un cambio a niveles y subniveles, sin profundizar en las dificultades con la trayectoria – órbita como tal.



Figura 5. Modelo planetario de Bohr.

Fuente: LT14.

La imagen tomada de LT14 muestra la analogía con el sistema planetario y se desconocen las múltiples diferencias entre el sistema planetario y el átomo como: los planetas están sujetos a la gravedad, sobre los electrones actúa el electromagnetismo, por tanto, también actúan fuerzas de repulsión (Kipnis, 2005).

Por otra parte, los LT no abordan que el modelo de Bohr no explica el desdoblamiento de las rayas espectrales, la mayor intensidad de unas líneas respecto de otras, la anchura de las mismas (todo ello en el propio espectro del átomo de hidrógeno), tampoco explica los espectros de átomos polielectrónicos.

No se menciona como una de las más importantes limitaciones, la mezcla de elementos clásicos y cuánticos en la construcción del modelo; en este caso, se apunta a una ciencia basada en argumentos matemáticos, al carecer de soporte experimental y no se construye una visión de ciencia como proceso social estructurado.

Tabla 16. Resultado ítem 16 de Libros de texto

Ítem 16	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Se justifica la necesidad de introducir el modelo cuántico?	11.1 %	11.1 %	77.7%

El 11 % de los libros justifican la necesidad de introducir el modelo mecánico cuántico y un 11 % lo hacen parcialmente, pues de alguna manera, justifican el modelo cuántico; esta introducción se relaciona con la restringida presentación de las limitaciones al modelo de Bohr. La revisión realizada a los textos, permite determinar que no se hace un preámbulo al modelo cuántico. De nuevo, los conceptos aparecen como si fueran una adición al modelo anterior, desconociendo todo el quiebre epistemológico y conceptual requerido.

En el 78 % no se presenta la ruptura con la física clásica o los conceptos clásicos y los límites de validez que se requieren para que se pueda comprender que este modelo es diferente, que no tiene las mismas nociones básicas que los modelos anteriores, como es el determinismo.

Tabla 17. Resultado ítem 17 de Libros de texto

Ítem 17	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Introduce las relaciones de indeterminación?	72.2 %	5.5 %	22.2 %

La tabla 17 muestra que si bien, el 72 % de los libros analizados introducen las relaciones de indeterminación, dichos LT utilizan aproximadamente un párrafo para su

explicación. De igual manera, el 100 % de los LT que introducen el tema, lo hacen bajo el nombre de principio de incertidumbre. Se considera fundamental la introducción de las relaciones de indeterminación, puesto que la enseñanza del modelo cuántico actual está fundamentada en tres conceptos claves: la superposición de estados, la dualidad de los objetos cuánticos y las relaciones de indeterminación (Greca, Moreira y Herscovitz, 2001), así sea con el nombre de principio de incertidumbre.

Se considera que un 5 % lo hace parcialmente, puesto que se hace una alusión a las relaciones de indeterminación, sin que se haga una explicación al respecto.

Tabla 18. Resultado ítem 18 de Libros de texto

Ítem 18	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
Las relaciones de indeterminación son introducidas de manera histórica, crítica.		5.5 %	94.5 %

Solo un texto hace una introducción histórica a las relaciones de indeterminación, pero no se trata de una presentación histórica y crítica, por lo cual se determina como parcial. Esta introducción no permite deducir las implicaciones epistemológicas de las relaciones, en la presentación no se enfatiza en el quiebre, no se determina la importancia que tienen o de donde se derivan. No se explica que Heisenberg en 1927, demuestra las limitaciones del uso de conceptos clásicos como la trayectoria en el mundo subatómico. Por tanto, el 95 % de los LT no presentan de manera histórica y crítica las relaciones de indeterminación, tal como se muestra en la tabla 18.

Tabla 19. Resultado ítem 19 de Libros de texto

Ítem 19	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Las relaciones de indeterminación se explican adecuadamente?		22.2 %	77.7 %

La tabla 19 muestra que solo un 23 % LT explican parcialmente las relaciones de indeterminación, se considera así por cuanto no explican detalladamente la imposibilidad de medir simultáneamente y con imprecisión cero, dos magnitudes conjugadas. Los textos, introducen de manera reduccionista las relaciones de indeterminación, en especial, al relacionarlas con una analogía común, como es el fotón en un microscopio (Figura 5), lo que se constituye en un problema de carácter epistemológico y como si el problema de la indeterminación se refiriera al proceso de observación (Solbes y Sinarcas, 2009). Lo descrito

anteriormente, da pie a utilización ideológica y pseudocientífica de las relaciones de Heisenberg (Solbes, 2013).



Figura 6. Explicación Principio de Incertidumbre.

Fuente: LT 13

Este hecho puede sustentar creencias pseudocientíficas, ya que estas buscan apoyo, para justificar sus planteamientos en “el prestigio científico de la física cuántica, y, a la vez, en las dificultades de la visión cuántica del comportamiento de la materia” (Solbes, 2019). Los libros deberían explicar detalladamente estas relaciones para evitar el surgimiento de estas creencias y malas interpretaciones.

El 100 % de los libros no enfatizan en que se trata de una restricción epistemológica derivada de la naturaleza ontológica de los objetos cuánticos (Solbes, 2018). Eso explica además que el 100 % denomine principio de incertidumbre y no relaciones de indeterminación, pues una restricción epistemológica significa que la restricción es de la naturaleza, no de nuestro conocimiento y, por tanto, es mejor denominar relaciones de indeterminación y no incertidumbre, por cuanto la incertidumbre es del conocimiento sobre las cosas. Denominar “principio de incertidumbre”, se puede considerar como un error en la comprensión de este concepto (Lévy-Leblond, 2002; Solbes 2018). Solbes (2018), llama la atención en el sentido que no es “tal principio”, al no aparecer entre los postulados de la mecánica cuántica que responden a preguntas básicas de la misma.

Es importante mencionar que 100 % de los libros no aclaran que la velocidad y el momento lineal son magnitudes conjugadas y que, no son las únicas magnitudes a las que se

podría referir las relaciones de indeterminación (también a energía y tiempo o a dos componentes del momento angular).

Tabla 20. Resultado ítem 20 de Libros de texto

Ítem 20	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿El electrón se explica como un objeto cuántico, que exige una nueva descripción?	11 %	16.5 %	72.4 %

En la tabla 20, se muestra que solo el 11 % de los libros introducen el electrón como un objeto cuántico, y un 16.5 lo hacen parcialmente, frente al 72 % que no lo hace. Esto se evidencia cuando el 100 % de los LT no refieren las implicaciones de las relaciones de indeterminación, a saber: la imposibilidad del conocimiento simultáneo de la posición y momento del electrón (Solbes, 2018), que permite a su vez, trabajar el carácter ondulatorio de los electrones. El concepto de electrón es fundamental para el aprendizaje de la química y la física y para comprender la naturaleza de la materia. Desarrollar un contenido en los libros de texto y limitarse hasta ser considerado como partícula únicamente, se considera un error conceptual, pues ni docentes, ni estudiantes, podrán a futuro explicar de manera adecuada la naturaleza dual los objetos cuánticos.

En este sentido, sería recomendable insistir en que electrones son objetos nuevos, ni ondas ni partículas clásicas, sino objetos cuánticos con un comportamiento nuevo (Lévy-Leblond, 2002; Solbes, 2018). Lo anterior, fundamentaría las bases para reconocer que la Teoría Cuántica es una nueva teoría, con bases disruptivas y constituye explicaciones a fenómenos nuevos. Por otra parte, un 94.5 % de los LT no referencian a los fotones, protones y neutrones, también como objetos cuánticos.

Tabla 21. Resultado ítem 21 de Libros de texto

Ítem	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Se introducen los niveles de energía como solución de la ecuación de Schrödinger?	5.5 %	11.1 %	83.4 %

En correspondencia con la Tabla 21, solo un 5 % de los libros analizados, introducen de forma correcta los niveles de energía como parte de la solución a la ecuación de Schrödinger, lo cual se constituye en un problema. Frente a un 84 % de los libros que introducen los niveles de energía desde el átomo de Bohr, o se hacen una mezcla entre ideas cuánticas e ideas clásicas para explicar los niveles de energía, lo cual se presta para confundir los conceptos o trasladar la idea de órbita al concepto de nivel, lo cual es un error conceptual.

Se considera que el 11 % de los libros lo hacen parcialmente, pues si bien explican los niveles como solución a la ecuación de Schrödinger, se introducen errores, tales como: resoluciones de la ecuación muy simplificadas, o simplemente se menciona la ecuación sin explicar detalles.

Tabla 22. Resultado ítem 22 de Libros de texto

Ítem	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Se introducen los números cuánticos n , l , m como solución de la ecuación de Schrödinger?	5.5 %	22.1 %	72.4 %

El 72 % de los LT no explican que los números cuánticos son consecuencia directa de la solución de la ecuación de Schrödinger y se definen como el conjunto de valores numéricos, los cuales dan soluciones aceptables a la ecuación de onda para el átomo de hidrógeno. Se considera que el 23% hace una explicación parcial, pues no describen los números cuánticos como valores enteros o semienteros, que identifican el estado de un sistema físico tal como un átomo, por tanto, en la presentación que hacen se evidencia una confusión entre conceptos clásicos y cuánticos.

Tabla 23. Resultado ítem 23 de Libros de texto

Ítem	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿El concepto de orbital se explica como la función de onda o de estado?	5.5 %	11.1 %	83.4 %

En la tabla 23 se describe que la presentación del concepto de orbital en los LT analizados, el 83 % no relacionan al orbital como función de onda o de estado. Se considera que un 12 % explica el concepto de orbital relacionado con la función de onda, pero desconocen que la ecuación de onda parte de los trabajos de Louis de Broglie y, que en 1926, fue el científico Max Born, quien propuso la interpretación probabilista aceptada hoy en día $\Psi\Psi^*$, donde Ψ^* representa el complejo conjugado de la función de onda, y se entiende como la densidad de probabilidad de encontrar el electrón.

En este aspecto, el 100 % de los LT no refieren que Robert Mulliken, es quien introdujo el término “orbital atómico” en 1932. El termino orbital, señala el autor, es simplemente una abreviación del término “función de onda mono electrónica” (Labarca, 2009).

Tabla 24. Resultado ítem 24 de Libros de texto

Ítem	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Se explica que los orbitales están asociados a propiedades de los electrones y no tienen existencia independiente?		5.5 %	94.5 %

En la tabla 24 se describe que el 94.5 % de los LT no explican el orbital como la función ψ_{nlm} solución de la ecuación de Schrödinger, que describe el estado del sistema. Las explicaciones al no relacionarse con la ecuación, evidencian una concepción de orbital como zona o espacio físico, donde es más probable encontrar a los electrones, lo que constituye un error, pues el orbital no existe independientemente del electrón (Solbes et al. 1987b, 1988, Sinarcas y Solbes, 2013). La explicación que prevalece en este 94.5 % es el de lugar asociado a la probabilidad como un concepto derivado de la Teoría Cuántica.

Tabla 25. Resultado ítem 25 de Libros de texto

Ítem	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿El número cuántico espín se introduce como un nuevo número para explicar experiencias (Stern-Gerlach) y configuraciones electrónicas?	11.1 %	5.5 %	83.4 %

En los libros de texto analizados, se describe el espín como un cuarto número cuántico, derivado del átomo de Bohr o de Sommerfeld, se asume el giro del electrón hacia la izquierda o derecha (figura 7). El 100% de los libros omiten el cuestionamiento respecto al giro, lo que se constituye en un error, si el electrón es un objeto cuántico, no podría girar sobre un eje que no existe. Tal como lo expresaron Uhlenbeck y Goudsmith (1925): “si cada número cuántico corresponde a un grado de libertad, la idea de un electrón que puntual, tendría solo tres grados de libertad” (gl), pudiendo comprender que la idea de un electrón giratorio no es apropiada, ya que un objeto que gira tiene 6 grados de libertad.

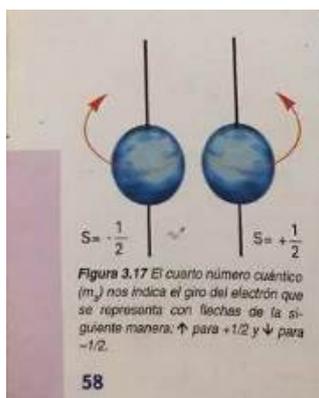


Figura 7. Giro del electrón. Fuente: LT6.

El 100 % de los LT no explican el espín como un momento angular intrínseco característico del electrón y otras partículas elementales, que no tiene análogo en el mundo macroscópico. El número cuántico espín, es tratado de manera muy somera. De ahí que, la historia de las ciencias no es relacionada en los libros de texto, se desconoce que Uhlenbeck y Goudsmith, discípulos de Erhenfest, introdujeron el concepto del *espín* y cómo este concepto se deriva de los trabajos realizados por Pauli en torno a su principio de exclusión.

Los resultados anteriores, permiten deducir que en los LT analizados la o las unidades determinadas para la Estructura Atómica de la Materia, no tienen como referencia conceptual a la teoría cuántica, no hacen presentación histórica de los modelos atómicos, sus antecedentes y limitaciones, no se hace énfasis en las limitaciones de la física clásica para explicar algunos fenómenos y en la presentación del modelo cuántico hay mezcla y yuxtaposición de conceptos clásicos y cuánticos.

5.3 Presentación y Análisis de los Resultados Obtenidos para los Docentes

El cuestionario se aplicó a 71 docentes en ejercicio, entre los cuales hay licenciados y profesionales no licenciados. En Colombia y de acuerdo con la Ley 30 de 1992, existen programas profesionales de formación en las distintas áreas del conocimiento como física, química o biología, cuyo énfasis es la investigación, de igual manera, las ingenierías: pueden ser en química, física, o ambiental, entre otras. Sin embargo, la formación profesional para el ejercicio de la docencia se determina específicamente con la Ley 30 de 1992 y la Ley 115 de 1994. La primera, establece en su artículo 25 que el título de licenciado es para los graduados de las carreras profesionales de educación; y la segunda, en su artículo 112, sostiene que la responsabilidad de la formación inicial de docentes a nivel de la educación superior, es a través de los programas de licenciatura.

Los programas de licenciatura son ofrecidos por instituciones de educación superior, con una duración entre 8 y 10 semestres y que habilita al egresado para el ejercicio de la docencia en los diferentes niveles educativos, áreas o poblaciones, según el énfasis de la formación. Por necesidades de diversa índole, desde tiempo atrás, han trabajado profesionales no licenciados como químicos (puros), ingenieros químicos en la enseñanza primaria y secundaria, el Decreto 128 de 1977, restringió este hecho, y solo conservaban los derechos, pero con muchas desigualdades los profesionales que ya habían accedido a los cargos como

docentes. Luego llegó el Decreto 2277 de 1979, nuevamente negó el acceso a los profesionales no licenciados y de igual manera, respetó los derechos que traían este grupo de docentes en particular. Sin embargo, el Decreto – Ley 1278 de 2002, Estatuto de Profesionalización Docente, en el artículo 3, establece:

Son profesionales de la educación las personas que poseen título profesional de licenciado en educación expedido por una institución de educación superior; los profesionales con título diferente, legalmente habilitados para ejercer la función docente de acuerdo con lo dispuesto en este decreto; y los normalistas superiores.

De tal manera, que hoy en día, a través de concurso docente se vinculan licenciados y profesionales no licenciados a la enseñanza en educación primaria y secundaria en Colombia. Los profesionales no licenciados deben realizar un curso de pedagogía y didáctica ofrecido por una institución de educación superior reconocida por la secretaría de educación de su departamento, para el ejercicio de la docencia en instituciones públicas.

Tabla 26. Distribución según formación docente.

Formación	Especialidad	No.	Total
Licenciados en	Química	13	46
	Biología	6	
	Educación Básica con Énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental	12	
	Bioquímica	1	
	Biología y Química con área mayor	13	
	Biología y Química	1	
Profesionales no licenciados	Química	17	25
	Ingenieros químicos	1	
	Ingenieros Agroforestales	6	
	Zootecnista	1	
Total			71

Se trabajó con docentes de la asignatura de química o ciencias naturales (tabla 25), no se abordó a docentes del área de física, debido a que los estándares curriculares no contemplan la temática de estructura Atómica de la Materia dentro de esta asignatura. La necesidad de indagar en los docentes las estrategias seguidas para la enseñanza de la estructura de la materia, está en que "las posibles transposiciones didácticas para la escuela secundaria dependen en gran medida de una formación conceptual sólida" (Ostermann y

Prado, 2005, p. 194), por tanto, de las respuestas obtenidas, se relaciona la formación del docente.

Tabla 27. Resultados de docentes de los 4 primeros ítems de Docentes

1. Ítem	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
Al diseñar la planificación en el programa escolar, tiene en cuenta los libros de texto para: ¿Discriminar qué contenidos o conceptos contemplar en la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia?	57.7 %	38 %	4.2 %
Al diseñar la planificación en el programa escolar, tiene en cuenta los libros de texto para: ¿Discriminar qué fenómenos contemplar en la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia?	47.8 %	50.7 %	1.4 %
Al diseñar la planificación en el programa escolar, tiene en cuenta los libros de texto para: ¿Discriminar qué estándares, competencias promover en la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia?	60.5 %	26.7 %	12.6 %
Al diseñar la planificación en el programa escolar, tiene en cuenta los libros de texto para: En qué periodo (o en qué momento de un periodo) incluir la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia (EAM)	45 %	32.4 %	22.5 %

La tabla 27, muestra que los resultados obtenidos para los cuatro primeros ítems, coincide con investigaciones previas en el sentido que, los docentes utilizan los LT para su planeación escolar, especialmente para determinar los contenidos y estándares curriculares a desarrollar. Lo anterior, convierte a los LT en mediadores entre los estándares establecidos por el MEN en el caso de Colombia y las planeaciones escolares, de ahí que Martínez (2002), Sacristán (2005) y Solarte (2006), los asumen como herramientas mediadoras, que traducen y concretan aquellos significados incluidos en el estándar prescrito por las instituciones que reglamentan los sistemas educativos.

Con base en lo anterior, asumimos que los LT son un vector didáctico, conceptual, en el que se hace una transposición didáctica que, a su vez, incide en la transposición que hará luego el docente. Por lo anterior, consideramos importante, que en un proceso investigativo que tenga como objetivo la caracterización de la enseñanza, se tome como punto de partida el análisis de los libros de texto, y se confronte con la práctica de los docentes.

Cabe mencionar que, dentro de los docentes que no consideran los libros en los procesos de planificación escolar, están principalmente docentes licenciados en química y algunos profesionales de la química, consideran que es una mejor fuente de conocimiento los artículos científicos, otros libros diferentes a los de texto. Por el contrario, los licenciados en ciencias naturales y educación ambiental y otros de los profesionales no licenciados,

manifiestan adicionalmente que los libros de texto son una buena fuente de consulta en su labor docente. Estos hallazgos confirman la importancia de un análisis del contenido de los libros de texto, al ser aún, una fuente de consulta para los docentes colombianos.

Por tanto, esta primera parte del cuestionario tiene como objetivo conocer el grado de aceptación y el uso que los docentes confieren a los LT para articular estos resultados con el análisis a los LT. Con base en lo anterior, se puede inferir que, los docentes colombianos utilizan los LT para elegir los temas, fenómenos a trabajar en la unidad e incluso en qué momento y el tiempo invertido en el desarrollo de la misma, es por ello que, los LT han sido considerados como referentes para aterrizar los estándares de competencia propuestos por el MEN.

Tabla 28. Resultados de docente. Ítem 5.

5. Ítem	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
Considera conveniente la elaboración de maquetas en la enseñanza de la EAM	45 %	38 %	16.9 %

La tabla 28 muestra que solo un 16.9 % de los docentes no consideran conveniente el uso de maquetas. Del 45 % de los docentes entrevistados, la mayoría manifiesta que las maquetas que solicitan son de material reciclado, lo cual a su juicio las hace más valiosas. Sin embargo, es claro que se desconoce lo manifestado por Chamizo (2010), al explicar que los modelos son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo, con un objetivo específico. En el caso de la construcción de las maquetas relacionadas con los modelos atómicos, se presenta un problema al igual que con otros conceptos, puesto que se presentan transformaciones sobre los modelos científicos originales: especialmente en lo relacionado con el tamaño, escala y dinámica. Es el caso de maquetas donde el tamaño de cada uno de los electrones, es básicamente el mismo de todo el núcleo.

Al enfatizar con los docentes sobre el uso de las maquetas, los docentes no ven relevante la discordancia entre el tamaño y proporción de las maquetas y el átomo.

Tabla 29. Resultados de docentes. Ítem 6.

6. Ítem	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
Considera que la enseñanza de la EAM debería hacerse desde la Historia de la Ciencia	71.8 %	25.3 %	2.8 %

Si bien, cerca del 97 % de los docentes entrevistados manifiestan que la historia de las ciencias es un recurso didáctico importante en el desarrollo de sus clases, el 90 % de ellos describen su uso solo como un recuento temporal, especialmente en lo referido a los modelos atómicos. Los docentes describen el trabajo con la historia de las ciencias de una manera acrítica, sin especificar que justamente este recurso permite enseñar sobre la naturaleza de la ciencia (NdC) y cuestiones socio-científicas muy valiosas para la formación en ciencias (Solbes y Sinarcas, 2009, Moreno, 2018).

Tabla 30. Resultados de docente. Ítem 7.

7. Ítem	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Considera conveniente la realización de experimentos en la enseñanza de la EAM?	42.2 %	40.8 %	16.9 %

El 42,2 % de los docentes entrevistados manifiestan que hacen uso constante de experimentos en la EEAM, tal como se señala en la tabla 29, pero es necesario aclarar que, al indagar con los docentes sobre qué experimentos utilizan, realmente no dan cuenta de experimentos asociados a esta temática, más bien relacionan nuevamente el uso de maquetas o prácticas experimentales asociadas a cambios de estado. El 16.9 % de los docentes, que manifiestan no hacer uso de este recurso, explican que esta temática es netamente teórica, por tanto, no hay experimentos que se pudieran relacionar con la misma.

Tabla 31. Resultados de docente. Ítem 8.

8. Ítem	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Aborda el efecto fotoeléctrico en el desarrollo de la enseñanza de la EAM?	18.3 %	49.2 %	32.4 %

La tabla 31 muestra que el 32.4 % de los docentes explican que no abordan esta temática por cuanto, consideran que debería ser abordada por los profesores de física en óptica y, por tanto, no en química. El 18.3%, pese a que manifiesta abordar siempre la temática, no hay explicaciones o argumentos que refuercen la respuesta y para el 49.2% que manifiesta que casi siempre aborda esta temática no ofrece explicación que demuestre que efectivamente se hace, la respuesta es cortante e incluso evasiva.

Tabla 32. Resultados de docente. Ítem 9.

9. Ítem	Lo hace	Lo hace parcialmente	No lo hace
¿Aborda la dualidad onda partícula en el desarrollo de la enseñanza de la	30.9 %	39.4 %	29.5 %

EAM?

Los resultados obtenidos en este ítem, se muestran en la tabla 32 y se relacionan con el anterior, si bien aproximadamente el 70 % manifiesta que aborda siempre o casi siempre esta temática, es claro que, no se evidencia que efectivamente se hace. Al confrontar al docente, manifiesta que es una temática un tanto complicada y que hay otras que deberían ser abordadas con mayor énfasis.

5.4 Segunda parte del Cuestionario a Docentes, Preguntas Abiertas

La segunda parte, corresponde a preguntas abiertas. Por tanto, se solicitó al docente enfatizar en todo cuanto él considerara pertinente, además con las entrevistas, se buscó la mayor información posible, ampliando las respuestas que se consideraron necesarias.

Tabla 33. Resultados de docente. Ítem 1, segunda parte.

Ítem 1	Internet	Textos Científicos	Internet y textos Científicos	Ninguno	MEN
En caso de no utilizar los libros de texto en la planeación de la enseñanza de la EAM, ¿qué otros elementos considera?	46.4%	14 %	21 %	6 %	12%

Teniendo en cuenta los resultados de la primera parte del cuestionario aplicado a profesores, se deduce que, el 80 % de los docentes entrevistados utilizan los LT como referencia en la planeación educativa, tal como se presenta en la tabla 32. Al preguntarles, además del libro o en lugar del libro de texto, qué otros elementos consideran conveniente tener en cuenta en la planeación, se estableció que el 46.4 % de los docentes prefieren usar el Internet, en cualquiera de sus modalidades, buscando en la red textos científicos o páginas de libre acceso que apoyen su proceso.

Un 14 % de los profesores prefieren los textos científicos, en los que se agrupan libros especializados, artículos o páginas especializadas. Un docente (PP5), reconoce que los libros de texto tienen limitaciones en el saber disciplinar y, considera no deberían ser tenidos en cuenta. Un 6 % de los docentes manifiestan no utilizar ningún recurso, sino justamente los documentos personales que han acumulado durante su experiencia, y el 12 % refieren documentos emanados por el MEN que se pueden encontrar tanto en texto como en línea, pueden ser estándares o la plataforma “Al Tablero”.

Y un 21 % de los docentes manifiestan que combinan documentos científicos que encuentran en la red y textos científicos. Pese a que se describen otros documentos y medios, es claro la preferencia de los docentes por los LT al facilitar el acceso al conocimiento.

Tabla 34. Resultados de docente. Ítem 2, segunda parte.

Ítem 2	Conceptual-Propedéutico	Ambiental	Epistemológica	No es relevante	No responde
¿Por qué considera importante la enseñanza de la EAM en la educación media de nuestro país?	88 %	6 %	3 %	1.4 %	1.4 %

Para el análisis de este ítem se establecieron algunas recurrencias y que se muestra en la tabla 34, la opción que obtuvo un mayor porcentaje equivalente al 88 %, son docentes que atribuyen una importancia conceptual y propedéutica a la enseñanza de la EAM, las razones que argumentan están en que esta temática permite comprender otras temáticas relacionadas, por ejemplo: PC4 “para poder comprender más claramente la conformación de la tabla periódica y la introducción a enlaces iónicos y covalentes y producción de energía conformación de compuestos”. Se presentan dos posiciones que, si bien están dentro del grupo de descriptores de tipo conceptual, resultan confusas a la hora de ligarlas con un tema específico: “comprender nomenclatura” (PN15), “para reafirmar conceptos de cronología, energía, fuerzas entre otros” (PN7).

Dentro de la recurrencia conceptual y propedéutica, algunos docentes, argumentan que se pueden comprender otros conceptos y comprender ciertos avances científicos. De igual manera, en este campo se relaciona la enseñanza de esta temática con un fin propedéutico, al argumentar que se requiere de conocimiento en EAM para comprender saberes bases para grados de educación superiores, sin especificar contenidos o conceptos, en este porcentaje se incluyó docentes que manifiestan que esta temática se evalúa en pruebas externas.

Es necesario referenciar que, por el contrario, para otros docentes uno de los grandes problemas de dedicar tiempo a esta temática es que justamente no es un punto importante en la evaluación externa tipo pruebas saber once.

Solo un 3 % de los docentes referencian una significancia epistemológica, denotada por la importancia de evidenciar la naturaleza del trabajo científico y el proceso de construcción de la ciencia: “enriquece procesos de pensamiento, el objetivo de la química es el estudio de la materia” (PN4); “es importante para comprender aspectos epistemológicos, históricos, metacognitivos y en especial para realizar (*sic*) estudiantes críticos” (PP17).

Llama la atención que 6 % aducen que la importancia de la enseñanza de la EAM está en que permite incentivar el cuidado del medio ambiente: “para saber conservar el medio ambiente, para que el ser humano valore lo que conoce” (PP6); “que se debe cuidar y preservar del medio ambiente, consumir lo necesario y, sobre todo, buscar alternativas de solución a la contaminación, por todos aquellos materiales que están envenenando el aire, los ríos, mares y la tierra en general” (PC11). Lo argumentado por los docentes carece de contenidos específicos que configuren la relación, más bien, es una presentación acrítica de que todos los contenidos de ciencias naturales deberían apuntar a generar una conciencia de cuidado, conservación del medio ambiente.

Un docente, considera que esta temática no es pertinente para la educación secundaria (PP9). Y finalmente, un docente no da respuesta a la pregunta.

Es importante recalcar que, la estructura de la materia es uno de los núcleos conceptuales estructurantes de la química (Pozo y Gómez 1991, 2001, Henao-García y Tamayo-Alzate, 2010) y los profesores deberían, además, relacionar la necesidad de comprender cuál es la estructura de la materia para comprender sus propiedades, el ordenamiento periódico y la formación de enlaces.

Tabla 35. Resultados de docente. Ítem 3, segunda parte.

Ítem 3	Clásicos	Pre-cuánticos	Cuánticos
¿Qué contenidos considera convenientes para desarrollar el tema de Estructura Atómica de la Materia?	82 %	4 %	14 %

Al analizar las respuestas de los docentes, se generaron tres tendencias inductivas (tabla 35), aquellos docentes que determinan unos contenidos netamente clásicos y que corresponden a un 82 %, dentro de estos contenidos los que tienen mayor predominio son:

- Modelos atómicos clásicos y su historia (Dalton, Thomson, Rutherford...).
- Partículas subatómicas.
- Comportamiento de los átomos.
- Qué es la materia.

Dentro de estos contenidos también se menciona: número de Avogadro, nomenclatura química, electronegatividad (sin el contexto de enlace químico), “contenidos relacionados con la electricidad, fotólisis” (PP17).

Un 4,2 % de los docentes enuncian específicamente el modelo atómico de Bohr y Somerfield, y el 14 % refiere contenidos específicos de la teoría cuántica como: números

cuánticos, el principio de incertidumbre (PP26), y “principios de mecánica cuántica” (PP18), sin que especifiquen a qué se refieren exactamente. Tanto, en la tendencia de contenidos clásicos como cuánticos, se encuentra que, los docentes refieren contenidos relacionados con la configuración electrónica y la tabla periódica.

Solo aproximadamente un 3% de los docentes relacionan contenidos como enlace químico e isótopos. De igual manera, 3% determinan que es importante referirse al saber que se deriva de la antigua Grecia y los planteamientos filosóficos como base para el proceso de enseñanza; un solo docente refiere la importancia de partir de la naturaleza discontinua de la materia (PP25).

Indagar a los docentes sobre los contenidos, permitió reconocer si relacionan o no temas de la teoría cuántica, ya que como se mencionó en el análisis de los Estándares Básicos de Competencias, se da libertad para explicar el átomo desde diversas teorías, por lo cual, docentes que no relacionan estos contenidos que son más del 80 %, estarían cumpliendo con lo especificado en los dichos estándares, pero dejando incompleto el conocimiento relacionado con la estructura atómica de la materia.

Tabla 36. Resultados de docente. Ítem 4, segunda parte.

Ítem 4	Historia	Convencional	No responde
Qué estrategias y/o recursos didácticos considera en la enseñanza de la EAM	19.6 %	79 %	1,4 %

Dentro de esta categoría se establece tres tendencias que se deducen de las respuestas de los docentes, a saber: las estrategias que tuvieran un enfoque histórico epistemológico, en el que los profesores aducen trabajar específicamente desde la historia de las ciencias, no solo con un propósito informativo o de introducción, sino que proyectan una ruptura epistemológica y las estrategias con un enfoque convencional – conceptual, en esta tendencia se agrupan las estrategias que asumen el átomo con un núcleo, protones, Z y neutrones, $Z+N=A$ y corteza de electrones, estructurados en capas y subcapas, trabajan los modelos atómicos clásicos y precuántico y utilizan la historia de las ciencias a manera de introducción del tema.

La tabla 36 muestra que, dentro del enfoque convencional–conceptual donde se encuentra el 79 % de las respuestas de los docentes, este enfoque se refiere a estrategias comunes que se desarrollan sin un análisis crítico de los contenidos y la forma de presentarse. Dentro de este enfoque, se relaciona la presentación de videos, que corresponde al 35,7 % del

79 % enunciado. Algunos profesores consideran que los videos, son muy claros y completos para explicar temas relacionados con la EAM.

En este enfoque, también el 35,7 % de los docentes señalan específicamente el uso de las maquetas como recurso en la enseñanza de la EAM. Además, en esta recurrencia es regular que los docentes enuncien el uso de “TIC” 15, 3%, ya sea como simuladores, algunos laboratorios virtuales, sin especificar cuáles. Nuevamente los docentes no hacen una descripción detallada y al intentar profundizar en entrevista, sencillamente refieren simuladores en general.

Para el porcentaje restante de esta tendencia, se describen estrategias y actividades de clase, en la que los docentes mencionan; entre otros, la necesidad de partir de los conocimientos previos de los estudiantes, o el uso de analogías, tal como lo señala uno de los docentes: “de una hoja de papel que se rompe hasta llegar al átomo”, o el desarrollo de ejercicios de aplicación, v-heurísticas. Sin embargo, dentro de los argumentos que los docentes conectan con estas estrategias se establece un enfoque clásico, no se hace mención a un tema relacionado con la teoría cuántica con el uso de estas estrategias.

Algunos docentes describen estrategias para la EEAM como: salidas de campo y al indagar sobre los detalles, se menciona que el objetivo es que los estudiantes conozcan el entorno y se relacionen con él. En este tipo de descripciones se evidencia confusión sobre la temática, o sencillamente, la necesidad de enunciar actividades sin sentido pero que relacionan el medio ambiente, más como formalismo de las ciencias naturales.

Solo un 14 % de los docentes refieren el uso de la historia de la ciencia como un elemento didáctico en la enseñanza de esta temática, lo cual denota el poco reconocimiento que se puede dar a este valioso recurso. Un 4,6 % refiere la realización de prácticas experimentales que pueden fortalecer la enseñanza de esta temática, dentro de las cuales solo se menciona difracción de la luz, conducción de electricidad, difracción de ondas y la elaboración de un electroscopio casero para explicar el efecto fotoeléctrico. Estas dos recurrencias se agrupan dentro de las prácticas histórico epistemológicas, por cuanto, se puede a través de ellas, mostrar el quiebre epistemológico que le subyace a la teoría cuántica.

Además de las observaciones referidas en torno al uso de maquetas y analogías, es necesario relacionar lo planteado por Greca y Moreira (2004), al advertir por la presentación cuasi-histórica tradicional de temas relacionados con la teoría cuántica puede obstaculizar su aprendizaje. Referir la enseñanza de la estructura de la materia desde lo histórico, sin

especificar las bondades epistemológicas, puede denotar una visión histórica lineal y por tanto acrítica.

Tabla 37. Resultados de docente. Ítem 5, segunda parte.

Ítem 5	Pre- cuántico	cuántico
¿Qué estrategias utiliza para la enseñanza de los niveles de energía?	93 %	7 %

Para el análisis de este ítem, se establecieron 2 recurrencias, que son: estrategias con un enfoque precuántico y con un enfoque clásico, según la descripción que los docentes realizan, tal como se muestran en la tabla 37. Se esperaba un tercer grupo, que sería el que describa un enfoque cuántico, pero no hubo respuestas que permitan la formación de este grupo. En esta pregunta los docentes que además de desarrollar el cuestionario fueron entrevistados con el fin de profundizar, dieron ejemplos muy detallados del trabajo que realizan en el aula.

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

Nuevamente las maquetas ocupan un porcentaje significativo de aproximadamente un 60 % dentro de esta temática. Esto es preocupante, puesto que se refieren a maquetas que implican el llenado de los niveles al igual que los orbitales atómicos, “maquetas de máquinas de vapor y electricidad” (sic) (PP17) o “una caja que contiene otras cajas y en cada caja unas bolitas de que representan los electrones” (PN4), evidenciando nuevamente confusión en los conceptos.

De igual manera, en este enfoque clásico de llenado de los niveles por capas u orbitas, se describen analogías muy específicas en la enseñanza de los niveles, a saber: analogía “con una carretera”, donde las vías internas son los niveles y los carros los electrones; “analogía de un edificio de 7 pisos, en cada piso ubico un número de apartamentos según los subniveles que les corresponda, luego comenzamos a arrendar cada apartamento siguiendo la regla de máximo 2 electrones en cada apartamento (PP19)”; analogía donde se “compara los niveles

con moto, taxi y bus o relacionar con jerarquía como un organigrama” (PP24); analogía donde “los electrones son como atletas que corren en cada nivel de energía” (PN11), o juego de los niveles y subniveles en un esquema que se hace en la cancha, donde cada estudiante se desplaza según se llena el nivel. Este tipo de analogías, describen trayectorias, lo que nuevamente constata la enseñanza desde conceptos clásicos.

Otras de las estrategias pudieran ser muy variadas como: la realización de esquemas y gráficos, o el relato de un cuento a través de un friso, donde cada elemento es una representación atómica en el que los electrones son esos pequeños atletas que corren en diversos niveles de energía (PN11), o la maqueta del átomo actual, basado en la teoría de Bohr y la mecánica cuántica (PC10). Finalmente, los docentes refieren ejercicios de aplicación y ubicación de los periodos en la tabla periódica o la elaboración de “circuitos eléctricos” (*sic*) (PP17).

Para las estrategias con un enfoque precuántico, que corresponde a un 7 %, se enmarcan aquellas en que los docentes, que refieren de alguna manera el trabajo relacionado con el átomo de Bohr y los espectros atómicos o prácticas experimentales relacionadas con el modelo de Bohr. Un solo docente explica su trabajo en el aula así: “se plantea desde Bohr teniendo en cuenta la capacidad de electrones en cada nivel con la formula $2n^2$ y luego se revisan desde los números cuánticos con el modelo atómico actual” (PC12), pero en su explicación, solo cambia las órbitas de Bohr por una referencia a los niveles de energía.

Las estrategias descritas, permiten inferir que en la enseñanza de los niveles de energía los docentes prefieren analogías en las que se refieran capas y espacios de llenado, al igual que la realización de ejercicios de llenado de electrones. Se entienden las analogías como una comparación entre lo conocido y en este caso, lo poco conocido, que son los niveles de energía. Se ratifica la preocupación de describir el orbital y niveles de energía como espacios que el electrón puede o no ocupar, es decir, orbitales estanterías (Solbes et al., 1986, Solbes 2013).

Tabla 38. Resultados de docente. Ítem 6, segunda parte.

Item 6	Pre-cuántico	cuántico	confusión	No trabaja
¿Qué estrategias utiliza para la enseñanza de los números cuánticos?	84.5 %	4.2 %	9.8 %	1.4 %

En la tabla 38, se muestra que al igual que en el ítem anterior, de acuerdo con el enfoque que el docente refiera, se estableció dos tipos de estrategias: aquellas pre-cuánticas y

las que se explican desde un enfoque cuántico. Sin embargo, se requirió de un tercer grupo que alcanza un 9.8 %, en el que se evidencia confusión en los conceptos referidos por los docentes, por ejemplo, al explicar que pide: “recalcar de memoria el número atómico” (PP4), cuando este concepto no se refiere a los números cuánticos específicamente, pero sí a la estructura, en el sentido de que se trata del número de protones que tiene el elemento y lo caracteriza y, por lo tanto, se relaciona también con el número de electrones, al parecer se asocia erróneamente número cuántico con número atómico.

Otras respuestas evaden la enseñanza y reafirma la confusión con la temática: “se da una idea general porque debieron ver en octavo” (PP29). Sin embargo, esta temática normalmente no se trabaja en grado octavo, sino en grado décimo. También se evidencia confusión al manifestar ejemplos con la vida cotidiana, puesto que no se clarifica cuál o que tipo de fenómenos cotidianos pueden ser relacionados con la temática. Se incluyeron en este grupo 4 docentes que no dieron respuesta a la pregunta.

Dentro de las estrategias con un enfoque convencional correspondiente a un 84.5 %, se describen metáforas y analogías, por ejemplo: “la metáfora de que el átomo es un hotel” (PP7), “tomo como base el aula con las filas, pupitres y estudiantes, ahí relaciono nivel, subnivel, orbital y spin” (PP12). Analogía de un jugador que asciende de categoría en un determinado deporte.

Dentro de este grupo también está la utilización de maquetas con globos para explicar los orbitales s, p, d, f, modelización de principio de Aufbau, un profesor (PN8) refiere realizar “la maqueta del modelo atómico actual el orbital p en tres dimensiones”.

El spin se toma como rotación sobre su eje, “comparado con el movimiento de rotación de la tierra o simplemente rotación para el spin” (PP19). Hay también, regularidad al mencionar el uso de gráficos y esquemas. Otros docentes manifiestan que se trata de un tema muy teórico y que, de esa manera, hay que trabajarlo. Para finalizar, en este grupo con un enfoque convencional, se encuentra que los videos son referidos por los profesores. Al realizar una búsqueda de esta información en la red, se accede fácilmente a videos tutoriales que tratan los números cuánticos desde la configuración electrónica, mencionando incluso que las letras se deben aprender de memoria sin realizar explicación alguna del origen o referir la ecuación de onda. El video “me bautizaron átomo” (PP8), al intentar conocerlo, no se encontró en la red.

Un docente explica que no trabaja esta temática porque “es compleja y no hay tiempo”. Solo un 4,2 % de los docentes explican que parten de Bohr para llegar a los números cuánticos de Schrödinger (PC4), aunque no se detallan las explicaciones.

Tabla 39. Resultados de docente. Ítem 7, segunda parte.

Ítem 7	Lo hace y muestra ruptura	Lo hace y no muestra ruptura	confusión	No lo hace	No responde
¿Qué estrategias utiliza para explicar el efecto fotoeléctrico?	4,2%	30.9%	19,7%	35,2%	9,8%
			55%	35,2	9,8

Tabla 38. Resultados de docentes del ítem 7- Segunda Parte

Se establecieron tres tendencias en las respuestas de los docentes, aquellos que explican el efecto foto-eléctrico, aquellos que manifiestan que no lo hacen y docentes que no dan respuesta a la pregunta, tal como se muestra en la tabla 39.

Dentro de los docentes que explican el efecto fotoeléctrico, corresponde a un 55 %. Pero, de este porcentaje el 56, 4% lo hace sin mostrar la ruptura entre la física clásica y la teoría cuántica; lo anterior se infiere de las respuestas relacionadas con el uso de videos, o relación con la vida diaria (PP12), “uso de videos por cuanto la temática es difícil de entender” (PN10). Es importante mencionar que, en este ítem no es posible ahondar en las respuestas de los docentes, por cuanto ellos utilizan respuestas evasivas y tajantes, simplemente un video, o simplemente algo teórico.

El 35,8 % de este grupo que manifiesta trabajar este fenómeno con los estudiantes, evidencia confusión en la explicación. Por ejemplo, el docente que manifiesta trabajar “con circuitos eléctricos en paralelo y en serie, hacer un circuito eléctrico o comparar con una serie de navidad” (PN9). También un 20 % de los docentes de este grupo, manifiestan que se trata de un tema confuso, por tanto, se debe trabajar de forma teórica y muy general.

Solo un 4,2 % del total de los docentes cuestionados, manifiestan que explican la temática y hacen énfasis en el quiebre con la física clásica, incluso explican el uso de experimentos sencillos (PP25, PN4). El 35,2 % de los docentes manifiestan que no trabajan esta temática con sus estudiantes y, entre otras razones, aducen que es un tema que no está dentro de los contenidos de la química, sino que le corresponde a los profesores de física, o que desde su perspectiva no tiene ninguna relación con el desarrollo de los modelos atómicos: “este es un tema más relacionado con la física y la única estrategia es revisar los conceptos y encontrar algunas explicaciones... el trabajo se lo dejo a los físicos” (PC12), “pido apoyo a

los físicos” (PP8). Incluso, profesores manifiestan que: “es un tema muy complicado” (PP10), otros manifiestan desconocer de qué se trata este fenómeno o no lo enseñan por cuanto “no hay materiales para hacer la explicación” (PN11).

Un tercer grupo sencillamente no da respuesta a la pregunta y a los que es posible enfatizar sobre por qué no la responden, se generan respuestas reticentes que limitan continuar preguntando. Lo que genera preocupación, por cuanto, el efecto fotoeléctrico se constituye uno de los puntos de quiebre entre la física clásica y la física cuántica, al contradecir experimentalmente lo predicho por la teoría electromagnética y la explicación dada por Einstein con el uso de los quantums de Planck, reafirmaría la crisis de la física clásica (Solbes y Sinarcas, 2010, Solbes, 2018).

Las respuestas descritas, generan preocupación, porque la enseñanza del efecto fotoeléctrico, en la educación secundaria puede hacerse con la utilización de elementos didácticos y pedagógicos, que más allá del discurso involucren la experimentación, como es el caso de la célula fotoeléctrica, eficaz para realizar el acercamiento y la conceptualización del efecto fotoeléctrico en estos niveles (Díaz, 2007), o mejor aún con la referencia a la celda fotoeléctrica que abre y cierra la puerta de los ascensores. Otros elementos de mucha utilidad son los simuladores que se consiguen en la red, partir de ellos para enfatizar en la importancia de la crisis que se generó a la hora de explicar el efecto fotoeléctrico.

Tabla 40. Resultados de docente. Ítem 8, segunda parte.

Ítem 8	Lo hace y muestra ruptura	Lo hace y no muestra ruptura	No lo hace	No responde
¿Qué estrategias utiliza para explicar la dualidad onda corpúsculo?	4.2 %	67.6 %	18 %	9.8 %
Lo hace	71.8 %		18 %	9.8 %

De igual manera que en el ítem anterior, se establecieron tres tendencias en las respuestas de los docentes, aquellos que explican el comportamiento dual de la materia, aquellos que manifiestan que no lo hacen y los docentes que no dan respuesta a la pregunta.

La tabla 40, señala que si bien, un 71.8 % de los docentes afirman que trabajan esta temática, las explicaciones que dan al respecto son muy limitadas y ambiguas, como: “ejemplos cotidianos de dualidad” (PP25). Respuesta que es preocupante, por cuanto, es muy difícil tomar un ejemplo cotidiano de dualidad. O, “se realizan experimentos” (PN5), o “videos por cuanto la temática es difícil de entender” (PN10). Al preguntar cómo o cuáles, las explicaciones demuestran errores.

Otro aspecto que es necesario destacar, es que se evidencia confusión en las explicaciones, por ejemplo: “uso la analogía con un trompo que parece que está quieto, pero gira y al final forma una onda” (PN15), “este tema se aborda en el laboratorio con la ayuda de un prisma, midiendo la dualidad onda partícula” (PN14). Para otros docentes es un tema muy teórico y sencillamente es necesario informar al respecto. Nuevamente, estas respuestas generan preocupación y ratifican las confusiones en conceptos específicos.

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

Dentro del grupo de profesores que manifiestan que no explican esta temática están aquellos que aducen que se trata de un tema de la física, que es necesario pedir apoyo a los físicos o que no hay recursos suficientes para su explicación (PN11, PC12). Un grupo significativo de 9.8 % de los docentes, simplemente no dan respuesta a la pregunta, lo cual es preocupante. Es necesario que el docente trabaje con el estudiante el tema, por cuanto la física clásica establece claras diferencias entre onda y partículas.

Este tema, también requiere de un análisis detallado, pues como lo señala Pererira, Calvacanti y Ostermann (2009), tanto profesores como estudiantes tienen dificultades para reconocer las características del comportamiento dual de los objetos cuánticos.

Tabla 41. Resultados de docente. Ítem 9, segunda parte.

9. Ítem	Lo hace y muestra ruptura	Lo hace y no muestra ruptura	confusión	No lo hace	No responde
¿Considera conveniente incorporar el principio de incertidumbre (relaciones de indeterminación) en la explicación de la teoría atómica? ¿Por qué?	4,2 %	40.8 %	26.7 %	21.1 %	7 %
		71.7 %		21.1 %	7 %

Con respecto a la Tabla 41, la primera precisión que es necesario hacer, es que los docentes que afirman estar de acuerdo con incluir las relaciones de indeterminación en la enseñanza de la EAM, se refieren a estas relaciones como principio de incertidumbre. Si bien este grupo abarca un 71.7 % de los docentes consultados, se encuentran respuestas que denotan confusión en la temática, por ejemplo, al mencionar que se utiliza el “entorno rural” (PP21) o que “simplemente todo es imaginación” (PP8), o respuestas que manifiestan: “Si,

porque permite al estudiante comprender la EAM desde la caracterización de su masa, peso y otras propiedades” (PP14).

Otras respuestas, igualmente denotan confusión: “Heisenberg introduce para qué sirve el átomo, no es tan importante conocer cómo es, sino para qué sirve” (PP20), concepción que no corresponde a las relaciones de indeterminación. O “es necesario para que los estudiantes comprendan que es imposible encontrar a un electrón en un lugar determinado, es complejo” (PC7) o sencillamente “es muy compleja su ecuación” o “es muy complicado para enseñar y entender” (PP28), y por eso hay que hacerlo solo de manera conceptual, o la utilización de una analogía “el colegio el átomo, el rector el electrón, es complejo encontrar al rector” (PP28). Otro docente manifiesta que utiliza la analogía con el juego del trompo (PN9). También se encuentran afirmaciones tales como: se explica que no es posible encontrar el electrón el átomo por el tamaño y la velocidad del movimiento.

Dentro del grupo de docentes que manifiestan estar de acuerdo con trabajar esta temática, la relacionan con un problema de la ciencia al no estar acabada o con la relatividad del conocimiento. Es decir, con un problema de falta de conocimiento, tal es el caso de: “el principio demuestra que la teoría es inacabada, está en construcción” (PP25); es necesario enseñar para “mantener asombro cuando no todo se puede explicar” (PN13), “todo está en continuo cambio” (PN16). Al igual que al hablar de dualidad los docentes explican que estas temáticas “son complejas e interesantes que llevan a la misticidad de la ciencia de la química” (PC5), lo que podría poner de manifiesto ideas pseudocientíficas en los docentes.

El 21 % de los docentes manifiestan no estar de acuerdo con trabajar esta temática porque es muy compleja y puede generar confusiones. Incluso los mismos docentes no se sienten preparados para abordar esta temática, así lo demuestran algunos argumentos: “se debe considerar si tocar este tema con los estudiantes, ya que puede suponer un tema de confusión para el estudiante, y si se aborda de manera teórica únicamente, puede representar la pérdida de interés del estudiante hacia el tema macro que se busca enseñar” (PC6). “No, porque no estoy claro en la explicación del modelo atómico, ya que es relativo en cada época de la historia” (PP6), “no todos los profesores manejamos este conocimiento, no para secundaria” (PP9). “No, porque el principio de indeterminación de Heisenberg es un concepto complejo y abstracto, que requiere que el docente explique todos los axiomas corrientes de la mecánica cuántica (postulados matemáticos), y hacer esta transposición didáctica en la educación secundaria y media, sería irrelevante, considerando primero que, el estudiante debería manejar un alto nivel cognitivo y metacognitivo” (PN5), “no lo conozco” (PN6), “es

algo avanzado” (PC4) o sencillamente se aduce a “falta de tiempo” o “no por cuanto el electrón dentro de la nube es difícil de ubicar” (PN10), “los estudiantes no tienen bases para entender un tema de gran complejidad” (PN1).

De igual manera, y como se ha descrito anteriormente, los docentes de química insisten en que se debe trabajar desde física (PC3, PN12). Solo un 4,2 % de los docentes refieren la importancia de trabajar este tema y lo hacen pensando en la ruptura entre la física clásica y la teoría cuántica, argumentando: “porque se entiende la dualidad onda partícula” (PN4), “para demostrar la diferencia entre lo clásico y lo cuántico” (PN7).

Las respuestas permiten inferir poca claridad en las relaciones de indeterminación, se describen como parte de la teoría cuántica, pero no se precisa su explicación. Las respuestas son ambiguas, confirman lo señalado por Giribet (2005), al expresar que generan confusiones entre quienes se enfrenta a ellas por primera vez. De igual manera, se confirma también las investigaciones que demuestran que los problemas de aprendizaje de ciencias modernas, especialmente en lo relacionado con la física moderna, no son consecuencia de la naturaleza de la disciplina como tal, sino de una incorrecta orientación de su enseñanza y forma acrítica de introducir los conceptos modernos y contemporáneos (Greca y Herscovitz, 2002; Solbes y Sinarcas, 2009; Sinarcas y Solbes, 2013).

Tabla 42. Resultados de docente. Ítem 10, segunda parte.

10. Ítem	Si conceptual	Si técnico	En ocasiones	No	No responde
¿Considera conveniente introducir el modelo cuántico (MMC) en la educación media en nuestro país? ¿Por qué?	39 %	4.4 %	22.5 %	28 %	5.6 %
Si		65.9 %		28 %	5.6 %

En la tabla 42, se muestra que si bien un 65.9 % de los docentes consideran conveniente introducir el modelo cuántico en la educación media del país, las razones que aducen están relacionadas en un 39% desde lo conceptual y desde los fines netamente propedéuticos, como es el caso de una necesidad para grados superiores o incluso la universidad.

Sin embargo, dentro de este grupo es necesario relacionar respuestas que no son claras y se acercan a una posición pseudocientífica, por ejemplo: “Considero que si es conveniente, por cuanto el estudiante tendrá la capacidad de comprender su relación con el universo y el mundo natural, dando lugar a la importancia de la trascendencia” (PP3), “los modelos cuánticos nos permiten adentrarnos en la mística ciencia”, (PN14), “si ...se trata de conocer

más para poder hacer un modelo que brinde y dé respuestas a muchos interrogantes que se explican, usando disciplinas diferentes a las ciencias” (PN13).

También se explica que se debería trabajar solo de manera informativa: “como historia” (PN6), “no lo considero conveniente, pero sí lo comparto por cultura general, porque la relación entre lo cuántico aplicado, está alejado de la posibilidad en nuestras zonas” (PN7). “Sí, porque no solo es un concepto que se aplica a la estructura de la materia, sino a los procesos de pensamiento filosófico, que han modificado bases y principios dados en años anteriores a este boom actual de la era atómica, nuclear y espacial que tienen a muchos científicos motivados a buscar refugio en otros planetas” (PP2).

Hay un grupo de docentes, que relacionan el modelo mecánico-cuántico, con argumentos como: “para generar curiosidad” (PP4), “explorar nuevas ideas en los jóvenes” (PP5) o para “la aplicabilidad en el campo profesional” (PC2). También por razones de NdC: “Sí, porque hace parte de la historia de las ciencias, porque las distribuciones electrónicas parten de él, porque nos hace ver que la ciencia está en construcción y que muchas personas han contribuido a los diferentes avances y teorías, mostrando la ciencia como resultado de un trabajo colectivo, donde las teorías se construyen y reconstruyen gracias a que no existen verdades absolutas y a los cambios de paradigma” (PC12).

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

Un 4,2 % asume que es conveniente trabajar esta temática, al explicar la relación con la tecnología actual. Finalmente, solo un docente manifiesta que sí es importante trabajar esta temática: “no introducirlo deja incompleta la visión de la ciencia, trabajo teórico no la ecuación” (PN4).

Hay un grupo de docentes que condicionan la enseñanza del modelo mecánico-cuántico, incluso con el tipo de educación: “se debería trabajar con mayor profundidad en física” (PP7), “solo un poco, porque se necesita mucha matemática y los jóvenes no están preparados, incluso, yo debo pedir el favor que me ayuden los físicos. Igualmente, los videos me parecen muy apropiados y pertinentes” (PP8), “lo consideraría conveniente, sin embargo, en educación básica pública, sobre todo, no se cuenta con los conceptos previos necesarios”

(PN12). “El nivel de profundización, de desarrollo de pensamiento no lo permiten en la mayoría de los casos. Se hace de manera mecánica y simplemente informativa” (PP25), “sí, pero es muy complicado para enseñar y entender” (PP28), “no para todos los estudiantes, deberíamos tener una educación más focalizada para los diferentes desempeños profesionales de los alumnos” (PN2).

Dentro del 28 % de los docentes que manifiestan no estar de acuerdo con la enseñanza del modelo mecánico-cuántico se encuentran argumentos como: “no, para secundaria” (PP9), “los DBA están enfocados a la química básica” (PP14), “es difícil que los chicos lleguen a comprender” (PP19), “no, porque estos conceptos se requieren fortalecer en aquellos estudiantes que estén encaminados al estudio de la química o disciplinas afines, en aquellos que es necesario un cambio conceptual que fortalezca estos conocimientos” (PN5). El 5,6 % de los docentes, sencillamente no responden el interrogante.

La pregunta busca conocer la posición del docente frente a la introducción del modelo cuántico y que en su justificación pudiera relacionar la necesidad de dinamizar y actualizar los currículos, así como, la necesidad de introducir el modelo para que los estudiantes no se queden con ideas fragmentadas del conocimiento. Igualmente, la pregunta busca saber si el docente relaciona situaciones y aplicaciones de la teoría cuántica en la vida cotidiana tales como láser y sus derivados: lectores de códigos de barras, cd, impresiones láser, microcirugías; el microscopio electrónico, las células fotoeléctricas, energía nuclear, medicina nuclear, las nanotecnologías, el desarrollo computacional, la física nuclear.

El profesor podía relacionar la enseñanza del modelo cuántico con la posibilidad de trabajar con los estudiantes una imagen de ciencia plural, no acumulativa, ni continua y que permite acercar al estudiante al reconocimiento de la naturaleza de las ciencias y a la manera como se da el trabajo de los científicos. Sin embargo, las repuestas distan de esta posición, tal como se ha descrito.

A manera de conclusión: se puede afirmar que los resultados descritos, permiten determinar que, en la enseñanza de la estructura de la materia, no se aborda la teoría cuántica, se hace desde concepciones clásicas. Son relevantes las confusiones de los docentes respecto a temáticas relacionadas con la teoría cuántica y, se evidencia ideas pseudocientíficas al relacionar esta teoría. Las estrategias descritas por los docentes, si bien son de uso generalizado, no son justificadas o explicadas detalladamente, lo cual permite inferir un uso acrítico, es el caso de los videos, que deben ser elegidos con precaución, pues en su presentación pueden darse errores conceptuales importantes. Con respecto al uso de

simuladores, en la red, se encuentra una gran variedad, pero los docentes no pueden explicar qué tipo utilizan.

Las analogías como recurso didáctico han sido investigadas y su uso busca hacer inteligible un determinado conocimiento, su uso desarrolla habilidades importantes como la creatividad. Sin embargo y tal como se evidencia en las respuestas de los docentes al cuestionario, las analogías utilizadas, pueden ocasionar dificultades y errores tanto en la enseñanza como en el aprendizaje. Así como lo expresa Duarte (2005), no se evidencia un razonamiento analógico que conduzca a la comprensión de la analogía y luego, los estudiantes se enfocan en los aspectos positivos de la analogía y minimizan sus limitaciones, que, para el caso de la estructura y los niveles de energía del átomo, son muchas.

Con respecto a las maquetas, es conveniente reiterar que su uso en la enseñanza, ha tenido reparos, puesto que puede suceder que los estudiantes se quedan con la idea de la maqueta, e incluso asimilan caracteres anecdóticos de la representación (por ejemplo, la escala núcleo/órbitas, o la ubicación de las órbitas en un plano) y los transfirieren al modelo científico original (Aduríz y Morales, 2002).

Por otra parte, y cómo se ha discutido en esta investigación, la historia de las ciencias es un recurso didáctico válido para la enseñanza, en este tema en particular, tiene una gran importancia, ya que la historia de la ciencia y en especial el desarrollo de los modelos atómicos y el advenimiento de la Mecánica Cuántica permiten reconocer el proceso de generación de conocimiento, la estructuración de teorías, la discrepancia entre las teorías planteadas y las evidencias experimentales, la posibilidad de coexistencia de diversos modelos con diferentes marcos teóricos (Solbes et al., 2010) y si bien los docentes la refieren, no enfatizan en estos aspectos.

5.5 Presentación y Análisis de los Resultados Obtenidos con el Cuestionario de Alumnos

A continuación, se presenta el análisis de los resultados obtenidos para los ítems propuestos al cuestionario destinado a los estudiantes.

En Colombia está establecida la educación pre-escolar, cinco grados de educación primaria y seis grados de educación secundaria, siendo el grado once el último de educación secundaria, en el que se presentan pruebas de ingreso a la Universidad, denominadas pruebas Saber. El cuestionario fue aplicado a una muestra de 110 estudiantes de grado décimo, que constituyen el grupo control. Los estudiantes que dieron respuesta al test son procedentes de 3 centros, de los cuales 2 son públicos y 1 privado; en 4 diferentes cursos. El cuestionario se

pasó en la asignatura de química que, para este grado, corresponde a la química inorgánica de acuerdo con los Estándares Básicos de Competencia.

Es importante mencionar que, los grupos seleccionados para aplicar este cuestionario ya han trabajado la temática relacionada con estructura atómica de la materia en su curso normal de química inorgánica, lo cual configura a este grupo como grupo control para el diseño experimental de la segunda hipótesis. Tal como se describió en el diseño de este apartado, las respuestas de los estudiantes se clasificaron en tres grupos, según correspondan con los descriptores de cada uno: 0: cuando la respuesta es incorrecta, 1: cuando la respuesta es medianamente correcta y 2, cuando la respuesta es correcta.

Tabla 43. Resultados de estudiantes del ítem 1

Ítem	0	1	2
1.- Cómo definiría una partícula?	18 %	57 %	24.8 %

La tabla 43 muestra que el 24.8 % de los estudiantes tiene un concepto apropiado de partícula dentro del que lo caracterizan como una pequeña porción de materia con masa y, algunas veces, carga. No se exigió exhaustividad en las respuestas planteadas por los estudiantes. Sin embargo, el grupo con mayor frecuencia (57 %), es el que conforman ideas de partícula como un elemento pequeño al que no se le asocia masa o materia.

En el resto 18 %, lo configuran respuestas incorrectas. Las incorrecciones que se han encontrado son, en su mayoría relacionando al átomo directamente como partícula y no una porción de materia o de masa que contiene átomos.

Tabla 44. Resultados de estudiantes del ítem 2

Ítem	0	1	2
2.- ¿Cómo definiría una onda?	21 %	49.5 %	29.5 %

En la tabla 44, se muestra que el 29.5 % definió onda con conceptos cercanos a una vibración que se propaga en el espacio, pero de este grupo, la mayoría no asocia en su definición la transmisión de energía y no de materia. En un segundo grupo con un 49.5 % y sin mayores exigencias conceptuales, se asociaron los estudiantes que generan un ejemplo relacionado con onda, en estos ejemplos básicamente se enuncia la onda del sonido. Es importante recalcar que los estudiantes que dieron respuesta al cuestionario, ya habían

trabajado esta temática en la asignatura de física. El 21 % no responden la pregunta o sus definiciones distan mucho de ser una vibración o perturbación.

Si bien la primera y segunda pregunta, no se relacionan directamente con la temática de estructura atómica de la materia, se incluyen con el objetivo de identificar si el estudiante maneja estos conceptos que pertenecen a la física clásica, pero son básicos para comprender nociones de la teoría cuántica, especialmente con respecto a la naturaleza de los objetos cuánticos.

Tabla 45. Resultados de estudiantes del ítem 3.

Ítem	0	1	2
3.- Enuncie cinco palabras que asocie con cuántica:	58 %	35.2 %	6.6 %

Esta es una de las preguntas que más inquietó a los estudiantes, en la tabla 45, se muestra que en un primer grupo de estudiantes que alcanza el 58 %, manifestaron no saber nada que se relacionara con la palabra cuántica. Otro grupo de estudiantes manifestó que la habían escuchado más que nada en documentales de televisión y algunas películas; razón por la cual les había generado inquietud e interés, pero que desconocían su significado.

En un segundo grupo con un 35,2 % de frecuencia, se encuentran palabras básicamente relacionadas con lo micro, lo pequeño, lo subatómico. Para aclarar este hallazgo, se dialogó de forma espontánea con los grupos al momento de aplicar el cuestionario, encontrándose que, para algunos grupos de estudiantes, relacionaron la pregunta con la saga de películas de *Marvel* y, sobre todo, con *Ant-man*, donde se hace alusión al “reino cuántico”. De ahí deducen algunos estudiantes que se refiere a dimensiones muy pequeñas e incluso el mundo subatómico.

En el tercer grupo con un 6.6 %, los estudiantes asocian principalmente las palabras probabilidad y subatómico con cuántica. Al ampliar con ellos la respuesta, manifiestan que por iniciativa propia han buscado lecturas y documentales de donde han obtenido la información pertinente.

Vale la pena acotar que, los estudiantes al desconocer palabras que se puedan relacionar con la palabra cuántica, revisan el cuestionario y por asociación, acuden a términos concernientes a cantidad, número, al encontrar una pregunta relacionada con número cuántico. No se presentan respuestas relacionadas con espiritualidad, conciencia o curación.

Tabla 46. Resultados de estudiantes del ítem 4

Ítem	0	1	2
4.- ¿Conoce algunos hechos que se relacionen con la crisis de la física clásica?	95 %	4 %	1 %

Con respecto a los hechos que se relacionan con la crisis de la física clásica, en la tabla 46, se muestra que el 95 % de los estudiantes no da ninguna explicación al respecto, o lo hace de manera errada, especialmente relacionando hechos con la imposibilidad de trabajar en física por falta de instrumentos para la experimentación o refieren el papel de la iglesia al limitar el desarrollo de la ciencia.

En el grupo 1 con un 4 % se incluyeron respuestas relacionadas con la dificultad de la ciencia, específicamente la física para explicar fenómenos, pero no se relacionaron aquellos que describen la crisis de la física clásica. Solo un estudiante, quien manifiesta que lo conocía por lectura independiente, relacionó los espectros atómicos y el átomo de Rutherford.

Lo anterior, es un elemento más que ayuda a fortalecer la hipótesis I, en la que se señala que la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia es escasa y no se hace desde la base conceptual de la Teoría Cuántica.

Tabla 47. Resultados de estudiantes del ítem 5

Ítem	0	1	2
5.- ¿Cómo definiría electrón?	45.7 %	48.5 %	5.7 %

Para la valoración de este ítem no se fue riguroso, en contra de nuestra hipótesis, exigiendo que las respuestas mencionaran el comportamiento dual del electrón. Se tomó como correctas aquellas respuestas que señalan al electrón como un componente fundamental del átomo con carga negativa, que se encuentra en la periferia y tienen masa; este grupo alcanzó solo una frecuencia de 5.7 %, en el segundo grupo se inscribe las respuestas en las que se determina como un componente del átomo con carga negativa, este grupo alcanzó un porcentaje del 48.5 %, tal como se muestra en la tabla 47.

Llama la atención que el 45.7 % de los estudiantes, no describen el concepto de electrón como parte constitutiva del átomo, confunden átomo y electrón o los tratan de forma indistinta. De igual manera, en este grupo se encuentran los estudiantes que asocian una carga positiva al electrón o los ubican dentro del núcleo, otras respuestas demuestran que deducen un concepto relacionado con carga eléctrica por la palabra en sí. Nuevamente, se recalca que

esta temática ya debía haber sido abordada en el grado en el que se aplica el cuestionario e incluso grados anteriores.

Los resultados en este ítem señalan un problema en el aprendizaje, relacionado con la enseñanza. Los estudiantes no ven relevante este conocimiento, no asocian al electrón con un componente el átomo, hay mucha confusión en ellos, sobre todo con respecto a la carga del electrón y prácticamente no se hace referencia directa a la masa del mismo y, obviamente ninguna alusión a su comportamiento dual.

Tabla 48. Resultados de estudiantes del ítem 6.

Ítem	0	1	2
6.- ¿Cómo definiría el fotón?	69.5 %	21 %	9.5 %

En la tabla 48, se muestra que en el primer grupo, que corresponde a la máxima valoración, alcanza un 9.5 %, allí se encuentran respuestas en las que el fotón es descrito como un paquete de luz que no tiene masa. El segundo grupo de 21 %, determinan que el fotón es una partícula de luz. El 69,5 % de los estudiantes no dan una respuesta sobre este término, incluso escriben que nunca habían escuchado hablar de él o lo asocian de manera errónea con explicaciones de bomba atómica o un componente del átomo, además de electrones, protones y neutrones.

Nuevamente, queda en evidencia que los estudiantes no están familiarizados con el término, ni en la asignatura de física, que cursan de manera paralela a química.

Tabla 49. Resultados de estudiantes del ítem 7.

Ítem	0	1	2
7.- ¿Cómo explica los niveles de energía en el átomo?	65 %	35 %	

Respecto a este ítem, no se encuentran respuestas que evidencien la comprensión de nivel como energía cuantizada o que se relacione con los espectros atómicos. El grupo de valoración 1, con un 35 % de frecuencia, asume el nivel de energía como un espacio alrededor del núcleo en el que se encuentran los electrones, de este grupo, algunos estudiantes relacionan los subniveles. El grupo con mayor frecuencia 65 %, no da ninguna explicación a la pregunta, tal como se muestra en la tabla 49.

Nuevamente, se hace evidente la confusión de los estudiantes entre el núcleo y la periferia del átomo, los objetos subatómicos y su ubicación dentro del átomo.

Tabla 50. Resultados de estudiantes del ítem 8

Ítem	0	1	2
8.- ¿Cómo explica el principio de incertidumbre (Relaciones de Indeterminación) de Heisenberg?	99 %	1 %	

Antes de describir los hallazgos en esta pregunta, es necesario especificar que a los estudiantes se les preguntó por el principio de incertidumbre, que es el término con el que se presenta tanto en libros de texto, como el que manejan los docentes. Sin embargo, no se encontró respuestas que relacionaran la imposibilidad de medir de manera simultánea y con precisión absoluta la velocidad y la posición del electrón. Solo un estudiante respondió que se relacionaba con la imposibilidad de medir la velocidad y posición del electrón.

En la tabla 50, se muestra que el 99 % de los estudiantes no ofrecen una explicación apropiada, las respuestas evidencian deducciones desde la lógica de la palabra incertidumbre. Es decir, los estudiantes de manera empírica explican que se trata de la incertidumbre frente al conocimiento de la ciencia, como si se tratara de un problema frente a la posibilidad del ser humano de conocer o de saber todo. También se encuentran respuestas recurrentes que relacionan que sobre lo que se conoce debe existir por “principio” cierta duda o incertidumbre.

De lo anterior se colige que, en la enseñanza de la estructura atómica no se ha trabajado las relaciones de indeterminación, ratificando la hipótesis de una enseñanza escasa, formalista por lo que no explica o trabaja el modelo cuántico.

Tabla 51. Resultados de estudiantes del ítem 9.

Ítem	0	1	2
9.- ¿Cómo definiría orbital atómico?	70 %	28.5 %	0.9%

El 0.9 % relacionó el concepto de orbital atómico con la descripción del comportamiento del electrón, aunque no hace referencia a la función de onda o de estado. El grupo con valoración de 1 alcanza el 28.5 % de los estudiantes, relaciona el orbital como una zona del espacio en la que hay la probabilidad de encontrar el electrón. El 70 % de los estudiantes describe el orbital como sinónimo de las órbitas de Bohr: “lugar en el que orbita el electrón”, “camino que recorre el electrón alrededor del núcleo”.

Dentro de este contexto, se infiere que la enseñanza de la estructura atómica es fuente de errores conceptuales. Se ha trasladado el concepto de órbita a orbital sin ningún reparo en la ecuación de estado o en que la idea de trayectoria no es posible para el electrón como objeto cuántico.

Tabla 52. Resultados de estudiantes del ítem 10.

Ítem	0	1	2
10.- Qué es número cuántico?	80 %	11.4 %	8.5 %

En contra de nuestra hipótesis, no se buscaron respuestas que relacionaran específicamente los números cuánticos con la ecuación de Schrödinger, pero sí, aquellas respuestas que permitieran relacionar los números cuánticos con los niveles, subniveles de energía. Desde esta precisión, se encuentra que un 8.5 % de los estudiantes relacionan los números cuánticos con la descripción de niveles y subniveles, incluso en este grupo se presentan respuestas que dan el nombre de principal, azimutal, magnético y espín.

En la tabla 52, se muestra que un 11.4 % de los estudiantes, explican los números cuánticos relacionados con la descripción del electrón en la periferia del átomo. Pero, un 80 % de los estudiantes explican los números cuánticos como cantidad de “algo”, que puede ser partícula subatómicas o unidades de medida subatómica, es decir el 80 % de los estudiantes desconocen el concepto de números cuánticos y, por tanto, busca una deducción del término: cuántico: valor, número o cantidad.

Tabla 53. Resultados de estudiantes del ítem 11

Ítem	0	1	2
11.- Qué relación hay entre números cuánticos y sistema periódico?	89.5 %	9.5 %	1 %

Nuevamente, en contra de nuestra hipótesis, no se es exigente con las respuestas de este ítem, en el sentido de explicar que los números cuánticos permiten establecer la configuración electrónica de los átomos que se verá reflejada en la tabla periódica, determinando los grupos y periodos de los elementos, zonas de elementos representativos (s y p), elementos de transición en la tabla periódica, determinando periodos (con n) y grupos, zonas de elementos representativos (s y p), elementos de transición (d), lantánidos y actínidos (f). Con todo esto, solo un 1 % del grupo cuestionado da una respuesta que relaciona los números cuánticos con el ordenamiento en la tabla periódica y un 9.5 %, describe que en la

tabla periódica existen regiones relacionadas con los números cuánticos. El 89.5 % restante no da ninguna explicación al respecto o manifiesta abiertamente desconocer que existiera tal relación, tal como se muestra en la tabla 53.

Tabla 54. Resultados de estudiantes del ítem 12.

Ítem	0	1	2
12.- Dibuje un átomo	8.5	11.4	80

Los hallazgos deducibles de las imágenes que los estudiantes dibujaron, permiten establecer que tal como se muestra en la tabla 54, un grupo de 8.5 % que no dibuja el átomo sin explicar el motivo de no hacerlo, solo hay un estudiante que manifiesta: “el átomo es tan pequeño, nadie lo ha visto”.

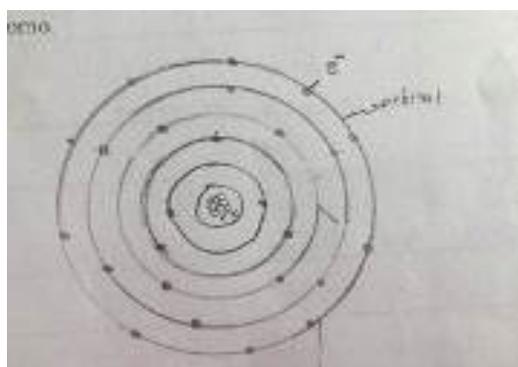


Figura 8. Dibujo del átomo 1.

En un segundo grupo de un 11.4% que dibuja los átomos de Thomson, Rutherford y Bohr. Un 5.7 % dibuja un átomo en el que se evidencia perfectamente las orbitas de Bohr o la analogía de un sistema solar en miniatura (Figura 8). De igual manera, se ratifica que se asume de manera análoga los términos de nivel, orbita y orbital.

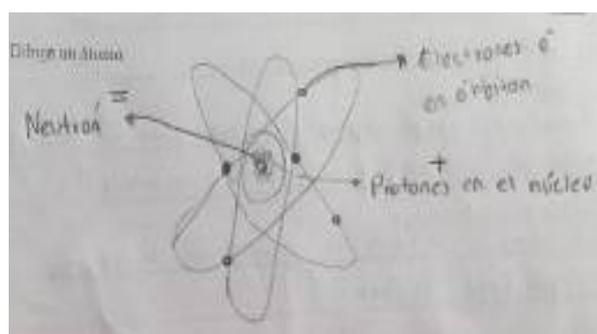


Figura 9. Dibujo del átomo 2.

El 80 % restante dibuja un átomo que se asemeja al que se encuentra en los libros de texto como el modelo de Sommerfeld, es decir, con órbitas elípticas (Figura 9, 10). Dentro de este grupo la mayoría dibujan un núcleo grande en comparación con la periferia del átomo (Figura 13) y hay un grupo de estudiantes que no dibuja el núcleo.

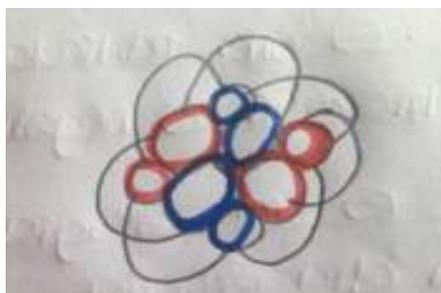


Figura 10. Dibujo del átomo 3.

Conviene subrayar que los estudiantes reaccionaron con cierto asombro frente a la solicitud de dibujar el átomo. Una vez ellos finalizaron su trabajo, se indagó al respecto y manifestaron en diálogo abierto, que casi nunca habían pensado en dibujar un átomo o que lo hicieron en los grados inferiores, por tanto, dibujaron el átomo que más aparece en anuncios publicitarios, en láminas referidas a química o en lo que recordaron de los libros de texto.

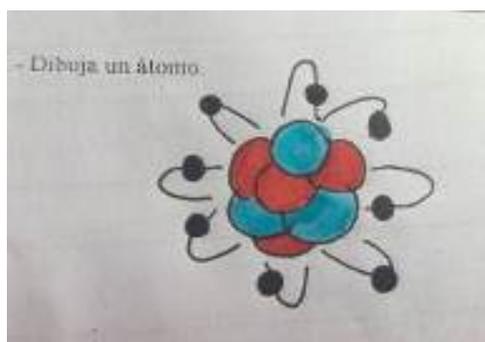


Figura 11. Dibujo del átomo 4.

Por consiguiente, se deduce que hay conceptos que se presumen obvios para los estudiantes, en este caso, una imagen de átomo, por ser una noción que se trabaja desde grados anteriores como sexto y séptimo, no obstante, para los estudiantes no son tan familiares y recurren a imágenes cotidianas para llenar la carencia conceptual que se presenta.

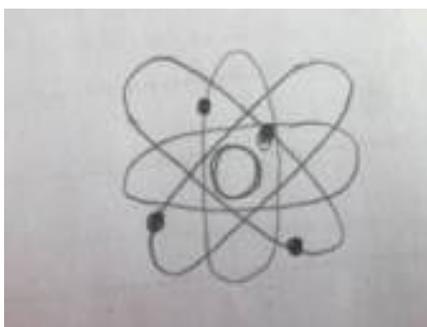


Figura 12. Dibujo del átomo 5.

La imagen (figura 12) relacionada es muy publicitada, tanto en la red como en programas de televisión e incluso propagandas de varios productos de uso cotidiano.

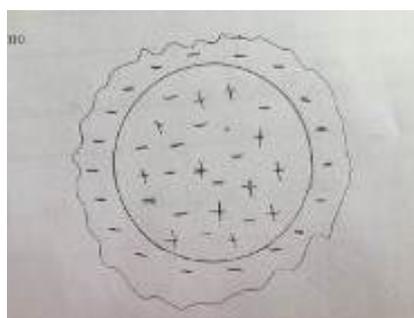


Figura 13. Dibujo del átomo 6.

Esta imagen tiene una recurrencia importante dentro del 80 % del grupo descrito, con cerca del 8 % de estudiantes que la presentan, al ser indagados manifiestan que así se imaginan un átomo, con cargas positivas y negativas en el núcleo y una nube negativa a su alrededor (Figura13).

El trabajo desarrollado con los estudiantes, permite deducir que los conceptos que ellos relacionan con la estructura de la materia, son muy básicos. Se presentan confusiones importantes incluso en los conceptos clásicos; entre ellos, el hecho de no reconocer al electrón como un objeto subatómico, con carga negativa. En muchas respuestas los estudiantes, confunden la carga del electrón entre positiva y negativa y su ubicación o en la periferia o en el núcleo del átomo.

Las preguntas conectadas con la Teoría Cuántica como: palabras relacionadas, números cuánticos, relaciones de indeterminación, tienen un gran porcentaje de abstención y

de respuestas que surgen de deducción de significado de las palabras: número con cantidad o incertidumbre con falta de conocimiento, pero que no tienen que ver con la acepción dentro de la enseñanza de la Teoría Cuántica.

6. Diseño Experimental para Contrastar la Segunda Hipótesis

Las hipótesis planteadas en esta investigación asumen una enseñanza escasa y formalista con respecto a estructura de la materia, que no tiene en cuenta la TC y que, en consecuencia, producirá errores en el aprendizaje de dichos conceptos. En la etapa anterior, esta hipótesis fue contrastada al encontrar que:

En los documentos rectores de la enseñanza de la estructura de la materia en Colombia, no se hace alusión a la TC como parte de la física moderna, no se establecen criterios específicos que incentiven su enseñanza. De igual manera, los libros de texto no desarrollan la temática desde la TC, lo cual genera errores y deja temas inconclusos. Por su parte, los docentes no enseñan estructura de la materia tomando como referente a la TC, y no se sienten preparados para asumir esta teoría en el aula. Por lo anterior, es lógico que como se evidencia en los resultados del cuestionario aplicado, los estudiantes no relacionen conceptos de la TC con la estructura de la materia, e incluso en los conceptos básicos del átomo y demás conceptos clásicos, existen confusiones importantes.

Por tanto, la segunda hipótesis planteada alude a que, si se diseña una secuencia didáctica para la enseñanza de la estructura atómica de la materia, que articule el enfoque conceptual de la teoría cuántica y que incluya avances de la investigación en educación científica, entonces se pueden superar dificultades conceptuales de los estudiantes de educación secundaria.

6.1 Metodología de Investigación basada en el Diseño

El diseño de la Secuencia Didáctica tiene como objetivo aportar conocimientos teóricos y prácticos con respecto a la enseñanza de la Teoría Cuántica, en el contexto de la estructura de la materia. La presentación de dicho diseño, se suscribe en el marco metodológico del Diseño de Secuencias de Enseñanza Aprendizaje, basado en la investigación (DBR, por sus siglas en inglés: *Desing Based Research*) (Easterday, Rees y Gerber, 2014).

Asumimos esta metodología, porque articula la teoría, los resultados de la investigación, materiales de enseñanza y la propuesta se consolida como un trabajo sistemático y contextualizado. No hablamos únicamente de estrategias didácticas, por ser

estas generalizadas y no siempre están justificadas por la investigación (Psillos y Kariotoglou, 2016).

Asumir la metodología de investigación basada en el diseño (Guisasola, Zuza, Ametller, y Gutierrez-Berraondo, 2017), implica considerar la necesidad de generar conocimiento útil en la orientación de la enseñanza de la estructura atómica de la materia en la educación secundaria desde el área de química. Una vez se obtiene la información necesaria para caracterizar la enseñanza de la estructura de la materia en Colombia, teniendo como eje conceptual la Teoría Cuántica, consideramos necesaria la intervención en dicho fenómeno, siendo esta investigación de carácter educativo, no podía quedarse en el plano descriptivo.

El diseño de una secuencia de enseñanza “es tanto una actividad de investigación intervencionista, así como un producto, o un paquete de unidad de currículo tradicional, que incluye actividades de enseñanza-aprendizaje bien investigadas empíricamente adaptadas al razonamiento de los estudiantes” (Guisasola et al., 2017, s.p.). Desde esta perspectiva, no se trata sencillamente de aplicar secuencias ya diseñadas, es el contexto el que configura el nuevo propósito de generar contribuciones teóricas para precisar, modificar o generar una teoría ya existente.

La metodología de investigación basada en el diseño, es una metodología de investigación emergente, y tiene un propósito fundamental, frente a los cuestionamientos realizados por algunos autores a la investigación educativa (Anderson y Shattuck, 2012), pues además de la intervención, consolida un proceso de investigación en la intervención como tal. “La investigación basada en diseño ayuda a entender las relaciones entre la teoría educativa, el artefacto diseñado y la práctica” (Design-Based Research Collective¹, 2003, p. 5). La teoría educativa, conlleva un complejo sistema, que hoy en día es producto de la investigación didáctica, de ahí que se requiere contextualizar y aprovechar este producto y fortalecerlo desde nuevos escenarios de enseñanza y aprendizaje.

Por tanto, asumir el diseño como investigación en sí misma, con base en los resultados de la primera fase de investigación se articula el diseño de la UD. Por otra parte, es

¹ Eric Baumgartner (University of California at Berkeley and Inquirium, LLC); Philip Bell (University of Washington); Sean Brophy (Vanderbilt University); Christopher Hoadley (Pennsylvania State University); Sherry Hsi (The Exploratorium); Diana Joseph (University of Chicago); Chandra Orrill (University of Georgia); Sadhana Puntambekar (University of Connecticut); William Sandoval (University of California, Los Angeles); and Iris Tabak (Ben Gurion University of the Negev).

fundamental para el proceso de mejora, tanto de la enseñanza como del aprendizaje: “crear conocimiento útil y avanzar en la construcción de teorías sobre el aprendizaje y la enseñanza en ambientes complejos” (Design-Based Research Collective, 2003, p. 5).

Es necesario enfatizar que, uno de los objetivos con una investigación de diseño es hallar corredores conceptuales (*conceptual corridors*), que configuran escenarios de aprendizaje (Confrey, 2006), en este caso de la estructura atómica de la materia. Lo anterior, tiene como objetivo, cerrar la brecha entre el conocimiento generado en la investigación educativa, referida al diagnóstico de la enseñanza y el conocimiento requerido para la transformación en el aula.

Lo anterior, se acentúa en lo planteado por Van den Akker et al. (2006), quienes consideran que es importante fortalecer las investigaciones de diseño, por ser respuestas a problemas específicos, que han sido caracterizados y que justamente desde esta caracterización, se diseña un dispositivo que busca su transformación. De igual manera, no se trata solamente del diseño de la Unidad Didáctica (UD), sino que contribuye, a través del proceso de investigación, a la fiabilidad y eficacia de la UD diseñada (Juuti y Lavonen, 2006).

La evaluación de la UD hace parte del proceso de diseño, pues este debe entenderse como un sistema interactivo, de retroalimentación y rediseño (Trna y Trnova, 2014), en el que se confronta el conocimiento científico, la investigación didáctica al respecto, el contexto, quien enseña y quien aprende. Antes de presentar el proceso de diseño y la UD, es necesario que, desde este marco metodológico, se defina la forma cómo se entiende una secuencia de enseñanza aprendizaje:

Es una actividad de investigación a la vez que un producto de intervención, un paquete de unidad curricular tradicional, que incluye actividades de enseñanza-aprendizaje contrastadas mediante la investigación, y empíricamente adaptadas al razonamiento del estudiante. A veces también se incluyen las pautas de enseñanza que cubren las reacciones esperadas de los estudiantes. (Méheut y Psillos, 2004).

Como se ha descrito en esta investigación, se ha seguido la definición de la metodología DBR propuesta por Easterday et al. (2014), la cual identifica seis fases (figura 14), las que se entienden en un proceso cíclico, de diseño, evaluación y rediseño.

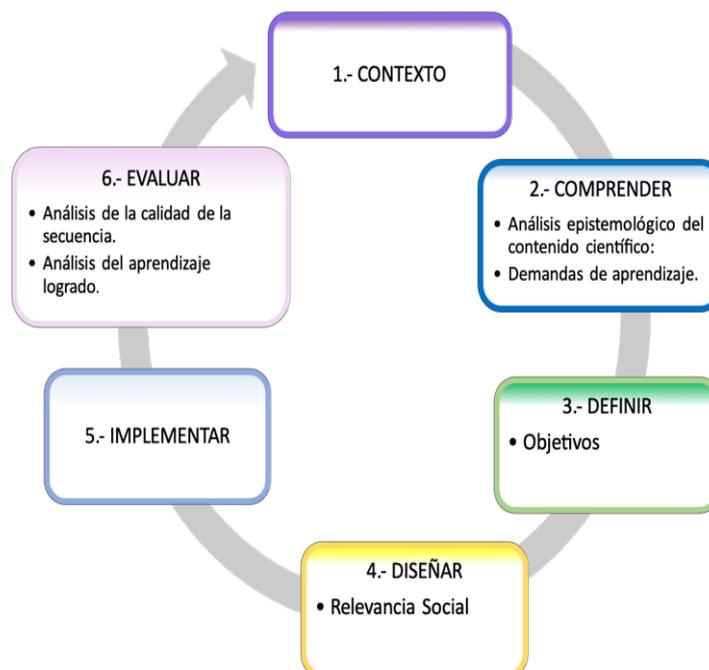


Figura 14. Metodología DBR.

Fase 1. Contexto

En esta primera fase se establece las características generales del contexto en el cual se va a desarrollar la Unidad Didáctica (UD). Para la estructuración de esta fase, además tomamos los elementos del socio-constructivismo, al partir del contexto y de la relación del saber con dicho contexto.

El contexto definido para el diseño de la UD:

- 200 estudiantes de educación secundaria, en 6 cursos de grado décimo, de dos instituciones educativas urbanas, una oficial y una privada. Quienes, conformarán el grupo de intervención.
- 3 docentes que trabajan con los grupos seleccionados.
- Contenido: desarrollo de la unidad de estructura atómica de la materia desde el marco conceptual de la TC.
- La temática de acuerdo con los estándares básicos de competencia y los libros de texto, hacen parte de la unidad Estructura de la Materia de grado décimo de

educación secundaria en Colombia. Sin embargo, algunos docentes pueden sugerir trabajarla en grado noveno.

Institución Educativa Municipal Pedagógico.



Figura 15. Panorama de la Institución Educativa Municipal Pedagógico.

La Institución Educativa Municipal Pedagógico (IEM Pedagógico, Figura 15), es una institución oficial, que ofrece educación formal en los niveles de pre-escolar, básica y media; de acuerdo con lo planteado en su misión, se caracteriza por el trabajo desde una pedagogía activa, que permita al estudiante ser agente de cambio en su entorno social y continuar con la educación secundaria. Se ha planteado como objetivos institucionales, promover el mejoramiento permanente del Proyecto Educativo Institucional, mejorar constantemente los procesos educativos, asegurando un aprendizaje significativo en la formación de estudiantes.

Atiende a una población de estudiantes, de estrato socio-económico bajo, entre 1 y 2. Para la educación media cuenta con dos grupos de grado décimo y un grupo de grado once. Una de las características que se evidencia con los estudiantes de grado décimo con quienes se desarrolló la intervención, es que un grupo considerable de los estudiantes no se proyectan para estudios universitarios. Lo cual puede estar relacionado con los resultados obtenidos por los estudiantes en las pruebas Saber Once, pruebas de acceso a la Universidad. Los estudiantes al ser indagados por la proyección de su futuro, manifiestan el interés de continuar con estudios técnicos o trabajos técnicos.



Figura 16. Instalaciones del laboratorio de química.

En Colombia, las pruebas Saber Once son el referente más importante para la categorización de las instituciones tanto oficiales como privadas. En el caso de la IEM Pedagógico, en el año 2018, se encontraba en el puesto 92, entre 437 del departamento de Nariño. En sus instalaciones cuenta con un espacio para laboratorio de química con mesas de trabajo y algunos reactivos e instrumentos de trabajo (figura 16).

En el área de ciencias naturales, trabajan tres docentes: dos licenciados en química y biología con área mayor química, y un licenciado en física. Los profesores licenciados en biología y química trabajan la asignatura de química y ciencias naturales. De grado sexto a grado noveno, los estudiantes cursan la asignatura de ciencias naturales, y en grado décimo las asignaturas de química y física de forma paralela. La química inorgánica en grado décimo y la química orgánica en grado once.

El proyecto de asignatura es un documento de construcción propia de los docentes, en el cual se establece la programación para el año escolar en cuanto a: distribución de las temáticas, tiempo de ejecución, estrategias y recursos, tiene un enfoque integral:

Con la enseñanza de las ciencias naturales se busca que los niños comprendan los fenómenos y procesos de la naturaleza que los rodean -incluidos los que tienen lugar en el cuerpo- y adquieran los conocimientos, habilidades y actitudes que les permitan manifestar una relación responsable con el medio natural, además de un papel activo en la promoción de su salud y en la toma de decisiones. Se persigue también estimular la curiosidad de los alumnos y acercarlos a una serie de nociones científicas que les permitirán comprender el mundo que los rodea y contar con elementos que propicien su avance gradual y sólido en el estudio de las ciencias. Por otro lado, es un Área que busca comprometerlos con la preservación de los recursos ambientales del planeta tierra, desde el paradigma de la sustentabilidad. También, que apropien una dinámica personal que enriquezca

su proyecto de vida para el desarrollo de una sexualidad sana y responsable, la disminución de factores de riesgo derivados del consumo de sustancias nocivas para la salud y la práctica de actividades lúdicas y deportivas. (Diseño Curricular Ciencias Naturales, 2018).

Ahora bien, el desarrollo de la UD se adaptó al segundo periodo que, según los estándares básicos de competencia: explica la estructura del átomo a partir de diferentes teorías, da cuenta de los principios y de la obtención de energía nuclear. Usa la tabla periódica para determinar propiedades físicas y químicas de los elementos y predecir los tipos de enlaces. Se trabaja con una intensidad horaria de 4 horas de 60 minutos.

Por otra parte, la segunda institución donde se desarrolló la secuencia es el Instituto Champagnat. Es una institución educativa con aproximadamente 1.800 estudiantes, que presta sus servicios a los niveles de educación pre-escolar, básica y media. En los grados décimo y once tiene cuatro cursos de aproximadamente 40 estudiantes por curso en cada nivel.

Instituto Champagnat de Pasto.



Figura 17. Panorama Instituto Champagnat.

En el ranking 2018 de Colegios del departamento de Nariño, se encuentra en el puesto 3 entre 437 colegios. Con una tradición de más de cien años en la ciudad. Regido por la Comunidad de Hermanos Maristas de la Enseñanza, es confesional. En su misión se establece como principal objetivo la formación de buenos cristianos y excelentes ciudadanos.

Atiende a estudiantes de estratos socioeconómicos medios entre 3 y 4. Cuentan con muy buenas instalaciones, laboratorios de química, física y biología, excelentemente dotados, además de tener un laboratorista o técnico de laboratorio. En el área de ciencias naturales para la educación básica y media, trabajan: una licenciada en biología, una licenciada en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental, una bióloga, dos físicos. Para grado noveno, décimo y once, un licenciado en química, un químico y un físico.

En la estructura del área, se trabaja de grado sexto a grado octavo: ciencias naturales, asignatura en la que se abordan conocimientos relacionados con biología, especialmente, conocimientos básicos de química y física. En grado noveno se trabaja por separado biología y bases de química y física. Grado décimo trabaja física y química de forma separada y paralela.

La materia de química de grado décimo, corresponde a inorgánica y grado once a orgánica. En grado noveno se abordan las bases de química general, lo que comprende historia de la química como ciencia, generalidades de materia, energía, introducción a la tabla periódica, entre otros, con una intensidad de dos horas de 45 minutos. Para grado décimo se aborda la Estructura Atómica de la Materia, nomenclatura química, estequiometría, gases, soluciones, en 4 horas semanales de 45 minutos cada una.

Cada año los docentes del área, revisan los estándares curriculares y planean su trabajo a través de tres documentos: Plan de área, en el que se establecen los objetivos y competencias del área, tomando como base los lineamientos curriculares. El plan de asignatura, que es un documento específico para cada nivel, los docentes además de desarrollar las temáticas propias de su asignatura, establecen el orden, secuencia y tiempos en que se va a desarrollar, así como la metodología específica que planea desarrollar, finalmente para cada dos semanas elaboran un plan de clase, en el que especifican actividades por tema y hora de clase.

Fase 2. Comprender

La segunda fase, corresponde al análisis de la información que, en este caso, caracteriza la enseñanza de la estructura atómica de la materia. Los autores Easterday et al. (2014), establecen dos herramientas de diseño:

Análisis epistemológico: partiendo del marco teórico de la investigación, con este recurso se determina el conocimiento científico que será objeto de la transposición didáctica. Es decir, se trata de identificar los contenidos o corredores conceptuales, para desarrollarse en la UD.

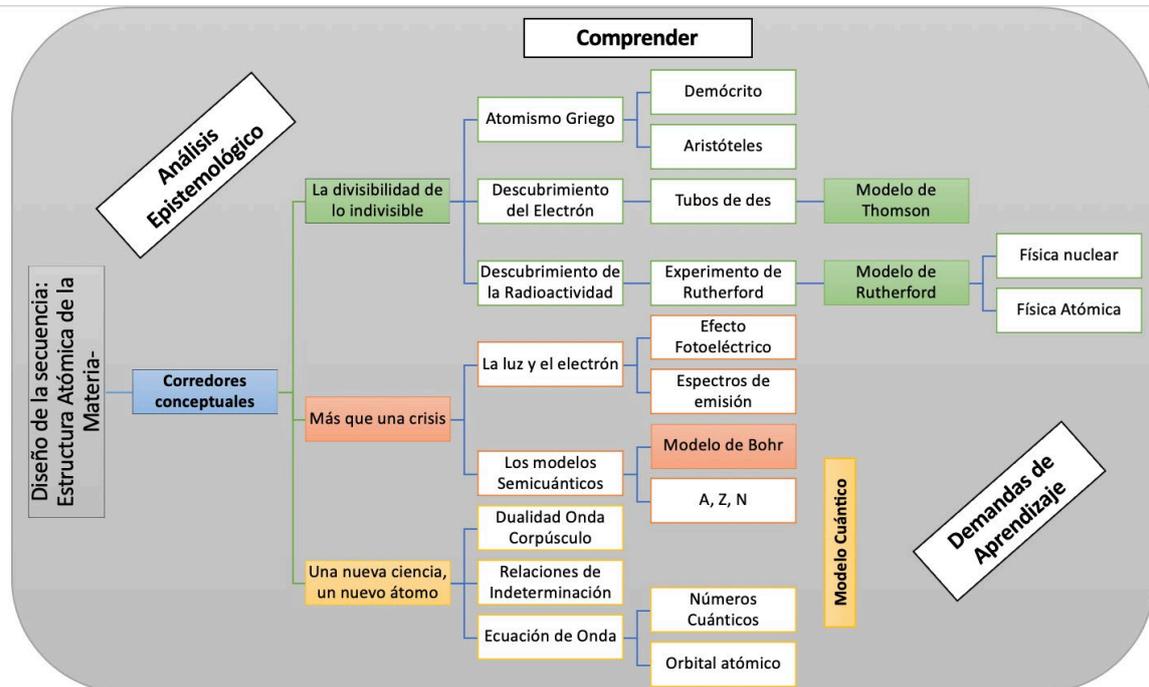


Figura 18. Estructura de la Secuencia desde lo conceptual.

Demandas de aprendizaje: en este caso se establecen a partir de los problemas de enseñanza y aprendizaje que se deducen de la primera fase de esta investigación:

Problemas de enseñanza:

- No se hace evidente la ruptura entre la física clásica y la teoría cuántica.
- Al enseñar no se hace una distinción entre modelos clásicos, semi-cuántico y cuántico.
- No se aborda el modelo cuántico.

De lo anterior se colige que, no se abordan conceptos fundamentales como es el caso de la dualidad de los objetos cuánticos y, por tanto, no hay un tratamiento adecuado de las relaciones de indeterminación de Heisenberg. Por otra parte, los números cuánticos se enseñan derivados de los modelos precuánticos, no desde el cuántico. Además, se explica el concepto de nivel y de orbital como una analogía de las órbitas de Bohr.

Con respecto al pre-test, los estudiantes si bien no han trabajado específicamente el modelo cuántico, cabe anotar que los estándares básicos de competencias del MEN establecen para grado sexto y séptimo, la explicación de la estructura de la materia, específicamente el átomo; de igual manera, en grado noveno se amplía dicha temática. Sin embargo, los estudiantes no relacionan conceptos fundamentales como el electrón como un objeto subatómico de carga negativa. No se diferencia núcleo del átomo y periferia, ni los objetos subatómicos que estarían en cada uno de ellos. Se desconocen las relaciones de indeterminación y las nociones de niveles de energía y números cuánticos.

Al pedir a los estudiantes que dibuje el átomo, llama la atención que no lo hacen de manera espontánea, buscan elementos de referencia, específicamente en una de las instituciones en las que se desarrolló la UD, relacionaron un elemento decorativo e informativo del aula para la realización del dibujo.



Figura 19. Elemento decorativo e informativo del aula sobre el átomo.

Fase 3. Definir

Para el diseño de la UD se tiene en cuenta problemas mencionados y las dificultades para la comprensión de la TC que pueden ser: ontológicas, epistemológicas y conceptuales, tal como fueron descritas en el marco teórico. Además, se establecen como ejes fundamentales para el diseño de la Secuencia los siguientes aspectos:

- La pertinencia de la enseñanza de la TC en la educación secundaria. (Fernández, González y Solbes 1997; Osterman y Ricci, 2004; Greca y Moreira 2004; Fanaro, Arlego y Otero, 2007a; Fanaro, 2009; Otero, Fanaro y Arlego, 2009; Solbes y Sinarcas, 2010; Castrillón et al., 2014).
- La Historia de las Ciencias como un elemento dinamizador de la enseñanza de la Teoría Cuántica (Solbes y Sinarcas, 2013).
- El uso de prácticas experimentales sencillas (Savall, Doménech, Martínez, 2013, Rozo Clavijo, Walteros y Cortes, 2019).
- El trabajo desde cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de la TC (Prieto, España y Martín, 2012).

De lo anterior se desprende que, se puede tomar como rutas para la enseñanza de la TC en la educación secundaria: la histórica y la ruta empírica; en esta última se presenta a partir de la difracción de electrones y para la educación superior la ruta axiológica (Solbes y Sinarcas, 2013). En el diseño de la UD, se consideró necesario articular dos recursos utilizados por docentes de educación secundaria (historia de la ciencia y prácticas experimentales sencillas), además con un énfasis en las cuestiones sociocientíficas que caracterizan este campo de la ciencia.

Partiendo del marco teórico, aportado por el socioconstructivismo, se toma como punto de referencia el trabajo en equipo, en el que se fortalece el diálogo, la argumentación, la toma de decisiones en conjunto y la construcción y desarrollo de tareas sencillas, que desde las ideas previas de los estudiantes, buscan la construcción del conocimiento en un ambiente dialógico, tomando como referencia la noción constructivista planteada por Coll (1991): el alumno como responsable de su proceso de aprendizaje y cuya actividad constructora, se aplica a un conocimiento con un grado de elaboración social.

Fase 4. Diseñar

En esta fase se toman decisiones con respecto al contenido y las actividades a desarrollar. En lo referido a los contenidos, se determina: la estructura de la materia como una unidad temática de grado décimo de la educación secundaria en Colombia.

Se preestablecieron las siguientes actividades para el desarrollo de la secuencia:

- El uso del material como guía de las actividades para cada sesión, con escenarios para la discusión y socialización del trabajo, que permitan el avance en la construcción de nuevos significados (Malagón, 2009).
- El uso de videos que apoyan de manera significativa el proceso de aprendizaje (Moreno y Guarín, 2010).
 - <https://www.youtube.com/watch?v=bm7FSHokRIA>: Se detienen en el minuto 5.18, porque a partir de ese momento, el video asume un enfoque clásico que confundiría es estudiantes.
 - <https://www.youtube.com/watch?v=C2HX3lFqCwc&list=PLsnyijCcgs1viluJka2M8EiZrVgq5701t> o
 - <https://www.youtube.com/watch?v=0Wp2ahy8dk4&list=PLsnyijCcgs1viluJka2M8EiZrVgq5701t&index=2>:
- El desarrollo de prácticas experimentales sencillas (Lozano y Solbes, 2014; Solbes y Sinarcas, 2013; Savall et al., 2014, Rozo Clavijo, Walteros y Cortes, 2019).
 - Trabajo con muelle de plástico o metal (slinky) para la explicación de ondas longitudinales, transversales, estacionarias.
 - Difracción con cd.
 - Interferencia con cubeta de ondas.
 - Espectroscopio casero.
- Las personificaciones: se propone representar la vida de Dalton, Madame Curie, Niels Bohr y Heisenberg (ver Figura 20). Para trabajar una personificación que, en primer lugar, se motive a los estudiantes para que de forma voluntaria decidieran tomar la representación. Cada estudiante recibiría un guion, que solo sería una referencia para su trabajo, pero a partir de él, cada uno haría una construcción de su personaje. No se trata de una exposición de la biografía, sino del empoderamiento del papel.
- Elaboración de memes con los estudiantes.
- Discusión en equipos de trabajo.



Figura 20. Estudiante Personifica a Madame Curie.

Si bien, se determinan como preestablecidas las actividades descritas anteriormente, es claro que se deben adaptar a cada una de las aulas de trabajo, cada uno de ellas es particularmente diferente y el papel del docente es conectar los procesos de construcción del conocimiento del estudiante, con lo el saber colectivamente organizado (Coll, 1990), atendiendo a lo planteado en el marco teórico desde el socio-constructivismo y teniendo en cuenta cada contexto.

Desde esta perspectiva y partiendo de los estándares básicos de competencia proferidos por el MEN, se propone que la UD, aborde los siguientes apartados:

1.- La divisibilidad de lo indivisible:

Tiempo Previsto: 5 Sesiones de 45 minutos

Trabajo en equipo y discusión, desarrollo de actividades propuestas en la UD.



Figura 21. Objetos ondulatorios y corpusculares.

Introducción: como introducción al trabajo que se desarrollaría en este apartado, inicialmente se retomó los conceptos de onda y de partícula (figura 21,22), para ello, se trabajó con elementos sencillos para reconocer las propiedades de los objetos ondulatorios y corpusculares.



Figura 22. Material para trabajar ondas.

Es importante destacar que, se propone el uso de elementos sencillos y de fácil consecución para trabajar ondas; como un muelle plástico o cubeta de ondas que se construye muy fácilmente (una vasija de vidrio sobre un retroproyector). Los estudiantes pueden hacer videos con sus celulares en cámara lenta y apreciar detenidamente las propiedades que están trabajando (Figura 22- Cubeta de ondas).

Una vez desarrollada la introducción, se aborda el aporte realizado desde la Grecia antigua. Se trabajan los debates filosóficos que se presentaron para establecer la noción de discontinuidad de la materia, específicamente el trabajo de Demócrito y el papel obstaculizador de Aristóteles en la comprensión de la naturaleza de la materia discontinua. De manera sucinta, se abordan los trabajos realizados por Boyle y Lavoisier, en la construcción del concepto de elemento, en contraposición a los planteamientos aristotélicos. Con el uso de la historia de la ciencia se llega al descubrimiento del electrón por J.J. Thomson, sin que se presente como un hecho anecdótico, sino que los estudiantes deduzcan las consecuencias de dicho descubrimiento.

En este apartado de la secuencia, se propone trabajar además de la Teoría Atómica de Dalton los modelos clásicos de Thomson, Rutherford, con sus antecedentes y limitaciones. Las actividades planteadas se enfocan en que, el estudiante sea capaz valorar los aportes del desarrollo seguido para la estructuración de los modelos, las implicaciones del descubrimiento del electrón y del núcleo del átomo.

En este apartado, se desarrolla una actividad que involucra a los estudiantes: la personificación de Demócrito y Dalton, no se trata de una exposición de las biografías de los científicos, sino del empoderamiento de los estudiantes, en cuanto al papel del filósofo y del científico y que luego, sea presentado a sus compañeros.

2.- “Más que una crisis”

Tiempo Previsto: 2 Sesiones de 45 minutos

Trabajo en equipo y discusión, desarrollo de actividades propuestas en la UD

Personificaciones

Un segundo apartado, lo constituyen los hechos, que ponen de manifiesto la crisis de la física clásica, desde la inestabilidad del modelo de Rutherford, los espectros atómicos, el efecto fotoeléctrico, hasta el modelo de Niels Bohr. Este apartado tiene como objetivo hacer evidente la crisis de la ciencia clásica frente a la explicación de fenómenos, enfatizando que dicha crisis implica un quiebre epistemológico que exige asumir explicaciones que pueden ser contra intuitivas.



Figura 23. Práctica. Espectómetro Casero.

El efecto fotoeléctrico, los espectros atómicos y la inestabilidad del átomo de Rutherford; son fenómenos fundamentales para demostrar que se requieren de nuevos planteamientos que no encuentran explicación o correspondencia en la física clásica. Desde estos dos fenómenos se construye la explicación del concepto de fotón y electrón, en este

punto, es necesario hacer énfasis en que, si bien la mecánica clásica no puede explicar estos hechos, no es que se desechen, sino que explica otros fenómenos.

Lo anterior, conduce a establecer que existen diferentes revoluciones de carácter científico, pero la que se analiza detalladamente, corresponde a una revolución que implica otros razonamientos y otras lógicas. Brevemente se hace comparación con el paso de la teoría geocéntrica a la heliocéntrica. Para llegar a este punto, es necesario hacer un análisis de los alcances de la física clásica, a la vez se plantean situaciones en las que, en las creencias científicas anteriores, no correspondían con los nuevos hallazgos experimentales, determinando algunas revoluciones del pensamiento.

Del modelo de Bohr, los aspectos fundamentales a trabajar son la cuantificación de la energía y el momento angular, la idea del estado estacionario y cuantización del momento angular; se evita la idea de órbitas, así como los gráficos que las representan. Se tuvo en cuenta la presentación de videos y realización de prácticas experimentales sencillas.



Figura 24. Personificación de Madame Curie.

Las personificaciones en este apartado corresponden a Madame Curie (figura 24) y se propone a estudiantes que la representen. Para ello se les orienta con un guion, que puede ser adaptado a cada una de las niñas que asuman el papel. Igualmente, se aborda la vida de Niels Bohr, incluso su contribución -aunque fuera menor- al desarrollo del proyecto Manhattan.

Las personificaciones permiten además un escenario de discusión en torno al desarrollo científico y sus repercusiones a nivel social y ambiental.

3.- “Una nueva Ciencia, Un Nuevo átomo”

Tiempo Previsto: 5 Sesiones de 45 minutos

Trabajo en equipo y discusión, desarrollo de actividades propuestas en la UD

Creación de Memes.

El tercer momento, parte de las dificultades de la física clásica para explicar algunos fenómenos para llegar a abordar la dualidad de los objetos cuánticos, las relaciones de indeterminación y la ecuación de onda o de estado. Es esencial que, el estudiante pueda asumir la existencia de objetos cuánticos, con un comportamiento diferente al clásico (Feynman, 1971; Balibar y Lévy-Leblond, 1984), la explicación de las relaciones de indeterminación, así como los conceptos de cuantización de la energía y orbital atómico y su correspondencia con la distribución electrónica y el ordenamiento en la tabla periódica.

En este apartado, es necesario retomar y enfatizar el quiebre entre la física clásica y la teoría cuántica, referir los desarrollos científicos y tecnológicos que abrió la TC, así como las cuestiones sociocientíficas que subyacen al desarrollo de esta teoría, trabajar con los estudiantes sobre sus perspectivas acerca del conocimiento científico y la naturaleza del mismo.

Además de las personificaciones, que en este apartado se toma a Heisenberg como principal personaje, se propone realizar una breve discusión sobre el científico y el personaje de la serie “*Breaking Bad*”, que en Colombia tuvo una versión denominada Heisenberg. Se sugiere este escenario, por cuanto la mayoría de los estudiantes están relacionados con esta serie y es importante realizar algunas aclaraciones; esta serie ha sido trabajada en otras investigaciones, debido a que permite conectar situaciones sociocientíficas y éticas (Cambra y Lorenzo, 2018; Cambra, Lorenzo y Michel (2018).



Figura 25. Meme elaborado por estudiantes que desarrollaron la UD.

Otro de los recursos utilizado son los memes. Los memes cobran cada vez más importancia en la comunicación contemporánea (Ruiz, 2018). Definidos por la Real Academia de la Lengua como “imagen, video o texto, por lo general distorsionado con fines caricaturescos, que se difunde principalmente a través de internet” (RAE, 2019), se han tomado en este espacio como un fin de creación y construcción de los estudiantes, en el que además de la creatividad, es posible establecer un proceso de evaluación diferente. Por tanto, se propone generar el escenario para que los estudiantes creen o adapten memes en los que explique diferentes temas tratados en la UD, especialmente, en lo relacionado a la dualidad de los objetos cuánticos, relaciones de indeterminación entre otros.

Se propone utilizar memes e imágenes, comics, propagandas de televisión y que sea de uso libre en la red, incluso que presenten errores, para ser analizados y corregidos con los estudiantes, como una estrategia para replantear sus ideas previas (Carrascosa, 2017).

Como se describió en la discusión del marco teórico de esta investigación, toma como referente la teoría socioconstructivista (Vygotsky, 1978) en la perspectiva de asumir al construcción del conocimiento en un plano social y personal de quien aprende, desde sus ideas previas, pero en una relación dialógica con su docente y con el conocimiento que se busca construir, refiere un enfoque sociocultural del aprendizaje que propende por un razonamiento causal complejo y un proceso de modelización riguroso (Scott, Asoko y Leach, 2008). De igual manera, la teoría de la trasposición didáctica de Chavallard, además de servir de referente en el análisis de los datos, ahora aporta desde el supuesto del sistema didáctico, al

que se entiende como un sistema interactivo, donde quien aprende y quien enseña se relacionan a través del conocimiento.

Fase 5. Implementar

La implementación de la Unidad Didáctica la realizó la investigadora, tanto en el diseño del material, como en el desarrollo de cada una de las sesiones en el aula. Los docentes de las instituciones en que se desarrolló, participaron como observadores, que delegaron en ella las actividades de preparación, desarrollo y de evaluación de clase. Se siguió una estructura sencilla (tabla 41), en la que se describen 12 sesiones de 45 minutos, en la que se consolidan los objetivos y se relacionan las dificultades en la enseñanza que se deducen de la aplicación del Pre-test, del análisis de los libros de texto y del análisis del profesorado.

Tabla 55. Estructura de la planificación de la Unidad por sesiones.

Estructura de la materia				
Sección	Temática	Objetivo	Dificultad	Sesión
La divisibilidad de los indivisible	Fenómenos corpusculares y ondulatorios	Reconocer las propiedades de los fenómenos corpusculares y ondulatorios	No se conocen las propiedades de las partículas y las ondas, no se establecen diferencias.	1
	El atomismo filosófico	Analizar los aportes de atomismo de Demócrito a la comprensión de la naturaleza discontinua de la materia.	No se trabaja la naturaleza discontinua de la materia, no se da importancia a los trabajos de Demócrito	2
	La teoría atómica de Dalton	Analizar los orígenes de la teoría atómica y cómo esta se convierte en una disrupción en la manera de entender la materia.	La teoría de Dalton es presentada como una retoma de los planteamientos de Demócrito, la ciencia se presenta acumulativa.	3
	Descubrimiento del electrón	Relacionar el descubrimiento del electrón con la divisibilidad del átomo y con situaciones CTS	Se confunde electrón con átomo. Se asocia al electrón carga positiva	4
	Descubrimiento de la radioactividad	Analizar los aportes del experimento de la lámina de oro, a la estructura del átomo y los aportes al	No se asocia situaciones Socio científicas con el conocimiento de la estructura de la materia. No se reconoce como un hecho que pondrá de manifiesto la crisis	5

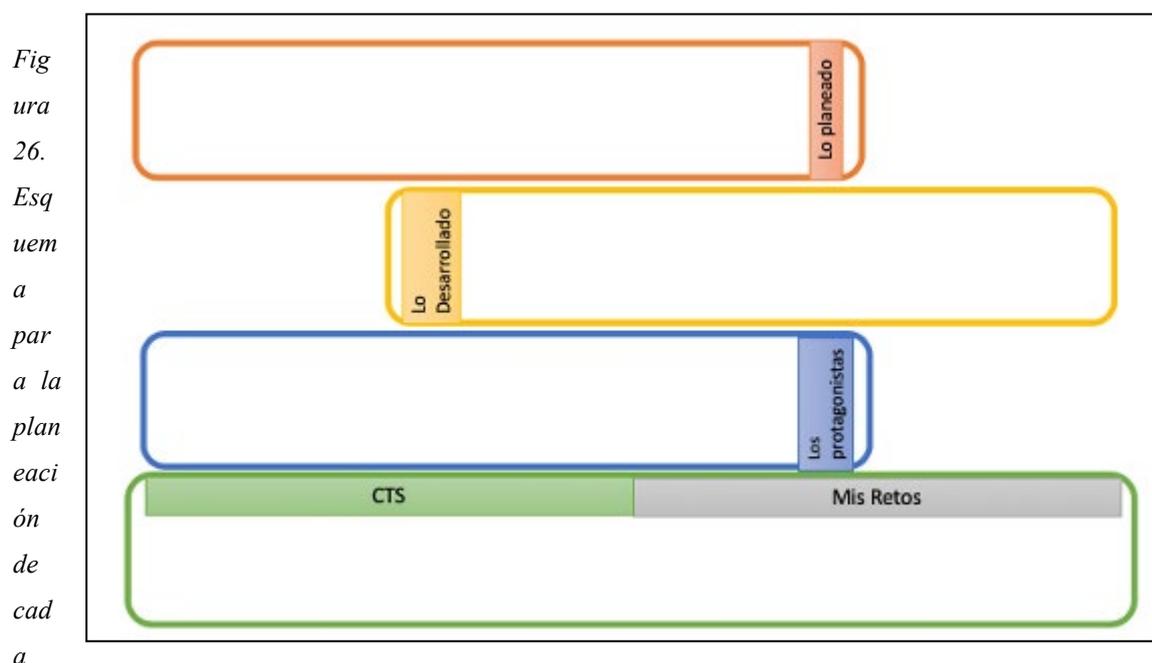
		desarrollo científico.	socio-	de la física clásica.	
Más que una crisis	Luz y Electrón	Comprender que la física clásica no puede explicar algunas experiencias y relacionarlo con situaciones socio científicas.		No se hace una ruptura entre la física clásica y la teoría cuántica.	6
	Modelo precuántico	Reconocer los aportes del modelo atómico de Bohr y sus limitaciones.		Se traslada el concepto de órbita al concepto de orbital. La analogía del átomo con el sistema solar prevalece.	7
Una nueva ciencia, un nuevo átomo	Dualidad de los objetos cuánticos	Comprender que los electrones y fotones no son ni se comportan como ondas ni partículas clásicas, sino como objetos con un nuevo comportamiento.		Los docentes evidencian confusión en la enseñanza del concepto. Los estudiantes no lo relacionan con la estructura del átomo.	8
	Relaciones de indeterminación	Comprender las relaciones de indeterminación y sus implicaciones en el modelo atómico		Los docentes evidencian confusión en la enseñanza del concepto. Los estudiantes no lo relacionan con la estructura del átomo.	9
	Modelo Cuántico	Justificar que el átomo se describe desde la resolución de la ecuación de onda.		Nivel y orbital se describen de forma análoga a las órbitas de Bohr. El átomo se entiende como un sistema planetario en miniatura	10-12

La teoría de la Transposición Didáctica, asume una transformación del conocimiento. En el diseño de UD, se ha prestado especial atención a que dicha transformación no desvirtúe dicho conocimiento, sino que, desde el uso de herramientas y recursos didácticos, el conocimiento sea significativo para el estudiante, no exista una brecha demasiado grande, entre lo que se aprende y el desarrollo científico referido a la TC y la estructura de la materia.

La Unidad Didáctica, presenta una serie de actividades a ser desarrolladas por los estudiantes bajo la guía del docente, combina tanto, acciones reflexivas, deducciones, practicas experimentales, exhorta al estudiante a argumentar, a proponer de tal manera que sea el protagonista del trabajo. Teniendo en cuenta los planteamientos del socio-constructivismo, en torno al proceso de aprendizaje como un proceso activo, con un

intercambio histórico-sociocultural (Barberà, 2006), se busca una interacción constante entre el estudiante y sus pares y de todos con el docente.

Debido a que se trabajó con seis grupos de dos instituciones distintas, se realizó una planificación por sesiones, esta planificación hace parte del diario de la investigadora, se hizo a mano y para cada institución, manteniendo para las dos, los recursos didácticos establecidos.



una de las sesiones de trabajo.

En la Figura 26 se muestra el diseño del esquema, para seguir el proceso de implementación. En el primer recuadro se escribe antes de cada sesión, la temática y actividades planeadas. En el segundo, después de la sesión se describe las actividades efectivamente realizadas, toda vez que se pueden presentar eventualidades que puedan dejar actividades sin realizar. El tercer recuadro, es para describir el trabajo de los estudiantes con referencia a la sesión. El componente de CTS es para detallar que actividades e incluso conclusiones que el desarrollo del trabajo permitió construir. Finalmente, se deja un espacio para escribir los retos que para la próxima sesión se formula el docente.

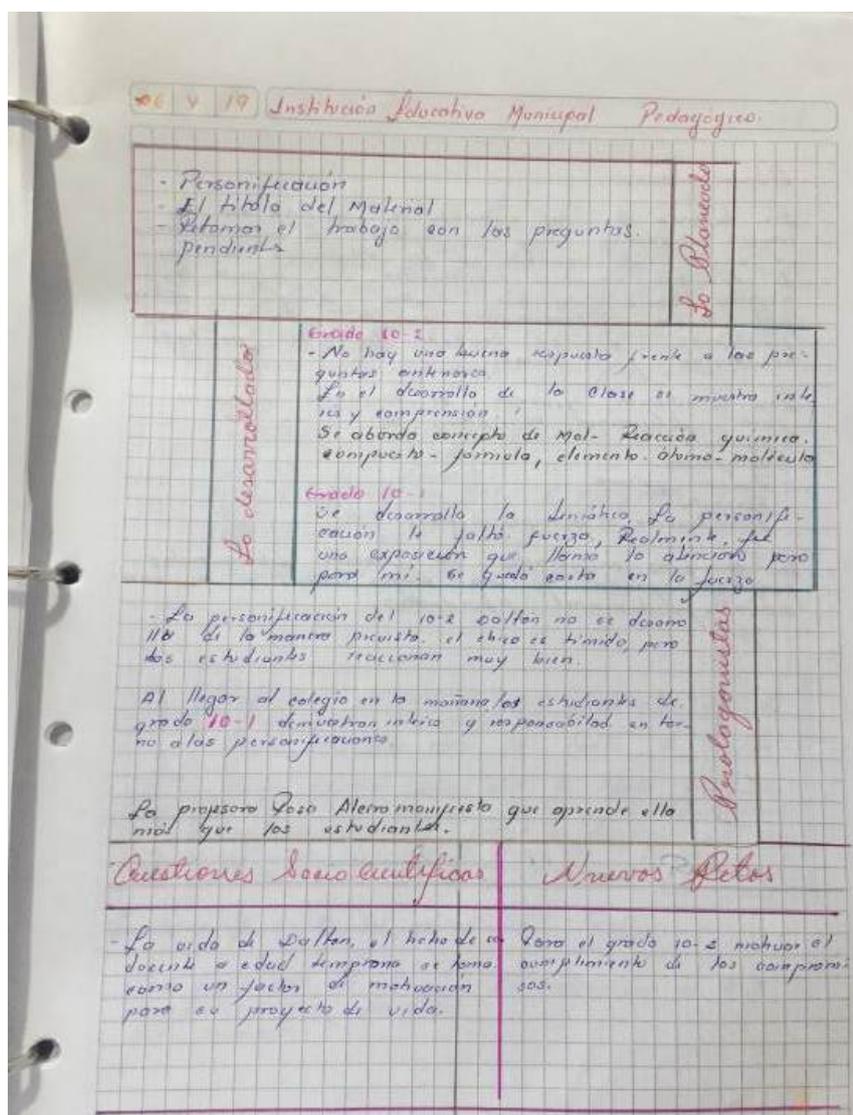


Figura 27. Ejemplo de un registro en Diario Observador de una de las Sesiones de la UD.

Desde el desarrollo conceptual propuesto, y con el fin de hacer resolutivo el proceso se generó un material como recurso, tanto para el docente como para el estudiante. Consolida el proceso y orienta las actividades. Dentro de esta UD, se creó un personaje que acompaña al estudiante en su trabajo y determina el tipo de actividad que va a desarrollar, llamado Demo (por Demócrito). Estas actividades relacionadas con proponer, preguntar, reflexionar o insistir tienen como objetivo guiar al estudiante y docente en la consecución de los objetivos planteados. Se complementó con imágenes características cada una de las acciones.

Para el docente y en el mismo formato del material diseñado para el estudiante se encuentran los comentarios, en letra de color azul, con el fin de ampliar las actividades, los conceptos, explicar con detalle el uso o la omisión de un concepto u acción.

El diseño de la UD debe ser empíricamente validada, a través de dos dimensiones: el análisis de la calidad de la secuencia y el análisis del aprendizaje logrado (Nieveen, 2009).

a) El análisis de la calidad de la secuencia, implica: determinar las dificultades de implementación que incluyen aspectos problemáticos de la secuencia en relación con la claridad de la actividad para su realización por los estudiantes. De igual manera, dificultades relacionadas con el tiempo de ejecución, dificultades relacionadas con nuevos contenidos.

b) El análisis del aprendizaje logrado, incluye: analizar la comprensión de los conceptos, teorías y modelos y la adquisición habilidades propias de la metodología científica.

Con respecto al primer punto, que tiene que ver con el análisis de la calidad de la secuencia, este fue realizado, mediante entrevistas aplicadas a los docentes que acompañaron el proceso y se presentan en el siguiente capítulo. Para el desarrollo del segundo punto: análisis del aprendizaje de los estudiantes, se aplicó un post-test que permite conocer si la aplicación de la UD, genera cambios en los resultados obtenidos en el pre-test, así como una comparación con los resultados obtenidos en el grupo control.

A continuación, se encuentra la Unidad Didáctica como guía de trabajo tanto para docentes como para estudiantes, no se fracciona por sesiones, puesto que no todas las instituciones pueden asignar 12 sesiones de trabajo para esta temática, de tal manera que cada docente la puede contextualizar a sus necesidades y objetivos de enseñanza.

**DOCTORADO CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN RUDECOLOMBIA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
UNIVERSIDAD DE NARIÑO
DOCTORADO EN INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICAS ESPECÍFICAS (CIENCIAS
EXPERIMENTALES)
DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES Y
SOCIALES
UNIVERSITAT DE VALÈNCIA**



Universidad de Nariño
TANTVM POSSVMVS QVANTVM SCIMVS

**ENSEÑANZA DE LA ESTRUCTURA ATÓMICA DE LA MATERIA EN LA
EDUCACIÓN SECUNDARIA**

Zulman Estela Muñoz Burbano

DIRECTORES:

**Dr. Jordi Solbes Matarredona
Dr. Gustavo Marmolejo Avenía
Dr. Germán Ramos Zambrano**

SECUENCIA DE DIDÁCTICA
ESTRUCTURA ATÓMICA DE LA MATERIA
Carta al alumno



Antes de adentrarnos en el maravilloso mundo sub atómico, quiero presentarte a Demo, es un personaje que nos acompañará en esta aventura, lo hará desde cuatro escenarios distintos:



Demo propone: en el que te planteará actividades para ser realizadas con tus compañeros en equipos de trabajo o de manera individual.



Demo Pregunta: como puedes imaginar, lanzará preguntas que deberás contestar con tus compañeros y construir en conjunto una respuesta para ser discutida en clase, siguiendo las observaciones de tu profesor.



Demo Reflexiona: como sabes, Demo es un filósofo de la antigüedad, de tal manera que siempre estará pensando en aquello que vamos aprendiendo, no te sorprendas si se presenta un tanto sarcástico, él es muy incisivo.

Demo insiste: habrá así que mucha



muchas cosas que este personaje querrá que recuerdes, atención a sus observaciones.

Todo cuanto construyas es parte de tu proceso, no temas preguntar, estamos juntos para aprender, si en casa tienen un poco de tiempo para revisar alguna información que te quedo pendiente o quizá no muy clara, hazlo, los grandes científicos que aquí conocerás, no obtuvieron reconocimiento gracias a la buena suerte o quizá por una inteligencia fuera de serie, fue su forma de trabajar.

La idea es que, junto con este material, lleves un cuaderno o libreta para registrar todas las actividades o anotaciones, sabes que los hombres de ciencia todo lo registran no solo para no olvidarlo, sino que será evidencia de su trabajo.

Carta al Docente

El documento que se presenta a continuación, constituye un apoyo en el desarrollo de la Unidad de Estructura Atómica de la Materia (EAM). En él, se articula la investigación didáctica referente a la enseñanza de la estructura de la materia, la teoría cuántica, así como los resultados del análisis de libros de texto de química en lo referido a la unidad didáctica de EAM y el análisis de los resultados del cuestionario aplicado a docentes en ejercicio en torno a la enseñanza de la EAM, productos de la investigación doctoral: Enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia en Colombia.

La secuencia se diseña desde del socio-constructivismo como paradigma pedagógico de elaboración de conocimientos (Jonnaert, 2001), asumiendo que el conocimiento se construye desde la interacción social del estudiante, de ahí que se promuevan situaciones de aprendizaje en el que él interactúa con sus pares para la construcción de respuestas, argumentación y defensa de su posición frente a situaciones socio-científicas, para ello, se utiliza a DEMO, personaje que guía al estudiante en estas construcciones.

Desde la dinámica planteada por DEMO, o de las actividades propuestas, se busca que el estudiante aporte desde su conocimiento, desde sus ideas previas, se propone siempre una construcción reflexiva del conocimiento, en el que la interacción, la contextualización, el desarrollo de prácticas experimentales sencillas sean pretextos para que el estudiante sea activo en este proceso.

La historia de las ciencias, se constituye en un recurso didáctico fundamental y ampliamente sustentado en la investigación didáctica en general y de esta temática en particular. (Solbes, y Sinarcas, 2009; Solbes, Sinarcas, 2010; Solbes, Silvestre y Furió, 2010; Sinarcas y Solbes, 2013; Solbes, 2013; Savall, Domenech y Martínez 2013), de tal manera que en el desarrollo tanto del material didáctico que se presenta, como en la ampliación que se hace del mismo en la explicitación del docente, se vincula la historia de las ciencias para contextualizar al estudiante y permitirle asumir una dinámica de construcción del conocimiento científico no lineal, ni acumulativa. La creación de un correo electrónico al que los estudiantes escriben mensajes a los científicos que se trabajan en la secuencia, es otra manera del trabajo desde la historia de las ciencias. Por último, la personificación que se hará con la participación de los estudiantes, es otra manera de trabajar desde esta perspectiva didáctica.

También, se vinculan recursos didácticos mediados por las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), tales como videos o simulaciones, en cuyo caso, se deja el link. Estos recursos, vinculan al estudiante desde sus intereses y perspectivas.

Este material y su aplicación estará siempre en construcción y será necesaria su contextualización, dependiendo de las características de los grupos de alumnos y las instituciones en las que se desarrolle, es una propuesta abierta.

INTRODUCCIÓN

FENOMENOS CORPUSCULARES Y ONDULATORIOS

Comentarios profesorado: esta primera parte del trabajo, se desarrolla con los estudiantes a nivel de introducción, se busca la caracterización de los fenómenos corpusculares y los fenómenos ondulatorios, preparando al estudiante para el momento en que asuma la singularidad de los objetos cuánticos. En algunos casos puede ser necesario clarificar el concepto de onda, porque no ha sido trabajado previamente por los estudiantes.

Tradicionalmente todo cuánto existe se ha clasificado en dos grandes grupos, partículas y ondas. Las partículas tienen propiedades específicas tales como masa, peso, volumen; puedo medir la velocidad, determinar su trayectoria mediante la aplicación de fórmulas sencillas. Una partícula puede semejar a una bola de billar, un balón entre otros. Incluso el juego de billar nos puede ser muy útil ¿Has jugado alguna vez billar? A este juego se le ha denominado el juego ciencia. sabes por qué? Ya que juegues profesionalmente o solo para divertirse con tus amigos, son muchos los principios físicos que influyen en el control de las bolas en las distintas modalidades de billar.

¿Por qué crees que se denominó juego ciencia?

Describe qué aspectos te llaman más la atención de este juego

Define trayectoria.

Define velocidad

Define posición.



Comentarios profesorado: el billar se ha denominado tradicionalmente como un juego ciencia porque en el vemos cumplirse el principio de conservación de la cantidad de movimiento, que hace que cuando una bola choque con la pared, salga despedida cumpliendo la ley de reflexión...

El otro gran grupo es el de las ondas, **¿sabes lo que es una onda y qué propiedades tiene?**

¿Podrías enunciar algunos ejemplos de fenómenos relacionados con las ondas?

Con tu equipo de trabajo realiza las siguientes experiencias...

- Con un muelle produce una onda, ¿qué observas? Qué características puedes describir.



- Observa y describe en tu cuaderno, la experiencia en la cubeta de ondas.
- Haz pasar un haz de láser por una tela tenue o un CD sin máscara, ¿Qué observas?

Comentarios profesorado: la primera pregunta permite que los estudiantes verbalicen sus ideas previas. Para comenzar esta parte del trabajo, lo ideal sería desarrollar las experiencias en un laboratorio, en el cual los estudiantes dispongan del espacio y recurso para las actividades, de no ser así, el salón de clase, puede disponerse con sencillos materiales que permitan desarrollar el trabajo. En un slinky podemos producir ondas transversales y longitudinales, estacionarias transversales con diferentes nodos según la frecuencia de vibración de la mano y la reflexión de las mismas. Al caer una gota producimos ondas superficiales en los líquidos y al caer dos en lugares opuestos vemos cómo se produce una interferencia. Cuando el láser atraviesa una tela tenue o un CD se

difracta (Lozano y Solbes, 2014). Con este tipo de experiencias los estudiantes además de evidenciar los fenómenos, se comprometen con su proceso.

Completa el siguiente cuadro:

Definición del fenómeno	Experiencia realizada	Ejemplo en la vida diaria
La reflexión es el cambio de dirección de una onda, que, al entrar en contacto directo con la superficie de división entre dos medios cambiantes, regresa a su punto de origen.		El eco es un ejemplo de la reflexión
La interferencia es fenómeno en el que dos o más ondas se superponen para formar una onda de mayor, menor o igual amplitud.		
La difracción es un fenómeno característico de las ondas desviación de ondas al atravesar un obstáculo o una rendija.		

Comentarios profesorado: a los estudiantes se les puede pedir que en su cuaderno registren los datos que se obtienen de las experiencias. Es un buen pretexto para comentar con los estudiantes sobre la importancia de registrar las observaciones y la construcción de informes de las prácticas experimentales, tal como sucede en el trabajo que desarrollan los científicos. Los elementos en los que los estudiantes realizan sus anotaciones, son recursos para la recolección de información que permite analizar el desarrollo del proceso de aprendizaje.

La divisibilidad de lo indivisible

¿Que es la materia?

Esta pregunta que parece tan sencilla, fue la razón de mi f



Comentarios profesorado: esta primera parte, vincula las explicaciones filosóficas e incluso especulativas que se dio en la antigüedad para la noción de materia, es necesario hacer énfasis a que se trata de explicaciones filosóficas pero que tuvieron una influencia importante en el pensamiento científico a través de la historia. Uno de los aspectos que se recalca, es el pensamiento de Demócrito (Armstrong.1996), no solo en la constitución del atomismo como tal, sino en cómo sus ideas se constituyen en una disrupción en el pensamiento griego (Gadamer, 2001). Esta introducción tiene una importancia epistemológica, en el sentido de evidenciar como se construyó un pensamiento determinista y con regularidades que ordenan el cosmos, lo que se reflejó en la búsqueda del **arké** o principio constitutivo de todas las cosas (Silva, 2011).



Comencemos dando ejemplo de materia, enumera al menos 10 ejemplos de materia, puedes ahora enumerar 5 ejemplos de algo que no sea materia. ¿En qué estado se encuentra?

Comentarios profesorado: esta pregunta, busca conocer las ideas previas de los estudiantes, especialmente referidas a aquello que no es materia, permitiendo determinar algunos errores tales como que el aire no es materia, o que la luz no es materia, porque no se ajusta a la definición de que “materia es todo cuanto existe y ocupa un lugar en el espacio”, definición usualmente utilizada por los estudiantes.

¿Qué es la materia? Ha sido una pregunta que a lo largo de la historia ha aceptado muchas respuestas. Entre los muchos pueblos que se ocuparon de esta pregunta están los griegos, claro, no solo esta pregunta los inquietó, también intentaron comprender la naturaleza de la luz y de la electricidad.

En el siglo V a. C., los griegos sugirieron que la materia está compuesta de *partículas elementales* indivisibles. Bueno, la verdad esta no fue la conclusión del pensamiento griego, más bien fue Demócrito (460-370 a. de C) un tanto en solitario, -en quien nos inspiramos para crear a nuestro amigo DEMO-, quien introduce los átomos y el vacío entre ellos. Son pequeñas masas de materia, que se encuentran en una cantidad infinita en el universo, los definió como la partícula última, indivisible e invisible. “El ladrillo con el que se hace la naturaleza”.

Las ideas de Demócrito, eran diferentes a las que se habían planteado con anterioridad en la concepción griega del universo, pues afirma que los átomos se mueven y es la interacción entre ellos lo que da origen a los cuerpos infinitos del universo. Pero no creas que para Demócrito las cosas fueron fáciles, a pesar de sus planteamientos futuristas. Para un gran filósofo, del que seguramente has escuchado hablar, Aristóteles las ideas locas de Demócrito no explicaban la variedad de sustancias existentes y como Aristóteles sólo aceptaba las fuerzas por contacto y no a distancia, con el vacío no se podía justificar el movimiento.

El movimiento es una condición fundamental de las partículas que conforman la materia. (Demócrito)



Comentarios profesorado: en los apartados en que Demo insiste, se resalta conceptos o afirmaciones importantes para el estudiante, como en este caso, la idea de movimiento de Demócrito.



¿Qué ideas consideras más importantes de las planteadas por Demócrito y por qué?

¡Interesante! Las cosas no son fáciles para los grandes pensadores de la humanidad... condiciones políticas y culturales impulsaron un cambio en la investigación filosófica griega, no solo yo dediqué tiempo a pensar en la materia. El universo entero y su composición era una tarea de muchos filósofos como Tales, Anaximandro, Parménides, Platón, Aristóteles quienes plantearon explicaciones muy interesantes y un gran interrogante



Comentarios profesorado: este tipo de espacios de la guía, tienen como objetivo la construcción colectiva frente a hechos, circunstancias, conceptos o fenómenos en los que el estudiante se relaciona con la dinámica de construcción del conocimiento científico. Aunque esta parte es importante, por el tiempo, se debe puede de manera rápida.

Pero debemos centrarnos en unos pocos, por ejemplo, Aristóteles (384-322 a.C.), quien iniciaría de manera sistemática los estudios de física, defensor del geocentrismo, explicaba que la materia estaría constituida por cinco elementos, los cuatro tradicionales de la filosofía griega: tierra, agua, aire y fuego y el quinto elemento que sería el éter que formaba la materia de los cuerpos celestiales. Debido a la "Autoridad intelectual" de Aristóteles estas ideas prevalecieron prácticamente durante toda la edad media, hasta la revolución científica de Copérnico, Galileo y otros.

Según la física de Epicuro toda la realidad está formada por dos elementos fundamentales. De un lado los átomos, que tienen forma, extensión y peso, y de otro el vacío, que no es sino el espacio en el cual se mueven esos átomos. Las distintas cosas que hay en el mundo son fruto de las distintas combinaciones de átomos. La idea de Demócrito y de Epicuro no se consolidó.



¿Qué podemos concluir de los trabajos realizados en la antigüedad?

Este sencillo esquema podría ayudarnos a comparar las ideas de estas dos corrientes filosóficas.

Atomismo	Aristóteles

Comentarios profesorado: el objetivo de pedir al estudiante una conclusión de los trabajos realizado en la antigüedad, es que deduzca que no se trataban de trabajos experimentales, sino que se relacionaban con el saber filosófico de dicha época.

No siempre se trabajan los aportes de Robert Boyle, e incluso de Lavoisier con respecto a la construcción de la noción moderna de átomo, la historia de las ciencias da herramientas que permiten comprender que de Demócrito a Dalton no se realizó un salto, sino que la comunidad científica venía trabajando al respecto y estas contribuciones allanaron el camino.

Claro está, no se trata que desde que Aristóteles diera su explicación a la composición de la materia, nadie más seguiría buscando respuestas, pero hay que reducir mucho nuestra presentación. Las ideas de Aristóteles comenzarían a sufrir grandes impactos. Por ejemplo, con la idea del quinto elemento de Aristóteles, el éter implicaba la perfección de los cuerpos celestes, y Galileo Galilei (1564-1642) con su telescopio, pudo observar la Luna y descubrir una superficie lunar llena de cráteres, valles y montañas que estaba lejos de la Luna de superficie lisa y perfecta descrita por los aristotélicos.

Por otra parte, Robert Boyle (1627-1691), vivió en plena época denominada Alquimia, pero su pensamiento era totalmente distinto al de los alquimistas de sus días, en lugar de limitarse a aceptar las hipótesis tradicionales, prefería realizar experimentos controlados para establecer los hechos y más importante que eso, publicaba y daba a conocer sus hallazgos. Los experimentos de Boyle respaldaban el concepto de que la materia estaba compuesta de lo que él denominaba corpúsculos —algún tipo de partículas— que se combinaban de diversas maneras para formar distintas sustancias.

¿Qué sabes sobre la Alquimia?



Uno de los principios más importante en el campo de la Química es sin duda, el principio de conservación de la masa o ley de Lavoisier. Y no por su complejidad, realmente es muy sencillo, sino porque su establecimiento, a finales del siglo XVIII, marcó el nacimiento de la química moderna y el abandono de su predecesora, la alquimia y por ello a su autor, el francés Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) se le conoce como el padre de la química moderna, además amplió el número de elementos clasificándolos en metales y no metales, comenzando así a forjarse la idea de clasificar y ordenar los elementos.



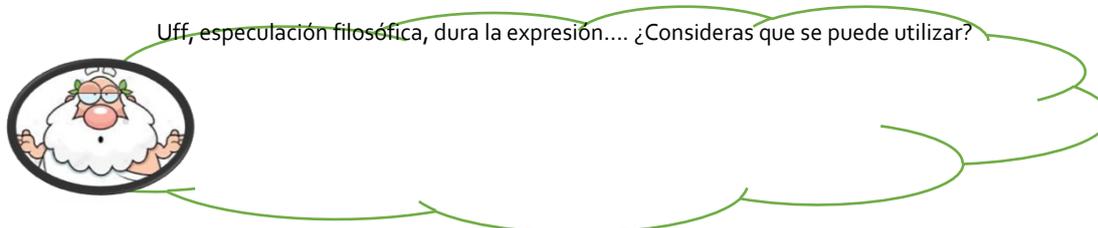
Enumera elementos metálicos y no metálicos, determinando que propiedades tiene cada grupo.

Desde la Escuela Filosófica de Aristóteles hasta el último tercio del siglo XVIII, el agua se consideraba un cuerpo simple o "elemento". En unión del aire, la tierra y el fuego, el agua constituía el conjunto de los cuatro elementos de los que se creía formado el mundo conocido. Lavoisier descubrió que el agua no era un elemento y que estaba compuesta por dos elementos: hidrógeno y oxígeno.

¿Cómo contradice este hallazgo, la teoría aristotélica?



Después de muchos siglos de que la idea de que todo estaría compuesto por tierra, agua, aire y fuego y sus interacciones, los hechos que hemos descrito ponían de manifiesto que esta idea basada en la especulación filosófica no era verdad.



John Dalton (1766-1844), un sencillo maestro inglés, investigó las consecuencias de la obra de Lavoisier. Si bien, se atribuye a Dalton el “resucitar” la palabra *átomo* para referirse a las minúsculas partículas invisibles que constituyen la materia, no es apropiado entenderlo así. Había una diferencia, para Demócrito los átomos de sustancias diferentes tenían diferentes formas, para Dalton la diferencia estaba en el peso. En principio, las explicaciones con respecto a la Materia se alojaban ya sea en la filosofía o en la física, pero, las primeras pruebas experimentales de la existencia de los átomos vinieron de la química con Dalton (Lederman, 1993).

Comentarios profesorado: *es necesario, hacer énfasis en la idea de Demócrito sobre el átomo como una entidad filosófica y la idea de átomo para el atomismo moderno son muy diferentes, Dalton no hace una retoma de conceptos de Demócrito, por tanto, no se puede ignorar el sistema conceptual en el que se construyen estos conceptos (Cano, 2009)*

¿Qué impacto, consideras, puede tener la Teoría Atómica en la química como disciplina científica?



Dalton, observó que las propiedades de los gases se podían explicar mejor partiendo de la existencia de los átomos, vio además pertinente aplicar este postulado a las reacciones químicas. Es un poco, adoptar un concepto para comprender una situación experimental. Nuestro sencillo profesor de química había concluido que un compuesto químico siempre contiene los mismos pesos de sus elementos constituyentes. Por ejemplo, el carbono y el oxígeno se combinan y forman monóxido de carbono (CO). Para producir 28 g de CO, siempre se necesitan 12 g de carbono y 16 g de oxígeno,



¿Para producir 56 g de CO, cuántos g de C y O necesitaremos? ¿Cuál puede ser la explicación?

Ahora nos pondremos la tarea de comprobar o refutar (¿por qué no?), la teoría Atómica de Dalton.

¿Por qué considerar importante comprobar o refutar las ideas de los científicos?

Comentarios profesorado: *se trata de introducir la ley de proporciones constante, que se puede explicar a partir de la teoría atómica: si un átomo de carbono pesa 12 unidades de masa atómica y un átomo de oxígeno pesa 16 unidades de masa atómica, los pesos macroscópicos del carbono y del oxígeno que desaparecen para generar el CO tendrán siempre la misma proporción. Es importante hacer referencia a que en principio se habló de unidades de masa atómica y luego se establece el concepto de mol como un valor igual al valor numérico del peso atómico o molecular según corresponda y que una mol contiene siempre el mismo número de átomos o moléculas, que equivale al número de Avogadro ($6,022 \times 10^{23}$ átomos o moléculas). Lo anterior, para evitar la confusión de que un átomo de sodio, por ejemplo, pesa 23 g o que una molécula de agua pesa 18 g.*



Pero acaso Dalton simplemente desempolvó mis ideas, y ups, ¿por arte de magia las incorporó para formar una nueva teoría?

Entr
e

1803 y 1808, John Dalton, formuló de modo más preciso una teoría atómica. Las hipótesis en las que se basa la teoría de Dalton pueden resumirse en tres puntos:

- Los elementos están formados por partículas muy pequeñas e indivisibles llamadas átomos. Los átomos de un elemento son idénticos (igual masa, propiedades químicas) pero diferentes a los átomos de otros elementos.
- Los compuestos se forman por unión de átomos de dos o más elementos. La relación entre el número de átomos presentes en un compuesto siempre es un número entero o una fracción sencilla.
- En las reacciones químicas se produce separación, combinación o reagrupamiento de los átomos, nunca creación o destrucción de los mismos.

Notas, cómo sus planteamientos nacen de su trabajo con los gases y desde reacciones química



Antes de continuar con el átomo, recordemos un poco: los cuatro elementos griegos: tierra, agua, aire y fuego, más el quinto elemento invisible: el éter, por fin han quedado atrás. Hoy en día, podríamos hablar aproximadamente de 114 elementos registrados. Antes del siglo XIX se habrían descubierto entre 30 y 40 elementos aproximadamente, incluyendo aquellos que el hombre habría utilizado en la antigüedad, tales como carbono, cobre, azufre, hierro entre otros. Son muchos, por tanto, es necesario algo más que una lista. Para los científicos, es importante ordenar y clasificar los datos, por tanto, conforme aumentaba el número de elementos descubiertos, se hacía necesario un ordenamiento.

Dmitri Ivánovich Mendeleiev fue un químico ruso. Nació el 8 de febrero de 1834 en Tobolsk, y murió el 2 de febrero de 1907 en San Petersburgo, casi ciego. Realizó muchas investigaciones en el campo de la química, trabajó el concepto de cohesión molecular, investigó sobre temperatura y ebullición, aportó en la agricultura, ganadería, industria, petróleo, incluso fue asesor del ministro de hacienda de Rusia. En 1869 publicó *Principles of Chemistry*, donde desarrolló la Tabla Periódica ordenada por peso atómico y agrupando a los elementos por sus propiedades químicas (I alcalinos, II alcalino-térreos, etc.). No solo explicó las propiedades (físicas y químicas) de los 63 elementos existentes hasta entonces, sino que también predijo la existencia (y la explicación de sus propiedades) de elementos como el Ga, el Sc, el Ge y el Tc. ya que cuando el siguiente elemento por masa no coincidía con las propiedades de su grupo dejaba un cuadro vacío . Imagen 1 <https://www.fullquimica.com/2014/09/ventajas-y-desventajas-de-la-tabla.html>

Tabla Periódica de Mendeleiev

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
H 1.01									
Li 6.94	Be 9.01	B 10.8	C 12.0	N 14.0	O 16.0	F 19.0			
Na 23.0	Mg 24.3	Al 27.0	Si 28.1	P 31.0	S 32.1	Cl 35.5			
K 39.1	Ca 40.1		Ti 47.9	V 50.9	Cr 52.0	Mn 54.9	Fe 55.9	Co 58.9	Ni 58.7
Cu 63.5	Zn 65.4			As 74.9	Se 79.0	Br 79.9			
Rb 85.5	Sr 87.6	Y 88.9	Zr 91.2	Nb 92.9	Mo 95.9		Ru 101	Rh 103	Pd 106
Ag 108	Cd 112	In 115		Sb 122	Te 128	I 127			
Ce 133	Ba 137	La 139		Ta 181	W 184		Os 194	Ir 192	Pt 195
Au 197	Hg 201	Tl 204		Pb 207	Bi 209				
			Th 232			U 238			

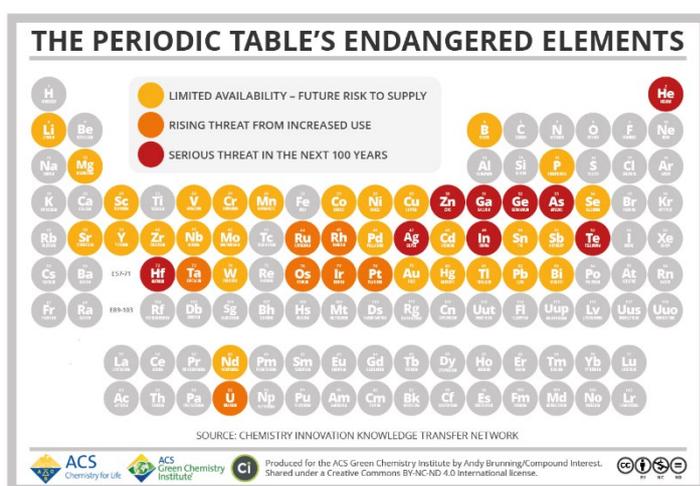
En la Tabla Periódica de Mendeleiev, los elementos se clasificaban **de izquierda a derecha** formando líneas horizontales, en orden creciente de peso atómico. Los elementos de propiedades similares (de la misma familia) se disponían **en columnas** (en vertical), formando grupos. Durante este periodo de tiempo, Dmitri dudó de algunos valores de masas atómicas y re-ordenó la masa atómica de algunos elementos para que concordaran con sus elementos contiguos.



Ahora, te propongo que tomes una tabla periódica moderna y establezcas una comparación con la tabla que en su momento presentó Mendeleiev.

Comentarios profesorado: *en el trabajo con los estudiantes, es necesario que establezcan las relaciones de los elementos con sus propiedades y en el caso de Mendeleiev la predicción de los elementos permite comenzar la construcción de la idea de periodicidad y ley periódica. Por otra parte, el maestro puede especificar que Mendeleiev presentó al menos unas 30 tablas periódicas, sin embargo, las modificaciones fueron alrededor de 60.*

Plantearle la posibilidad al estudiante de refutar, tanto las ideas de sus compañeros, como las ideas de los científicos los vincula con la naturaleza de la construcción del conocimiento científico y lo integra en el proceso de la construcción del conocimiento.



Es común, que se hable de especies en vía de extinción, especies como la tortuga mariana, el tití, el manatí están fuertemente amenazadas. En Nariño, una de las especies más bellas de osos: el oso de anteojos se encuentra en peligro. Pero, puedes creer que enfrentamos una grave escasez de elementos químicos. Los teléfonos inteligentes usan aproximadamente 30 elementos y de ellos un poco más de la mitad, están siendo cada vez más escasos. Se requiere tomar medidas urgentes, pues además de ver cómo se

pierden especies vegetales y animales, estaremos ante una nueva tabla periódica, totalmente reducida.

Imagen 2 <https://rpp.pe/ciencia/mas-ciencia/estos-son-los-elementos-de-la-tabla-periodica-que-estan-en-peligro-de-extincion-noticia-1099219>

¿Cuáles consideras, pueden ser las causas de esta situación? Desde nuestra vida cotidiana, ¿consideras que podemos hacer algo? ¿Qué soluciones propones?



Comentarios profesorado: *este espacio, se propone como un escenario de reflexión, no solo, es posible asumir el problema de las especies amenazadas, sino también de elementos químicos que, debido al uso irresponsable y dependiente, así como su ubicación en áreas de conflicto o la incapacidad de reciclarlos. Es interesante, confrontar con los estudiantes qué tanto conocen de sus teléfonos celulares y su disposición final. Además de la actividad planteada, es posible compara esta tabla con los elementos que consideran los estudiantes más utilizados, y proyectar el impacto que su desaparición puede tener en nuestro mundo.*

Hasta el momento hemos realizado un pequeño recorrido histórico por las teorías que trataron de explicar de qué estaba hecho todo cuanto existe. Si bien, Demócrito no contó con una serie de aparatos tecnológicos, ni el conocimiento científico que le permitiera experimentar como sucedería hoy en día y sus explicaciones eran de carácter filosófico, e incluso, Dalton no pudo "pesar" los átomos, sus planteamientos han sido fundamentales para construir el conocimiento que hoy en día se tiene del átomo, además sigue siendo muy complicado ahondar en el mundo subatómico.

Recuerdas que emprenderíamos la tarea de comprobar o refutar, si es el caso, los postulados de Dalton, comenzamos con el primero: ¿Los elementos están



formados por partículas muy pequeñas e indivisibles llamadas átomos?

Thomson utilizó en el Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge, del que era director; un tubo de rayos catódicos. Esta es una válvula con un ánodo y un cátodo en la que se ha hecho casi el vacío (Ver imagen 6). Al aplicar una diferencia de potencial, el cátodo emite rayos (de ahí el nombre rayos catódicos) Imagen 3. Fotografía Tomada por Dr. Jordi Solbes - Lab. Universidad de Valencia).

hacia el ánodo. Si el ánodo tiene un pequeño orificio sale un haz de rayos catódicos que se propaga en línea recta.

¿Cómo sabemos que son partículas? Van del ánodo al cátodo ¿Qué carga tienen? ¿Conoces algún uso del tubo de rayos catódicos en la vida cotidiana? ¿Qué pasa si les acercas un imán?



Si se les aplica el campo magnético desviaba los rayos catódicos describiendo curvas (en algún caso círculos) cuyo radio depende la carga y la masa de la partícula. Como el radio r , el campo magnético B y la diferencia de potencial V se pueden medir, esto permitió determinar la relación carga/masa.

Comentarios profesorado: es fácil afirmar que son partículas porque se visualiza la trayectoria y que su carga es negativa porque van del cátodo al ánodo, pero esto no permite determinar su masa: podría tratarse de átomos cargados negativamente. La 2ª pregunta hace referencia a la pantalla de tubos de rayos catódicos de TV y de los ordenadores antiguos. Se comprueba que son e^- porque cuando les acercas un imán la imagen se deforma.... Y sólo es acercarlo y alejarlo, para que la deformación no sea permanente. Por eso, Thomson utilizó los campos magnéticos de una bobina para determinar la relación carga masa. Aunque por falta de tiempo y porque no disponen de los conocimientos adecuados, el alumnado no puede realizar estos cálculos, es conveniente que los conozca el profesorado, para que pueda entender como lo hizo Thomson. Entre el ánodo y el cátodo se cumple la conservación de energía y, por tanto, $E_c = E_p$, $qV = mv^2/2$, donde V es la ddp entre placas. Por otra parte, se puede ajustar la intensidad del campo B para que la partícula cargada describa trayectorias circulares, siendo la fuerza de Lorentz $F = ma_n$, es decir, $qvB = mv^2/r$ Despejando la velocidad v en la primera de las ecuaciones y sustituyendo en la segunda, encontramos $q/m = 2V/r^2B^2$.

Ello demostraba la carga eléctrica negativa inherente a estos rayos y la existencia de una masa y de la consiguiente inercia, que impedía que fueran absorbidos por la placa. Por tanto, debía existir una partícula elemental constituyente de los rayos catódicos, a la que se da el nombre de electrón.

Thomson determinó el valor de la relación entre la carga e y la masa m del electrón, hay muchas cosas interesantes, comenzaremos por aquella que habla de que los átomos son muy pequeños e indivisibles. El 30 de abril de 1897, Thomson anunció el descubrimiento del electrón (aunque él no lo llamó así, lo llamó corpúsculo) en una conferencia impartida en la *Royal Society* en Londres. Thomson probó que el electrón era una partícula más ligera que cualquier elemento conocido y constituyente de todos los átomos. Es necesario abordar que la existencia del electrón había sido predicha por numerosos investigadores y fue propuesta como la unidad de carga en electroquímica por G. Johnst Stoney (1826-1911), que también propuso el nombre "electrón" en 1881.

¿Qué implicaciones



tiene para nuestra tarea, el descubrimiento de Thomson?

¿Qué significa que el electrón tenga masa?



Conozcamos un poco más el trabajo de este científico. Además, Thomson trabajó junto a Ernest Rutherford (1871-1937) y creó una gran escuela de física experimental. Thomson recibió el Premio Nobel de Física en 1906 por el descubrimiento del electrón.



Después del descubrimiento de Thomson sobre la relación carga-masa del electrón, Robert A. Millikan (1868-1953), tras muchas pruebas experimentales, logró determinar la carga del electrón conociendo la masa de una gota de aceite cargada que en cuya caída se equilibra con un campo eléctrico E . Hoy día, el valor admitido de esta carga es igual a $1,60210 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Imagen No 4- <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/ciencia-y-sociedad/104/posts/repensando-la-historia-de-los-modelos-atmicos-16696>

A raíz de ello y de la relación de Thomson puede deducirse la masa del electrón, que resulta: $9,1091 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ (aproximadamente 1.836 veces menor que la del átomo más ligero, el hidrógeno). La experiencia de Millikan sirvió también para constatar que el electrón es la unidad fundamental de carga eléctrica, porque las cargas de las gotitas de aceite siempre eran múltiplos enteros de la carga elemental.

¿Qué implicaciones tiene el valor de la masa del electrón?

Hasta el momento del primer postulado de Dalton, con respecto al tamaño y la



indivisibilidad del átomo, ¿qué puedes decir?

Comentarios profesorado: *si el e- tiene masa debe ser una partícula. Al ser 1836 veces menor que la del átomo de H, el más pequeño, nos dice que debe ser un constituyente de los átomos, por tanto, éste no es indivisible ni la menor unidad de masa. El modelo atómico de Thomson, se presenta de manera muy simplificada para la enseñanza, incluso se presentan falsedades históricas en los libros de texto, de tal manera que dicho modelo se enuncia de forma diferente a la realizada por Thomson (Moreno, 2018).*

No podemos olvidar la tarea inicial de confrontar los postulados de Dalton y apenas vamos en la primera parte, pero ahora, surge un nuevo reto, y es que Thomson describe el átomo como una esfera de carga positiva difusa, dentro de la cual se encuentran los electrones de carga negativa, los cuales se encontrarían en movimiento y en anillos concéntricos. Otra prueba de que el átomo no era indivisible fue la radiactividad.



¿Qué hechos relacionados con la radioactividad conoces?

Comentarios profesorado: *Becquerel en 1896 descubrió casualmente que las sales de Uranio emiten una radiación penetrante. Se encontró que los átomos de los elementos más pesados emitían continuamente algún tipo de radiación. En 1896 Rutherford distinguió 2 clases de rayos, los alfa α y los beta β , y posteriormente un tercero, los gamma γ , que se podía clasificar por su capacidad de penetrar la materia e ionizar el aire, hechos relacionados, respectivamente, con la masa y la carga. Los rayos alfa apenas podían penetrar un trozo de papel y eran muy ionizantes, los beta podían atravesar hasta 3 mm de aluminio y eran menos ionizantes y, por último, los gamma eran muy penetrantes, podían atravesar hasta varios centímetros de plomo, siendo su ionización muy pequeña. Para el análisis de la carga se recurre a campos, observándose, al penetrar el haz de radiación en un campo magnético, que unos rayos siguen rectos, otros se desvían a la derecha y otros a la izquierda. Si se desvían de forma diferente en un campo magnético, ello indica que tienen carga diferente: los rayos alfa α están cargados positivamente, los beta β negativamente y los gamma γ son neutros. El radio de la trayectoria descrita permite determinar las masas de los rayos: como las partículas α tienen un gran radio (se desvían poco), tendrán una masa mucho mayor que las que se desvían mucho. Pronto se vio que los tres tipos de radiación consistían en tipos conocidos de partículas: los rayos α son núcleos de Helio-4 (He-4), los β son electrones y los γ , fotones de energía elevada (mayor que la de los rayos X).*

Estos rápidos rayos proporcionaron el instrumento necesario para verificar el siguiente paso importante: comprobar el extraño interior del átomo. Entonces con la ayuda de uno de los alumnos de Thomson -Ernst Rutherford- tratáremos de probar si el modelo de Thomson tiene o no problemas. En 1911, en Manchester se llevó a cabo una experiencia encaminada a corroborar el modelo atómico de Thomson. La experiencia desarrollada por Geiger, Marsden y analizada por Rutherford, consistía en bombardear con partículas alfa (núcleos del gas helio) una fina lámina de metal.



Pensemos lo siguiente, si el átomo es neutro, constituido por una esfera positiva en la que se encuentran distribuidos los electrones, e incide sobre ellos un rayo de carga positiva, ¿qué podríamos esperar que suceda?

Comentarios profesorado: *el desarrollo científico y el conocimiento que se construyó con el descubrimiento de la radioactividad en 1896, por Becquerel, no solo tiene una importancia histórica y científica en la construcción de las teorías alrededor de la estructura de la materia, también, se constituyen en una herramienta didáctica para articular cuestiones socio-científicas en la enseñanza (Solbes, 2013), Los trabajos de Madame Curie, permitieron comprender que la radioactividad era una propiedad intrínseca lo que permitió desarrollar el conocimiento de la estructura atómica. El trabajo desarrollado por Rutherford parte de los rayos descubiertos por Becquerel.*

Pues bien, el resultado esperado era que las partículas alfa atravesasen la fina lámina sin apenas desviarse. Para observar el lugar de choque de la partícula colocaron, detrás y a los lados de la lámina metálica, una pantalla fosforescente. Las partículas alfa al tener carga eléctrica positiva serían atraídas por las cargas negativas y repelidas por las cargas positivas, como en el modelo atómico de Thomson las cargas positivas y negativas estaban distribuidas uniformemente, la esfera debía ser eléctricamente neutra, y las partículas alfa pasarían a través de la lámina sin desviarse. Tal y como esperaban, la mayor parte de las partículas atravesó la lámina sin desviarse. Pero ¡oh, sorpresa! algunas sufrieron desviaciones grandes y, lo más importante, un pequeño número de partículas rebotó hacia atrás.

Comentarios profesorado: *en este sentido, es importante enfatizar que, en 1904, cuando Thomson presenta su trabajo, la esfera de carga positiva, no estaba respaldada experimentalmente, pudiéndose considerar una especulación (Doménech, Savall, Martínez Torregrosa, 2013), por tanto, el experimento de Rutherford tiene un valor fundamental para determinar sus limitaciones. Es además, un hecho que permite insistir en la dinámica científica seguida para la construcción del conocimiento, no solo en lo que respecta a los modelos atómicos.*

¿Por qué los hechos experimentales serían una prueba de que el átomo de Thomson no era una esfera positiva con electrones distribuidos en círculos concéntricos?

¿Qué aportes hace Thomson al conocimiento de la estructura del átomo?



Comentarios profesorado: *hasta el momento no se ha pedido al estudiante que grafique o dibuje y tampoco se hará, el átomo de Rutherford, ni se ha presentado una imagen alusiva al modelo, lo anterior debido a que el modelo presentado por Rutherford en 1911 no asumía un núcleo positivo únicamente, sino simplemente, la concentración de la carga de cierto signo en el núcleo y en la corteza una carga opuesta (Moreno, 2018).*

Rutherford sugirió que el núcleo de hidrógeno, que en la época se sabía que su número atómico era 1, debía ser una partícula fundamental. Pero, antes que Rutherford, Eugen Goldstein había observado rayos compuestos de iones cargados positivamente en 1886. Luego del descubrimiento del electrón por J.J. Thomson, Goldstein sugirió que puesto que el átomo era eléctricamente neutro, el mismo debía contener partículas cargadas positivamente. Realizó algunos experimentos con rayos canales.



Pero no olvides que tenemos una tarea pendiente, y es escarbar detenidamente en Dalton, ¿lo habías olvidado? Recuerdas que su primer postulado decía:
Los átomos de un elemento son idénticos (igual masa, propiedades químicas) pero diferentes a los átomos de otros elementos.

¿Has escuchado hablar de los isótopos? Pues bien, en primer lugar, es necesario especificar que un átomo de un determinado elemento tiene el mismo número de protones, lo que configura su número atómico y determina su posición en la tabla periódica. Sin embargo, existen átomos de un mismo elemento que tienen propiedades distintas y masas distintas.



¿Qué sabes de los isótopos?

Los hallazgos realizados por Rutherford y sus colaboradores, llevaron a que el científico propusiera un modelo en el que el átomo estuviera formado por dos regiones claramente definidas, un núcleo positivo en el que se concentraría la masa y una periferia en la que se encontrarían los electrones. Además, planteó una relación muy interesante con respecto al tamaño del átomo, si bien el tamaño de los átomos varía como es lógico dependiendo del elemento, hay unas relaciones constantes que nos permiten tener una idea de dichas dimensiones y se propone que si el radio de un átomo es 10^{-8} m, su núcleo 10^{-13} m.

Contrasta el concepto de isótopo, con la idea de Dalton, de que átomos del mismo elemento son idénticos, ¿realmente son idénticos?



Comentarios profesorado: la actividad que se propone a continuación, permite generar un espacio diferente de aprendizaje, es importante contextualizar al estudiante en el uso de la palabra probabilidad.



Nos vamos a plantear un pequeño ejercicio con base en los valores anteriores: tomando una esfera de 1 mm de diámetro, considerada como el núcleo de un átomo, deduce el diámetro del átomo. ¿Qué implicaciones tiene esta proporción para un modelo de átomo?

Comentarios profesorado: como el diámetro del átomo es unas 10^5 veces el del núcleo, si tomamos 1 mm para el diámetro del núcleo, eso nos da 100 m para el diámetro del átomo, que es aproximadamente la longitud de un campo de fútbol, lo cual permite inferir que la elaboración de maquetas, esquemas y dibujos no corresponde con una escala al menos aproximada de un átomo.

Bueno, el experimento de Rutherford demostró que el átomo tenía núcleo. Pero nuevamente surgen problemas en el átomo de Rutherford. Era inconsistente con la teoría electromagnética clásica. Según ésta, un electrón que gira alrededor del núcleo, emite energía continuamente en forma de ondas electromagnéticas, lo cual le llevaría a caer muy rápidamente sobre el núcleo, en contradicción con la evidente estabilidad de los átomos. Esta vez le correspondió ese trabajo a Niels Bohr. Un científico danés que tuvo un papel muy importante en el desarrollo de la tecnología para la Bomba Atómica.

¿Sabes que es el proyecto Manhattan? ¿Qué papel desarrollaron los científicos en este proyecto? ¿Qué papel juega el descubrimiento de la radiactividad y la energía nuclear en la actualidad?



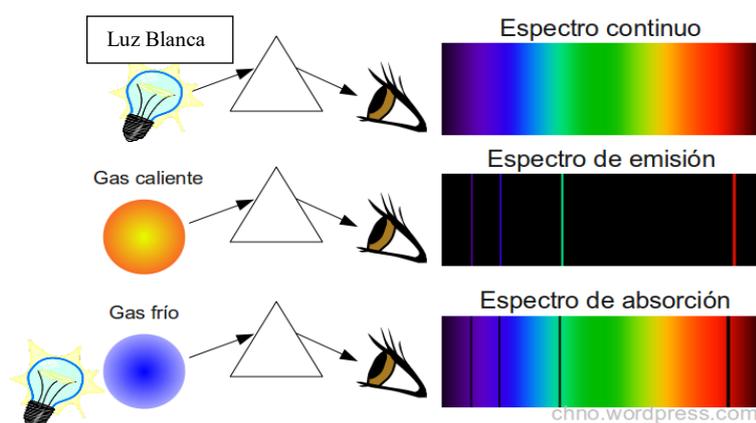
Comentarios profesorado: de nuevo, es posible el trabajo desde situaciones socio-científicas que además de dinamizar el proceso de construcción del conocimiento por parte del estudiante, favorecen el desarrollo de un pensamiento crítico en el estudiante y a tomar posición frente al desarrollo tecnocientífico.

En la introducción de los planteamientos de Bohr, no se hará alusión a la idea de órbitas, por cuanto esta idea genera errores conceptuales en los estudiantes, es importante anotar

que, justamente por este hecho, algunos autores se declaran en contra de la enseñanza del modelo atómico de Bohr tales como Fischler y Lichtfeldt (1992) lo ideal es, insistir en la cuantización de la energía y el momento angular y en la idea de estado estacionario que lleva a la idea de nivel de energía (Solbes, 2018). De tal manera, que para el diseño de esta secuencia partimos de lo planteado por Solbes y Sinarcas (2009) de trabajar los planteamientos de Bohr, como herramientas útiles que permite introducir de forma sencilla el concepto de estado, caracterizado por los valores definidos de unas magnitudes, la energía y el momento angular

Más que una crisis

Imagen No. 5 <http://elfisicoloco.blogspot.com/2012/11/espectros-atomicos-emision-y-absorcion.html>



Antes que nada, nos detendremos a pensar en un fenómeno que inquietaba mucho a los científicos del momento y se trata de los espectros atómicos. Imagina que hasta el momento hay aproximadamente 100 elementos químicos, claro está, muy bien acomodados en la tabla periódica, con nombres y propiedades. Pero a un elemento no podrías preguntarle su nombre, entonces ¿cómo podrían identificarlos los científicos? Pues bien, los átomos al igual que tú tienen huellas digitales. Newton en 1666, descubrió que cuando un rayo de

luz blanca pasa por un prisma separa los colores simples que conforman la luz.



Además, construye una sencilla red de difracción y vamos a analizar algunas fuentes de luz.

Nada más lindo que el arco iris. Así como, la luz proveniente del sol se descompone y nos permite ver el arco iris con todos los colores que componen la luz blanca. Así mismo, los átomos al quemarse producen radiaciones. Estas emisiones conforman los espectros, que pueden ser continuas como el arco iris o discontinuas, como las producidas por algunos vapores como el del hidrógeno o el mercurio. Estos espectros discontinuos contienen solo algunos colores del espectro visible. Balmer descubrió en 1885 que el valor de las longitudes de onda o las frecuencias (color) de las rayas puede ser determinadas por la siguiente fórmula:

$1/\lambda = R(1/m^2 - 1/n^2)$, donde R es la constante de Rydberg ($R = 1,0974 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$) y m y n números enteros.

¿Qué tienen que ver los espectros atómicos, con el modelo atómico de Rutherford? Que tanto el modelo de Thomson como el de Rutherford, eran incapaces de explicar el carácter discontinuo y característico de los espectros atómicos. Pues bien, el hecho de que cada elemento químico tenga un espectro discontinuo y característico estarían relacionadas con el hecho de que solo unos estados de energía son posibles para el electrón dentro del átomo y que el salto del electrón desde un estado de mayor energía a uno de menor

energía, daría lugar a la emisión de una radiación electromagnética, de tal manera que el valor de la energía emitida es siempre un fotón o un cuanto de luz: $E_i - E_f = h\nu = E_{\text{fotón}}$

Comentarios profesorado: la construcción de una rejilla de difracción se puede hacer utilizando un cd, al que previamente se le ha retirado su cubierta, los surcos que tiene el cd actúan como rejilla. Con este material, se puede además construir el espectroscopio casero, para ello se necesita un tubo de cartón de aproximadamente 20 cm de largo, cartulina negra.



La parte interior del tubo debe ser negra y en su necesario hacer una abertura en forma cuadrada de aproximadamente 1,5 cm de lado.

En la parte superior, se colocará una tapa completamente negra en la que se realiza una ranura, lo más centrada posible. Para finalizar en la realizada en la base del tubo, se coloca una parte que se le retiró su cubierta, buscando que los líneas queden paralelas a la de la ranura.



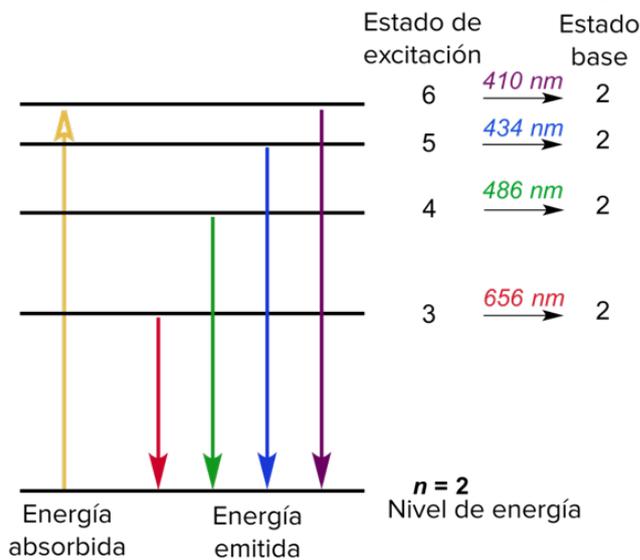
base es

pequeña abertura del Cd, al

Imagen No. 6 <https://es.khanacademy.org/science/chemistry/electronic-structure-of-atoms/bohr-model-hydrogen/a/spectroscopy-interaction-of-light-and-matter>

Utilizando la ecuación de Balmer-Rydberg: $1/\lambda = R(1/m^2 - 1/n^2)$, λ representa la longitud de onda

- (n_1) representa el número entero del estado energético más alto para una emisión espectral.
- (m_2) representa el número entero del estado energético más bajo para una emisión espectral (el estado energético de 1 es el más bajo).



Calcular la λ para un electrón que pasa del nivel 3 al nivel 2. Compara los resultados con el espectro del hidrógeno.



Por si no lo notaste, apareció una n... sabes que nada aparece por arte de detengamos en ella. Para ello, prim... observaron en el video que les pres...

Comentarios profesorado: en esta fase de la secuencia, es importante detenerse para poner de manifiesto con los estudiantes, nuevamente las características de los fenómenos corpusculares y los fenómenos ondulatorios, así como, una breve presentación de la física

clásica, sus alcances y su importancia, lo anterior, para que el estudiante pueda evidenciar la diferencia que puede presentarse entre diversas teorías. En este diseño no se considera conveniente trabajar las ideas de Planck, por la complejidad que ellas representan (Solbes, 1990), pero la utilización del video <https://www.youtube.com/watch?v=bm7FSHokRIA&t=9s> permite identificar que el cuanto de acción de Planck (1900), muestra las limitaciones de la física clásica. Se recomienda para el video en el minuto 5 y 18 segundos, por cuanto aparece el átomo de Bohr explicado con órbitas, situación que se quiere evitar.

Debemos regresar unos años atrás, en 1900, Max Planck plantea su tesis sobre los cuantos de luz, Einstein los utilizarlos para explicar un fenómeno que tenía intrigados a todos por esa época, el efecto fotoeléctrico. ¿Qué es este fenómeno? Los electrones en el metal fluyen con libertad y con la excitación o el aporte de energía, el electrón podría escapar de la placa generando una corriente eléctrica. De acuerdo con lo que hasta el momento se sabía de física, era de esperarse que a mayor intensidad de luz que incida en el metal, mayor flujo de electrones, pero, ¡oh, sorpresa! No era la intensidad sino la frecuencia de la luz la que al alcanzar un umbral mínimo permitiría que los electrones escaparan.



El efecto fotoeléctrico no pudo ser explicado con el conocimiento de la física que había hasta el momento ¿estaríamos frente al final de la física, o qué piensas tu que puede ocurrir?

Comentarios profesorado: *El efecto fotoeléctrico se constituye en otro recurso epistemológico muy valioso que permite poner de manifiesto las limitaciones de la física clásica y permite la construcción del quiebre epistemológico entre la física clásica y el surgimiento de la Teoría Cuántica (Sinarcas y Solbes 2013), de tal manera que es necesario abordarlo en la enseñanza de la EAM, porque asumir las limitaciones de la física clásica, abren un espacio para que los estudiantes se acerquen a la naturaleza de la ciencia (Sinarcas y Solbes 2013).*

Una nueva ciencia, un nuevo átomo

No creas que hemos olvidado a Dalton, y la intención de revisar sus planteamientos, hasta el momento está claro que el átomo no es indivisible, pero han surgido muchos problemas en torno a la posibilidad de establecer su estructura. Bohr nos plantea que en el átomo los electrones no pueden tener cualquier valor de energía, solo ciertas energías discretas (cuantizadas). Pero fue incapaz de explicar los espectros de los átomos polieletrónicos y la existencia de direcciones privilegiadas en los enlaces atómicos.

Pero por favor, no olvidemos que lo importante de Bohr es que introdujo la cuantización de la energía para el átomo. Entonces el átomo nunca sería el mismo, la ciencia y el mundo tampoco...



Comentarios profesorado: de esta manera se configura el escenario para trabajar más sobre la teoría cuántica, como una Teoría que involucra una nueva manera de entender el mundo físico. Este es el momento de retomar los conceptos de determinismo que se trabajaron en la introducción de la secuencia, haciendo alusión a que se trata ahora de una nueva ciencia, para un nuevo átomo.

De igual manera, es importante que los estudiantes sean motivados a trabajar siempre con su tabla periódica y utilizarla como un recurso ordinario en las clases de química (especialmente), y relacionar los conceptos trabajados con la organización periódica de los elementos, no esperar al final de la Unidad para que aparezca este conocimiento.



Tomando como punto de partida el modelo de Bohr, explica cómo funcionan los avisos fosforescentes, fluorescentes en señales de tránsito e incluso en prendas de ropa

Vamos a trabajar con una de las herramientas más bellas que tiene un químico: se trata de la tabla periódica. Es bella porque condensa el saber de muchos años, pero lo hace de una manera organizada, cada elemento ubicado en ella tiene una razón de ser, está ahí porque sus propiedades así lo establecen. La tabla periódica de Mendeleiev, fue propuesta en 1869, y su organización se basó en el orden creciente de los pesos atómicos, Sin embargo, Moseley demostró que la organización estaría determinada por el número atómico, demostró en 1913 que el número atómico crecía del hidrógeno hasta el uranio. Pero Niels Bohr, en 1923 propone que la periodicidad de los elementos se podría explicar mediante la estructura electrónica del átomo. Busquemos una propiedad que nos ayudará a comprender los grandes aportes de Bohr, se trata de la energía de ionización.

Busca y compara la energía de ionización del Be, Mg, Ca, construye una explicación a la manera cómo varía ésta en la tabla periódica.
¿Cómo se enuncia la ley periódica?



Bueno, clarifiquemos algunas cosas, Bohr introduce la cuantización de la energía, al átomo; Einstein con anticipación explicó el efecto fotoeléctrico utilizando el concepto de cuantización de la energía, en este caso para la luz, el concepto de cuantización se derivó de los trabajos de Planck en los que establece que la luz se emite a través de paquetes de energía denominados cuantos, lo que implicaría que la luz tendría un comportamiento dual.

¿Qué otros objetos cuánticos, aparte de los electrones puedes mencionar?

Comentarios profesorado: *al preguntar por otros objetos cuánticos, se espera que los estudiantes relacionen también el fotón, los objetos subatómicos.*

De Broglie obtuvo la fórmula que relaciona la longitud de las nuevas ondas con la masa y la velocidad de los cuerpos en movimiento. Su forma es la siguiente:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

De donde λ = la longitud de la onda de De Broglie, m y v , la masa y la velocidad del cuerpo, respectivamente; y h = la constante de Planck que equivale a $6,6 \times 10^{-27}$ ergios por segundo.

Calcular la longitud de onda de los siguientes cuerpos,

- La Tierra en su rotación alrededor del Sol ($m = 6.1024$ kg y $v = 3.104$ m/s)
- Una piedra pequeña de 10 g lanzado a 1 m/s.
- Un electrón que, sometido a un campo eléctrico, ha adquirido la velocidad de 6.105 m/s ($m = 9,1.10^{-31}$ kg)

Comentarios profesorado: *la propuesta es que, el docente realice el primer ejercicio a manera de explicación y demostración, enfatizando en el proceso y en las consecuencias que traen los resultados obtenidos dependiendo de la masa y de la velocidad de cada uno de los elementos planteados en los ejercicios.*



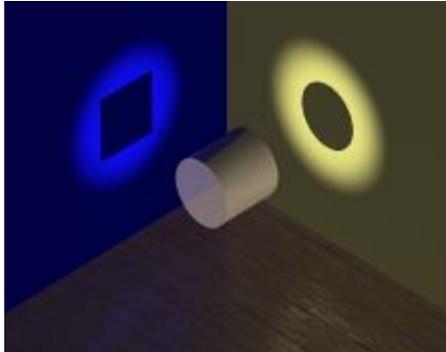
¿Qué significado pueden tener los resultados obtenidos para la tierra, la piedra y el electrón?

Recuerdas a J.J. Thomson, quien demostró el carácter corpuscular del electrón, es su hijo quien justamente comprobará la difracción de los electrones, qué significado tiene este hallazgo, que entre otras cosas significó para G.P. Thomson el premio nobel.

El doctor Quantum nos explica de una manera muy interesante la difracción de los electrones, que a su vez implica que el electrón tenga también un comportamiento dual. ¿Qué conclusiones puedes deducir de este video?

Comentarios profesorado: *el doctor Quantum, es muy conocido en la red y uno de sus videos es el propuesto para esta actividad, se encuentra en <https://www.youtube.com/watch?v=KYX4ki7y-xI> (Solbes y Sinarcas, 2010). Es necesario desarrollar con los estudiantes un trabajo durante el video, incluso se puede interrumpir por momentos para permitir a los estudiantes que realicen sus hipótesis frente a las situaciones presentadas. Lo más extraño es la desaparición del diagrama de interferencia cuando sabemos por cuál rendija pasan los electrones. Esto es lo más inadecuado del video (y el profesor debe advertir de ello a los estudiantes) porque parece que la desaparición del diagrama de interferencia es debida al “observador”, cuando en realidad es debido a que medimos por dónde pasa el electrón y la medida es una interacción que perturba el estado del sistema. Esto ha dado pie a una serie de pseudociencias como la curación cuántica, la*

psicología cuántica, etc. (Solbes ,2013). Pero aún es peor cuando parece atribuirle libre albedrío al electrón que, según sus propias palabras, “decide actuar de forma inconsciente como si supiera que le están observando”, dando pie a toda la utilización ideológica y pseudocientífica de la cuántica tan criticada por autores como Levy-Leblond (2002).



Desde las implicaciones descritas, qué relación puedes establecer con la manera en que hoy en día se entiende el conocimiento científico y la manera de hacer ciencia hoy en día. ¿Qué explicación darías a la imagen?

Imagen 7 https://es.wikipedia.org/wiki/Dualidad_onda_corpúsculo

Comentarios profesorado: *Lo q quiere decir es q el cuanto según el experimento se manifiesta como onda o como partículas. En otras palabras, los electrones o los fotones, por ejemplo, no son ni pequeñas bolas (partículas) ni pequeñas olas (ondas) y deben ser absolutamente concebidos como objetos de tipo nuevo, los “cuantos”. (Feynman, 1971; Levy-Leblond, 2002)*

RELACIONES DE INDETERMINACIÓN



A continuación, encuentras seis frases, realiza en tu equipo de trabajo un análisis de cada una.



Dios no juega a los dados. *Einstein.*



La ciencia no admite excepciones, de lo contrario no habría determinismo en la ciencia, o más bien no habría ciencia. *Bernard.*



La mecánica de Newton ofrece la posibilidad de predecir desde el movimiento de un electrón hasta el de una galaxia. *French.*



La luz es la forma más refinada de la materia. *Heisenberg.*



Cuando Llego a una bifurcación la tomo. *Yogui.*

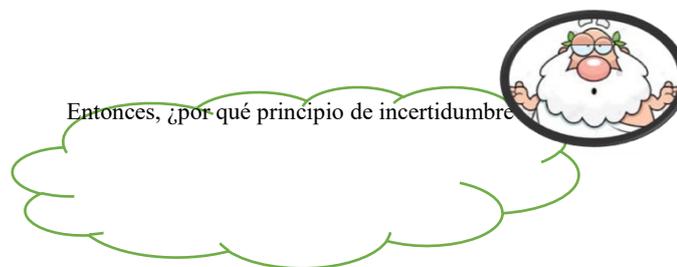
Comentarios profesorado: *La actividad de las frases es una introducción al tema, que tiene como objetivo evidenciar ciertas posiciones epistemológicas y que además se pueden ubicar en el contexto de la física clásica y la teoría cuántica, permitiendo además establecer el quiebre entre las dos.*

La investigación en enseñanza de conceptos relacionados con la Teoría Cuántica, pone en evidencia que además de las dificultades conceptuales se “presentan 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. (Solbes, 2009; Solbes y Sinarcas, 2009, Sinarcas y Solbes 2013). En la cita anterior, no se habla de “principio de incertidumbre”, ni tampoco se hará en esta secuencia, por cuanto, esta se suscribe a lo planteado por Solbes (2018) en el sentido de establecer que:

“al igual que otros supuestos principios de la cuántica (correspondencia, exclusión, complementariedad) no es tal principio, ya que no aparece como uno de los postulados que dan respuesta a las preguntas básicas: ¿cómo se define el estado de un sistema y qué magnitudes lo caracterizan?, ¿cuáles son los valores posibles de cada magnitud?, ¿cuál es la probabilidad de obtener cada uno de estos valores si se realiza una medida?, y ¿cómo evoluciona el estado del sistema en el tiempo? Con ello se olvida que los principios básicos de la teoría cuántica conducen a las relaciones de indeterminación, y que, si se parte de estas, no se pueden deducir aquellos” (Solbes, 2018).

En la física clásica si se conoce las condiciones iniciales de un sistema es posible determinar el estado del sistema en cualquier otro instante. El carácter ondulatorio de un electrón se asocia a una deslocalización que impide situar al electrón en un punto determinado. Por tanto, también existe una indeterminación en el

movimiento, lo que hace que el electrón carezca de trayectoria. Las relaciones de indeterminación de Heisenberg.



Puedes explicarme entonces ¿de qué se trata esta inecuación?

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{2}$$



Si se aplicara la ecuación a un grano de polvo que tuviera una masa de 10^{-5} g y si se mueve a una velocidad de 1m/s aproximadamente, se tendría un imprecisión de la posición de $\Delta x = 10^{-23}$ m. Sin embargo, si el mismo ejemplo se aplica a un electrón cuyo tamaño se puede considerar de 10^{-18} m la $\Delta x = 0,1$ m.

Comentarios profesorado: Una vez realizadas estas actividades, es importante plantearle al alumno que con las relaciones de indeterminación se pierde el concepto de trayectoria y por tanto de órbita. Es necesario que los docentes relacionen los conceptos implicados y no solamente la presentación del concepto o una breve introducción histórica.

Nuevamente, retomando la introducción que se realizó a la secuencia, es importante contextualizar al estudiante sobre el uso de la palabra incertidumbre, como traducción de uncertainty, pese a que, Heisenberg utilizó tanto la palabra «incertidumbre» como «indeterminación», prevaleciendo, «**incertidumbre**» (Levy-Leblond, 2002). Este hecho tiene importancia, tal como lo cita Solbes (2018) pues, incertidumbre evoca la imposibilidad de conocer la posición o la cantidad de movimiento con precisión, sin embargo, esto no solo es posible, sino que se puede conocer con altísima precisión. La imposibilidad está en determinar simultáneamente con precisión absoluta la posición y la cantidad de movimiento. Esta claridad, es indispensable, más aún cuando algunos libros de texto afianzan una marcada dificultad en este tema, cuando se asume, en las relaciones de indeterminación un problema con los aparatos de medida y no con la naturaleza de los objetos cuánticos (Sinarcas y Solbes, 2013)

¿Qué deducción puedes realizar del ejemplo descrito anteriormente, en qué caso es significativa la relación de indeterminación?
¿Qué implicaciones puedes deducir de las relaciones de interminación?



Comentarios profesorado: La pregunta relacionada con las implicaciones de las relaciones de indeterminación deberá ser complementada por el docente, ya que la intencionalidad es llevar al estudiante a la deducción de la imposibilidad del conocimiento “simultáneo” de la posición y de la cantidad de movimiento y por ende la pérdida de noción de trayectoria en el caso del electrón y demás objetos cuánticos y reiterar los límites de validez de la Física Clásica (Solbes y Sinarcas, 2010). Estas deducciones son fundamentales para comenzar a trabajar el concepto de orbital.

En este espacio de trabajo, se puede introducir imágenes, los memes, aforismos, al igual que las caricaturas, como un recurso didáctico, tanto en la construcción de los conceptos, como en la evaluación de los mismos. Presentar imágenes como las anteriores, o mejor aún, proponer a los estudiantes que ellos mismos las diseñen, permite que ellos propongan explicaciones a los fenómenos o identificar los errores que en ellas se puedan encontrar. Lo que se pretende con las imágenes es que los estudiantes, puedan evidenciar errores que se presentan en las representaciones de dualidad, para el primer caso, que no se trata de que el electrón cuando es visto se comporta de una o de otra manera. Para la segunda imagen, el error que se busca que los estudiantes determinen es que la dualidad no se trata de una partícula que cabalga sobre una onda, sino de un objeto cuántico con propiedades diferentes.

Cómo crees que se sentiría Newton, Aristóteles, ¿cómo se sintió el mismo Einstein, cuando se plantea la idea de que la luz, los electrones y en sí el átomo tiene un comportamiento cuántico? Bien Aristóteles siempre se incomodó con este tipo de ideas y a mí también me parecen un tanto complicadas y mira que soy un filósofo común, ¿pero qué tiene que ver esto con el átomo?



Aparece en escena, otro científico, Schrödinger; quien propone una explicación matemática al átomo, ya no con modelos y analogías que han sido muy útiles, pero que tenían muchas limitaciones al ser probadas experimentalmente. Después de que de Broglie propuso la naturaleza ondulatoria de la materia en 1924, lo que implicaba que toda materia tenía una onda asociada a ella, es generalizada por Erwin Schrödinger en 1926, es decir Schrödinger propone una ecuación para esa onda, se descarta la idea de los electrones como esferas diminutas con carga que giran en torno al núcleo.

¿El átomo y sus electrones descrito por una ecuación matemática?, la ecuación de Schrödinger, pero, ¿cómo una ecuación puede describir el átomo?



Comentarios profesorado: *Presentar la ecuación de Schrödinger, puede ser complicado, teniendo en cuenta los preconceptos que los estudiantes tengan al respecto, es por ello que se hizo énfasis y necesario distinguir las características de los fenómenos ondulatorios y corpusculares y las ecuaciones de los mismos. Una alternativa para presentar la ecuación puede ser, utilizar la ecuación de energía para una onda. Se sabe que la ecuación clásica para la energía total de una partícula puede describirse como:*
$$E = \frac{p^2}{2m} + U.$$

El primer término representa la energía cinética y el segundo la energía potencial. Hasta el momento se han descrito las ecuaciones clásicas, entonces es necesario trabajar con los estudiantes que así como las funciones que describen las ondas verifican la

ecuación de onda, Schrödinger presenta la ecuación para la función de onda $\psi(x, t)$ que describe un comportamiento ondulatorio de una partícula. Esta ecuación se deduce escribiendo:

$$E = i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$$

$$p^2 = -\hbar^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2}$$

que son operadores que actúan sobre la función de onda $\psi(x, t)$ de manera que la ecuación clásica de la energía se expresa como:

$$i\hbar \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} + V(x, t)$$

Pues bien, la ecuación describe a aquellos objetos cuánticos, es decir ni partículas ni ondas clásicas, está se determinará como una función de onda o de estado ψ , Schrödinger aplica dos conceptos fundamentales la conservación de energía y la formulación matemática del concepto de onda, se describe a los electrones por medio de una función de onda. En 1926 Born da una interpretación probabilística a la ecuación, en la que el cuadrado de la función de onda, representa la probabilidad de presencia del electrón en una región delimitada del espacio.

La complejidad matemática para resolver la ecuación para átomos poli-electrónicos es tal, que por ello que se plantearon dos tareas, la primera resolver la ecuación para un electrón y la segunda determinar donde se encuentran los electrones en el átomo de hidrógeno.

Para la primera tarea se mostró que los valores posibles de energía del electrón dependían de un número entero n en la forma: $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ donde toma valores desde 1 hasta el infinito. Este resultado indica que la energía está cuantizada, es decir, toma valores enteros y constituyen los niveles energéticos.



Los niveles de energía del átomo se reflejan en la tabla periódica como periodos, explica que características tiene cada periodo y pinta la tabla periódica de tal manera que estos sean evidentes.

Comentarios profesorado: En este escenario, es importante destacar que los números cuánticos son consecuencia directa de la solución de la ecuación de Schrödinger y se definen como el conjunto de valores numéricos los cuales dan soluciones aceptables a la ecuación de onda de Schrödinger para el átomo de hidrógeno. Los números cuánticos son valores enteros o semi-enteros que identifican el estado de un sistema físico tal como un átomo, un núcleo a una partícula subatómica. Los principales números cuánticos para los electrones confinados en un átomo, indican la energía del estado y la probabilidad de encontrar los electrones a diferentes distancias del núcleo. No existe una única manera de determinar la cantidad de números cuánticos que son necesarios para describir un sistema, solamente un completo análisis del mismo permitirá establecer la cuantía de éstos números que mejor describe el estado cuántico del sistema.

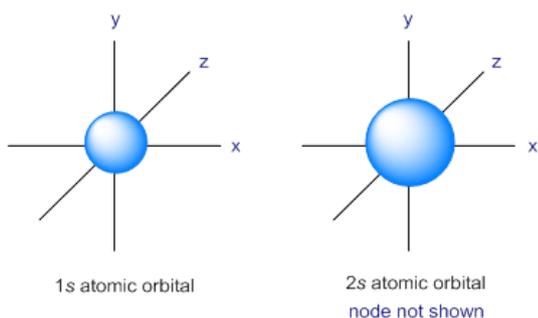
Los números cuánticos son consecuencia directa de la solución de la ecuación de Schrödinger y se definen como el conjunto de valores numéricos que caracterizan las soluciones aceptables a la ecuación asociada al átomo de hidrógeno. En general, para un sistema no es posible determinar de manera única la cantidad de números cuánticos que son necesarios para describirlo, solamente un completo análisis del mismo permitirá establecer la cuantía de estos que mejor describe el estado cuántico del sistema.

El orbital atómico como la función de estado, caracterizado por tres números cuánticos que establecen la información del electrón, y ¿dónde quedo mi idea de átomo y la de Dal



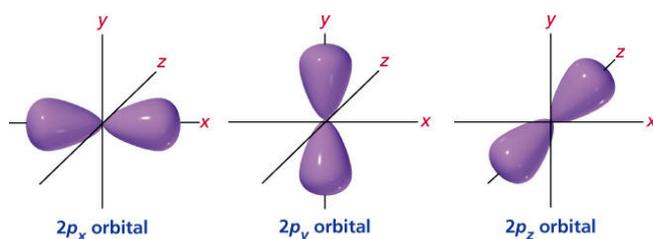
Comentarios profesorado: Normalmente e incluso en los libros de texto, se relaciona el orbital atómico como una región del espacio en la que existe la probabilidad de encontrar el electrón. Es necesario que el docente no relacione la idea de espacio, independiente del electrón y se plantee únicamente como la función de onda del electrón.

Nuevamente con calma, el número cuántico principal determina la energía, el nivel en que habría la probabilidad de encontrar el electrón. Toma valores enteros sencillos, normalmente se toma como 1, 2, ... 7, incluso 8. El número cuántico secundario (l) toma valores desde $n-1$, entonces si $n=1$, $l=0$, si $n=2$, $l=1$, se ha determinado una convención $0=s$, $1=p$, $2=d$, $3=f$.



Cuando $n=1$, existe una solución, el cuadrado de esta, por la interpretación de Bohr, corresponde a una esfera.

<https://nptel.ac.in/courses/104103071/module1/lec1/6.html>



Cuando $n=2$ existen 4 soluciones, una esfera y tres figuras en forma de 8, de igual tamaño, pero diferente orientación, una a lo largo del eje x , otro a lo largo del eje y , el otro en el eje z , estas tres con idéntica energía.

[https://sites.google.com/site/modelosatomicos/palacios/orbitales-atomicos-werner-](https://sites.google.com/site/modelosatomicos/palacios/orbitales-atomicos-werner-heisenberg)

[heisenberg](#)

Cuando $n=3$ existen 9, al igual que el anterior, una esfera, las tres en forma de 8 pero con mayor energía y cinco más, igualmente estas últimas con idéntica energía entre sí.

Cuando $n=4$, se encontrarán las mismas que en 3, pero con mayor energía y 7 más.

Los electrones configuran estas disposiciones, es decir dependen del electrón, son los orbitales atómicos y fueron clasificados por tipos: s , p , d , f .

Pero sólo con los números cuánticos de Schrödinger no se puede explicar el número de electrones en cada nivel y, en consecuencia, el sistema periódico. Para ello 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 . El mismo año Uhlenbek y Goudsmit sugirieron que un electrón se comporta como una esfera giratoria, al igual que los planetas que giran sobre su eje. Esta propiedad se denominó espín del inglés "spin" que significa girar sobre sí mismo.

Comentarios profesorado: Los números cuánticos son valores enteros o semienteros que identifican el estado de un sistema físico tal como un átomo, un núcleo o una partícula subatómica. Los principales números cuánticos para los electrones confinados en un átomo, indican la energía del estado y la probabilidad de encontrar los electrones a diferentes distancias del núcleo.

Número cuántico principal (n): especifica la energía del orbital en el que se encuentra el electrón. El valor de n de incrementa desde su valor más bajo, $n=1$, hasta valores permitidos $n=2,3,4\dots$ de manera que la energía de los correspondientes orbitales también se incrementa. Los orbitales atómicos son designados por una combinación de números y letras que representan propiedades específicas de los electrones asociados con los orbitales. Un electrón $1s$ ocupa el nivel de energía más cercano al núcleo. Las letras s, p, d, f designan la forma del orbital.

Número cuántico orbital (l): es un número asociado con los estados de energía del átomo. En contraste con la mecánica clásica donde la órbita de un electrón asumiría valores continuos, el momento angular cuántico esta cuantizado, es decir, toma valores discretos. Si el número cuántico n define los niveles de los electrones, el número l divide cada nivel en n subniveles consistente de electrones con el mismo número cuántico principal.

Número cuántico magnético (m): es un número asociado con el momento angular del estado cuántico. Para un número cuántico de momento orbital l existe $2l+1$ número cuánticos magnéticos enteros m que van desde -l hasta l

Cómo vez este nuevo hallazgo, confronta la idea de un electrón que gira sobre su eje, con la descripción del electrón como un objeto cuántico.



El electrón no es una esferita o partícula clásica y, por tanto, el espín es una propiedad intrínseca de las partículas, como la masa y la carga. De acuerdo a la mecánica cuántica, un electrón posee dos estados de espín, que se representan por las flechas hacia arriba o hacia. Los únicos valores que puede tomar m_s son dos, iguales y opuestos : $+1/2$ y $-1/2$. Estos valores no dependen de los valores de n, l o m. Si dos electrones tienen el mismo valor de m_s , se dice que tienen los espín paralelos. Si los valores de m_s difieren, se dice que están apareados. Es una propiedad que tienen todas las partículas y que permite clasificarlas en dos tipos: los fermiones con espín semientero ($s= 1/2, 3/2, 5/2\dots$), como e, p, n o los núcleos de A impar y bosones, con espín entero ($s= 0,1,2\dots$), como los fotones o núcleos de A par.

Comentarios profesorado: es necesario que se justifique la introducción del espín, para la explicación del número de electrones en cada nivel y en consecuencia del sistema periódico (Solbes y Sinarcas, 2010). Por otra parte, la historia de la ciencia, nuevamente puede ser un excelente recurso didáctico en el sentido de explicarle al estudiante el origen de la palabra espín y cómo esta palabra ha generado errores conceptuales, en este aspecto se puede partir de la biografía de Wolfgang Pauli.



¿Qué implicaciones tiene este principio en la distribución electrónica?

Comentarios profesorado: En el desarrollo de los ejercicios de distribución electrónica en química, se acostumbra a graficar en cuadros o en círculos los orbitales atómicos, teniendo en cuenta los desarrollos anteriores, es importante trabajar con el estudiante que estas abstracciones pueden ser necesarias, pero que es necesario comprender también sus limitaciones. Es mejor que utilicen $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^{14} 5d^{10} 6p^6 7s^2 5f^{14} 6d^{10} 7p^6$ ya que el método de los cuadros o círculos recuerda al "orbital estantería" mencionado anteriormente.



Compara el enunciado anterior con el esquema para la distribución electrónica.

Desarrolla la distribución electrónica del $\text{Na} = 11$ y explica ahí la información sobre la distribución de los electrones.

Ubica en la tabla periódica las zonas y las regiones. ¿Qué conclusiones puedes hacer de esta relación?

Comentarios profesorado: Permite interpretar las semejanzas en las propiedades químicas de los elementos de un mismo grupo (o columna), ya que todos sus elementos tienen el mismo número de electrones en su última capa. Por ejemplo, en la 1ª columna (grupo de los alcalinos o del Litio Li) todos los elementos tienen un electrón en la última capa que ceden fácilmente. En la penúltima columna (grupo de los halógenos o del Fluor F) a todos les falta un electrón para completar la última capa y, por tanto, tienden a capturarlo. Los elementos de la última columna (los gases nobles) tienen capa completa y por tanto son muy estables, poco reactivos. También pueden justificar la longitud de los periodos (o filas), a partir del número de electrones que completan cada capa: 2, 8, 8, 18, 32... La explicación de la tabla periódica se ha considerado como uno de los mayores éxitos de la teoría Cuántica.

Pauling, un químico muy importante que además de ganar el premio nobel en 1954 por sus trabajos en torno la naturaleza de los enlaces químicos y su aplicación a la estructura de sustancias complejas, recibió además el Premio Nobel de la Paz en 1962, en reconocimiento por sus esfuerzos por buscar un tratado de proscripción de pruebas nucleares. "La única política sensata para el mundo es la de eliminar la guerra" (Pauling en su discurso de aceptación del premio Nobel de la Paz 1962). Pauling desarrolló un método para calcular las electronegatividades relativas de la mayoría de los elementos. La electronegatividad de un elemento, es una medida de la tendencia de un átomo a atraer los electrones del enlace cuando está químicamente combinado con otro átomo. Los elementos con electronegatividad alta, tienen más tendencia para atraer los electrones del enlace que los elementos con electronegatividad baja. La electronegatividad de un elemento, se mide respecto de la del otro elemento (es un concepto relativo).



¿Cual es el elemento más electronegativo de la tabla periódica, puedes relacionar esto con su estructura? Realiza la misma confrontación con el Francio.



Con base en el anterior, representa la distribución electrónica del nitrógeno.

Tuviste dificultad con el nitrógeno, en $2p^3$, pareciera que se pudieran presentar al menos dos posibilidades, pero ¿cuál de las dos es la correcta? Pues bien, la Regla de Hund, que se puede aplicar a átomos, iones o moléculas, y que establece que: los electrones ocupan los orbitales de un subnivel dado en forma individual, antes que se inicie el apareamiento.

Dicho de otro modo. La distribución más estable de electrones en los subniveles será aquella que tenga el mayor número de espines paralelos.



Con base en lo anterior, evalúa el ejercicio realizado. Ahora podrías realizar cualquier distribución electrónica, que tal el fósforo y cloro.

La regla de Hund, está probablemente asociada con los efectos de repulsión entre los electrones. Hay mayor repulsión electrónica cuando los dos electrones configuran el mismo orbital que cuando están en orbitales separados.

Comentarios profesorado: *los ejercicios planteados para trabajar desde la distribución electrónica hacia la comprensión del ordenamiento periódico, permiten no solo la relación que es consecuente entre la estructura atómica y la tabla periódica, sino que confiere al estudiante sentido del ordenamiento periódico, se propone que los estudiantes manejen tanto la tabla periódica como esquemas que le permitan relacionar las propiedades de los elementos por periodos y por grupos.*

En la etapa final de la secuencia, es necesario retomar los puntos clave de los conceptos que se ha desarrollado. De igual manera, es el espacio para estructurar las aplicaciones de la mecánica cuántica y con el fin de generar un cierre y a la vez una retroalimentación se propone realizar una feria con tres escenarios distintos:

- *Un primer escenario que puede ser a manera de poster, donde se ubique un álbum fotográfico de los premios Nobel referenciados en el desarrollo de la unidad.*
- *Teniendo en cuenta que se creó un correo electrónico en el que los estudiantes escribían una misiva, se realiza la exposición de las respuestas que se hicieron a dichas inquietudes, para ello con la ayuda de los estudiantes se realiza las personificaciones.*
- *Los estudiantes podrían realizar stand en el que se presenten aplicaciones tecnológicas de todo el proceso relacionado con la estructura atómica de la materia, tales como avisos luminosos, láser entre otras.*

Referencias

- Armstrong, H. (1996) "Introducción a la filosofía antigua". Eudeba. Buenos Aires.
http://www.sagradorazon.edu.ar/web/sexta_elect_a/Filosofia/IntroFilosofiaAntigua.pdf
- Cano, M. (2009) "Elemento, sustancia simple y átomo: tres conceptos problemáticos en la enseñanza y aprendizaje significativo de conceptos químicos". *Revista Educación y Pedagogía*, 17(43), 177-193.
- Domènech, J. L., Martínez Torregrosa, J. y Savall, F. (2013). ¿Los modelos atómicos de Thomson y Rutherford que se presentan habitualmente en las clases se corresponden con sus aportaciones? *Enseñanza de las Ciencias* 31 (1), pp. 29-43
- Feynman, R. (1971). *Física 1. Mecánica, radiación y calor*. México: Addison Wesley Longman.
- Fischler, H. y Lichtfeldt, M. (1992). Modern Physics and Students' Conceptions. *International Journal of Science Education* 14 (2), pp. 181-90.
- Gadamer, H. (2001), *El inicio de la sabiduría*. Barcelona: Paidós.
- Jonnaert, P (2001), "Competencias y socioconstructivismo. Nuevas referencias para los programas de estudios", Texto de apoyo a la Segunda Conferencia Anual de Inspectores de la Enseñanza Media, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 18-22
- Lozano, O.R. y Solbes, J. (2014). *85 experimentos de física cotidiana*. Barcelona: Grao.
- Lévy-Leblond, J. M. (2002). *Conceptos contrarios o el oficio de científico*. Barcelona. Tusquets.
- Moreno, L. (2018). Los modelos atómicos en los libros de texto, *Alambique*, Didáctica de las ciencias experimentales. número 93. Pp.18-25
- Savall F., Domènech J. L., Martínez Torregrosa J. (2013b). La introducción del concepto de fotón en bachillerato. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(2), 2404.
- Silva, I. (2011). *Indeterminismo en la naturaleza y mecánica cuántica*. Pamplona, Cuadernos de Anuario Filosófico, Serie Universitaria.
- Sinarcas, V. y Solbes, J. (2013): «Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la física cuántica en el bachillerato». *Enseñanza de las ciencias*, núm. 31(3), pp. 9-25. Disponible en línea en: DOI: 10.5565/rev/enscien/v31n3.768.
- Solbes, J., (1990), La crisis de la física clásica y el surgimiento de la moderna en la investigación didáctica, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), pp179-181.
- Solbes, J. (2013): «Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (II): Ejemplos». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, núm. 10(2), pp. 171-181.
- Solbes, J., (2018). El modelo cuántico del átomo: Dificultades de su comprensión y Propuestas para su enseñanza. *Alambique, Didáctica de las ciencias experimentales*. No. 93. Pp.26-3
- Solbes, J.; Silvestre, V.; 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*, núm. 24, pp. 83-105. Disponible en línea en: <http://roderic.uv.es/handle/10550/21173>. [Consulta: mayo de 2018.]
- 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, pp. 123-151.
- Solbes, J.; 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*, núm. 23(1-2), pp. 57-85. Disponible en línea en: <http://roderic.uv.es/handle/10550/35014>.

Referencias bibliográficas

- Kuhn, T. (1962- 2011) *La estructura de las revoluciones científicas*. México, Fondo de cultura económica, pag. 44.
- Lopes, C. (2009) Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica. Tese de Doutorado em História da Ciência da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

7. Resultados para Contrastar la Segunda Hipótesis

Teniendo en cuenta que en la segunda hipótesis se establece que la UD contribuye a superar dificultades conceptuales en la enseñanza y aprendizaje, se realizó un planteamiento en el que en primera instancia se aplicó el mismo cuestionario de estudiantes utilizado con el grupo control en el diseño experimental de la primera hipótesis, como pre-test y como post-test del grupo experimental, conformado por los estudiantes de la IEM Pedagógico de grado PN15y los estudiantes del Instituto Champagnat, descritos anteriormente (Figura 4) . Con el fin de realizar una evaluación cualitativa del proceso, se realizaron 10 entrevistas a estudiantes que participaron en la intervención, 5 de ellos, además colaboraron con la personificación de los distintos científicos.

En cuanto al profesorado, se contó con la colaboración de tres docentes de las instituciones mencionadas, una licenciada en química y biología con área mayor química, un licenciado en química y un químico, quienes acompañaron el desarrollo del proceso y con quienes se mantuvo un diálogo constante, a ellos se les solicitó la realización de una entrevista de valoración cualitativa una vez finalizado el trabajo con la UD.

A continuación, se presentan los resultados de diferentes pruebas estadísticas hechas al total de estudiantes implicados en el estudio ($n = 200$). En este sentido, es necesario definir estadística como una serie ordenada de métodos de recolección, organización presentación, análisis e interpretación de datos numéricos (Daniel, 1999). Para ello, es necesario la tabulación de los datos y su mecanización, mediante el paquete informático SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*), utilizado para la investigación en Ciencias Sociales (Gil, 2015).

SPSS es una herramienta de tratamiento de datos y análisis estadístico, que permite correlación de datos y variables, establecer la fiabilidad de los instrumentos y un análisis detallado de la información recolectada. El SPSS permite realizar análisis estadístico básico, así como análisis avanzados, especialmente para la comparación de grupos, que en este caso se hace en dos dimensiones, se compararon los resultados obtenidos por el mismo grupo en el pre-test con respecto al post-test y de dos grupos diferentes: los resultados del post-test con los resultados del grupo control.

Además, este programa calcula la significación asintótica, que es la probabilidad de que el estadístico de prueba tome un valor igual o superior al muestral bajo el supuesto de que

la hipótesis nula es cierta. Al calcular la significación asintótica bilateral (p), se parte de que cuando ésta toma valores inferiores a 0,05, existen diferencias significativas entre los grupos, lo que permite descartar que las diferencias entre los grupos se deben al azar, el nivel máximo de error es de 5 %. El procedimiento estadístico de análisis depende de: el tipo de medida de la variable a analizar; la distribución que caracteriza las mediciones de las variables, la capacidad de aceptar o rechazar, correctamente, la hipótesis nula (Pett, 1997).

Al determinar que efectivamente hay diferencia significativa, no se establece la magnitud de la misma, no es posible determinar si esa diferencia que se ha producido entre los grupos es grande o pequeña; para ello se considera conveniente determinar el tamaño del efecto para cada caso. El tamaño del efecto es un indicador complementario a la significación estadística, se define como el grado de generalidad que posee esa superioridad de A sobre B en la población de la que se obtuvo la muestra estudiada (Cohen, 1992). Es decir, si los resultados obtenidos después de la intervención son realmente mejor que sin el desarrollo de la Secuencia Didáctica. No es suficiente con identificar la ocurrencia del efecto, se requiere adicionalmente determinar su magnitud o tamaño (Cohen, 1990, 1992b).

7.1 Comparación de las puntuaciones obtenidas en los grupos pre-test y post-test. Prueba de la homogeneidad marginal

En este apartado se presenta el resultado de la prueba de homogeneidad marginal (tabla 55), que es una prueba no paramétrica realizada, con el fin de comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas en cada uno de los ítems del pre-test y el post-test, y de esta manera, contrastar la segunda hipótesis.

De igual manera, se presentan los resultados del cálculo del tamaño del efecto para cada uno de los ítems (tabla 55). Se calculó con el parámetro V de Cramer: donde χ^2 corresponde al estadístico chi cuadrado, N es el número de observaciones (número de pre y post) y df son los grados de libertad que en este caso es 3, menos 1 (anexo 5).

Tabla 56. Prueba de homogeneidad marginal

	Item1	Item2	Item3	Item4	Item5	Item6	Item7	Item8	Item9	Item10	Item11	Item12
Sig. Asintótica (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
Tamaño del efecto	0,41	0,44	0,45	0,39	0,43	0,43	0,33	0,35	0,34	0,36	0,35	0,34

La tabla 56 presenta una diferencia estadísticamente significativa entre los resultados obtenidos para cada uno de los ítems de cuestionario en el pre y en post-test, la diferencia es positiva, los resultados del post-test, aplicado una vez culminó el desarrollo de la Secuencia Didáctica son mejores, que los resultados obtenidos en el pre-test. Lo anterior se establece por cuanto, si el valor-p es menor o igual que el nivel de significación deseado, que en este caso es 0,05 se rechazará H_0 , tal como se aprecia en la tabla para cada ítem se obtuvo un valor de ,000, lo que confirma una diferencia estadísticamente significativa.

Los resultados obtenidos con respecto al tamaño del efecto se comparan con la escala para el efecto calculado con la V de Cramer:

Pequeño: 0,07,
Medio: 0,21
Grande: 0,35.

Este cálculo es complementario a la significación estadística. Estimar el tamaño del efecto se relaciona con el grado de validez que tienen los hallazgos de la investigación (Cohen, 1988; Grissom y Kim, 2012). El tamaño del efecto se ha descrito como la mínima diferencia que se acepta como relevante dentro de una investigación (Prajapati, Dunne y Armstrong, 2010). Con respecto a los valores obtenidos para el tamaño del efecto, corresponden a un tamaño del efecto grande (excepto en los ítems 7,9,12 que es medio), estos valores confirman la diferencia estadísticamente significativa que se describe tanto con la prueba de homogeneidad marginal, como en las tablas de contingencia y comparación de porcentajes que se describen a continuación, el valor del tamaño del efecto indica la fuerza de dicha significancia (Cohen, 1992).

Calcular el tamaño del efecto resulta muy importante, pues una prueba de significación estadística que no vaya acompañada de dicho cálculo pudiera carecer de los parámetros necesarios para juzgar la importancia del hallazgo (Castro y Martini, 2016), que en este caso permite reconocer una distancia significativa para cada ítem entre el pre- y el post-test. Lo cual se verá detalladamente a continuación.

7.1.1 Tablas de contingencia.

Las tablas de contingencia son el resultado del análisis estadístico realizado en el programa SPSS. Se interpretan como un cuadrado de tres por tres, en el que los resultados sobre la diagonal indican mejora y lo que está por abajo en el triángulo inferior izquierdo de la tabla implicaría un retroceso en el proceso, al ser respuestas que empeoraron. Se calcula

una tabla por cada ítem, permiten tener información adicional para describir los patrones que siguen los estudiantes (Castañeda, Cabrera, Navarro, y De Vries, 2010).

Definición de partícula.

Tabla 57. Tabla de contingencia para el ítem No. 1

		p1-post			Total
		0	1	2	
P1-pre	0	14	23	63	100
	1	9	14	70	93
	2	0	1	6	7
Total		23	38	139	200

La tabla de contingencia para el ítem 1 (tabla 57), muestra que 23 estudiantes que en el pre-test obtubieron una valoración de: 0, una vez realizada la intervención, mejoran a una valoración de 1 en el pos-test; de igual manera, 63 estudiantes en el pre-test obtubieron una valoración de 0 ahora alcanzan una valoración de 2, lo cual constituye un gran avance. Ahora bien, de 70 estudiantes que en el pre-test tienen una valoración de 1, en el pos-test alcanzan una valoración de 2. Se observa un leve retroceso en 9 estudiantes que en pre-test tienen 1 y bajan a una valoración de 0 y un estudiante que en el pre-test tiene 2 baja a 1.

Definición de Onda.

Tabla 58. Tabla de contingencia para el ítem No. 2

		p1-post			Total
		0	1	2	
P1-pre	0	10	35	84	129
	1	2	20	46	68
	2	1	0	2	3
Total		13	55	132	200

La tabla de contingencia para el ítem 2 (tabla 58), permite establecer 35 estudiantes que en el pre-test obtubieron una valoración de: 0, una vez realizada la intervención mejoran a una valoración de 1 en el pos-test; así mismo, 84 estudiantes en el pre-test obtubieron una valoración de 0 ahora alcanzan una valoración de 2. Por otra parte, de 46 estudiantes que en el pre-test tienen una valoración de 1 en el pos-test alcanzan una valoración de 2. Se observa que

un estudiante que en pre-test recibe una valoración de 1 y baja a una valoración de 0. Lo anterior, permite deducir que en este ítem se generó un cambio significativo en las respuestas de los estudiantes.

El ítem 1 y 2, corresponde a una introducción, en la que inicialmente se caracterizan los fenómenos corpusculares y ondulatorios, para que los estudiantes reconozcan sus diferencias. Es importante destacar que, los conceptos referidos a los fenómenos ondulatorios se trabajan en la asignatura de física. Así, con estas preguntas se reafirman lo planteado por Zollman, Rebello y Hogg (2002), sobre la importancia de tener claros conceptos de la física clásica para aprender Teoría Cuántica. Confusiones en conceptos de física clásica dificultan el aprendizaje de la Teoría Cuántica.

Palabras asociadas a cuántica.

Tabla 59. Tabla de contingencia para el ítem No. 3

		p1-post			Total
		0	1	2	
P1-pre	0	25	74	76	175
	1	1	10	13	24
	2	0	0	1	1
Total		26	84	90	200

La tabla de contingencia para el ítem 3 (tabla 59), muestra que 74 estudiantes que en el pre-test obtubieron una valoración de: 0, mejoran a una valoración de 1 en el pos- test; también, 76 estudiantes en el pre-test obtubieron una valoración de 0, ahora alcanzan una valoración de 2, lo cual constituye un gran avance. De igual manera, de 13 estudiantes que en el pre-test tienen una valoración de 1 en el pos-test alcanzan una valoración de 2. No se registran estudiantes que retrocedan en el proceso.

Estos resultados son importantes, por la naturaleza de la pregunta, los estudiantes comentaron despues de la aplicación del pre-test que en alguns ocasiones escucharon hablar de cuántica, pero en series de televisión o en películas, situación que se aprovechó en el desarrollo de la UD, para superar algunas ideas previas erróneas.

Crisis de la física clásica

Tabla 60. Tabla de contingencia para el ítem No. 6

		p1-post			Total
		0	1	2	
P1-pre	0	75	37	83	195
	1	0	0	4	4
	2	0	0	1	1
Total		75	37	88	200

La tabla de contingencia para el ítem 4 (tabla 60), muestra que, 37 estudiantes que en el pre-test obtubieron una valoración de: 0, mejoran a una valoración de 1 en el pos-test; de igual forma, 83 estudiantes en el pre-test obtubieron una valoración de 0 ahora alcanzan una valoración de 2, siendo muy importante, teniendo en cuenta la naturaleza de la pregunta; por otra parte, 4 estudiantes que obtuvieron una valoración de 1 pasan a 2. En esta pregunta en el pre-test, prácticamente el 98 % de los estudiantes no podían dar respuesta.

Las tablas de contigencia para el ítem 3 y 4, son evidencia de que no se trabaja esta temática, pero que es necesario promover el acercamiento de los estudiantes colombianos a la TC, incluso por cultura científica (Moreno y Guarín, 2010). Por otra parte, esta pregunta busca demostrar la importancia de una alfabetización en ciencias (Coll, 2012) y, en este campo, que como en todos los niveles del desarrollo científico, afecta a la sociedad en general. De igual manera, estos resultados coinciden con los del Savall (2015), quien concluye que los estudiantes no relacionan los hechos que ponen de manifiesto la crisis de la física clásica.

Definición de electrón.

Tabla 61. Tabla de contingencia para el ítem No. 5

		p1-post			Total
		0	1	2	
P1-pre	0	34	52	69	155
	1	1	14	29	44
	2	0	0	1	1
Total		35	66	99	200

La tabla de contingencia para el ítem 5 (tabla 61), permite ver que 52 estudiantes que en el pre-test obtubieron una valoración de 0, una vez realizadas la intervención mejoran

a una valoración de 1 en el pos-test; de igual manera, 69 estudiantes en el pre-test obtubieron una valoración de 0 ahora alcanzan una valoración de 2. Además, 29 estudiantes que en el pre-test tienen una valoración de 1 en el pos-test alcanzan una valoración de 2.

Pese a que hay un avance significativo, esta pregunta obtiene resultados similares en el pre-test y con el grupo control, lo que enfatiza un problema conceptual que no solo está asociado a la TC, incluso en la concepción clásica del electrón las respuestas de los estudiantes denotan confusión. Si bien, la persistencia de errores conceptuales está demostrada en los procesos de enseñanza aprendizaje (Villarreal, Lobo, Gutiérrez, Briceño, Rosario y Díaz, 2005), no puede considerarse sencillamente como un error más. La noción de electrón es fundamental en la enseñanza de la química, de él se deriva no solo estructura de la materia, sino teoría de enlace, nomenclatura, estequiometría, todo tiene que ver con esta noción, por tanto, que los estudiantes lo sitúen en el núcleo o la asignen carga positiva genera una necesidad importante de que se revise la enseñanza. En la UD se dió especial relevancia a la enseñanza del electrón desde su descubrimiento e implicaciones en la divisibilidad del átomo, hasta llegar a su concepción como objeto cuántico.

Definición de Fotón.

Tabla 62. Tabla de contingencia para el ítem No. 6

		p1-post			Total
		0	1	2	
P1-pre	0	37	33	107	177
	1	3	3	16	22
	2	0	0	1	1
Total		40	36	124	200

La tabla de contingencia para el ítem 6 (tabla 62), muestra que los estudiantes generaron un cambio estadísticamente significativo, por cuanto 33 estudiantes que en el pre-test obtuvieron una valoración de: 0, una vez realizadas la intervención mejoran a una valoración de 1 en el pos- test, así también, 107 estudiantes en el pre-test obtuvieron una valoración de 0 ahora alcanzan una valoración de 2. De igual manera, de 16 estudiantes que en el pre-test tienen una valoración de 1 en el pos-test alcanzan una valoración de 2. Solo tres estudiantes que en el pre-test tienen valoración de 1, bajan a 0.

Los resultados obtenidos, corroboran lo planteado por Saval et al. (2013b) en torno a que, es escasa en la educación secundaria un correcto abordaje de la noción de fotón, pero a la

vez, ratifica que una enseñanza desde el efecto fotoeléctrico contribuye a superar esta dificultad.

Niveles de energía.

Tabla 63. Tabla de contingencia para el ítem No. 7

		p1-post			Total
		0	1	2	
P1-pre	0	104	32	54	190
	1	2	3	5	10
Total		106	35	59	200

La tabla de contingencia para el ítem 7 (tabla 63), en primera instancia muestra que en el pre-test no hubo estudiantes que alcanzaran una valoración de 2, por tanto, 32 estudiantes que obtuvieron inicialmente una valoración de 0 avanzaron a 1; por otra parte, 54 estudiantes en el pre-test obtuvieron una valoración de 0, ahora alcanzan una valoración de 2, lo cual es muy significativo. Llama la atención que 104 estudiantes se mantuvieron en una valoración de 0 y por último 2 estudiantes que en el pre-test obtuvieron una valoración de 1 bajaron a 0 en el pre-test.

En este aspecto, es importante destacar que los docentes describieron que esta temática se explica con el uso de analogías clásicas y tal como lo explica Kalkanis et al. (2003), son trasladadas a los estudiantes. Situación que se hace evidente en el pre-test, los estudiantes trabajaron esta temática asociada al átomo de Bohr en grado sexto, donde no se ha explicado que los niveles de energía “no tienen en sí mismo una existencia física real” (Oliva, Aragón, Mateo y Bonat, 2001).

Relaciones de indeterminación.

Tabla 64. Tabla de contingencia para el ítem No. 8

		p1-post			Total
		0	1	2	
P1-pre	0	100	26	70	196
	1	0	0	3	3
	2	1	0	0	1
Total		101	26	73	200

La tabla de contingencia para el ítem 8 (tabla 64), muestra que los estudiantes generaron un cambio estadísticamente significativo, pues 26 estudiantes que en el pre-test obtuvieron una valoración de: 0, una vez realizada la intervención, mejoran a una valoración de 1 en el pos- test; así mismo, 70 estudiantes en el pre-test obtuvieron una valoración de 0, ahora alcanzan una valoración de 2, lo cual constituye un gran avance. Ahora bien, de 3 estudiantes que en el pre-test tienen una valoración de 1 en el pos-test alcanzan una valoración de 2. Se presenta un estudiante que en el pre-test obtuvo una valoración de 2 y tuvo un retroceso a 0. De igual manera, 100 estudiantes se mantienen en 0.

Nuevamente, se evidencia lo planteado por Giribet (2005), en el sentido de que enfrentarse por primera vez a las relaciones de indeterminación puede generar confusiones, por el carácter contra intuitivo de dichas relaciones. Por otra parte, es necesario recalcar, que uno de los problemas enunciado por otras investigaciones (Sinarcas y Solbes, 2013) es justamente la comprensión de esta temática.

Orbital atómico.

Tabla 65. Tabla de contingencia para el ítem No. 9.

		p1-post			Total
		0	1	2	
P1-pre	0	91	26	70	187
	1	5	1	6	12
	2	0	0	1	1
Total		96	27	77	200

La tabla de contingencia para el ítem 9 (tabla 65), muestra cambio estadísticamente significativo, puesto que 26 estudiantes que en el pre-test obtuvieron una valoración de: 0, una vez realizadas la intervención mejoran a una valoración de 1 en el pos-test; seguidamente, 70 estudiantes en el pre-test obtuvieron una valoración de 0, ahora alcanzan una valoración de 2, lo cual constituye un gran avance. De igual manera, de 6 estudiantes que en el pre-test tienen una valoración de 1, en el pos-test alcanzan una valoración de 2. Y 5 estudiantes bajan su valoración de 1 a 0 en el post-test.

Los resultados estadísticos son positivos, sin embargo, 91 estudiantes no avanzan y es que la noción de orbital es problemática en la enseñanza de la estructura del átomo, al considerar al orbital como un lugar físico donde “poner” al electrón. Situación descrita desde

sus primeros trabajos del 1987 hasta la actualidad, por Solbes y colaboradores, como un problema asociado con la enseñanza.

Número Cuántico.

Tabla 66. Tabla de contingencia para el ítem No. 10

		p1-post			Total
		0	1	2,00	
P1-pre	0	94	28	77	199
	1	0	0	1	1
Total		94	28	78	200

La tabla de contingencia para el ítem 10 (tabla 66), muestra que no se presentaron valoraciones de 2 en el pre-test, además, 28 estudiantes que en el pre-test obtuvieron una valoración de: 0, una vez realizadas la intervención mejoran a una valoración de 1 en el pos-test, de igual manera 77 estudiantes en el pre-test obtuvieron una valoración de 0 ahora alcanzan una valoración de 2.

Relación entre número cuántico y tabla periódica.

Tabla 66. Tabla de contingencia para el ítem No.11

		p1-post			Total
		0	1	2	
P1-pre	1	101	40	58	199
	2	0	0	1	1
Total		101	40	59	200

La tabla de contingencia para el ítem 11 (tabla 66), muestra que en el pre-test no hubo estudiantes que alcanzaron una valoración de 0, de ahí que los estudiantes que generaron un cambio estadísticamente significativo se representa en: 40 estudiantes que en el pre-test obtuvieron una valoración de: 0, una vez realizadas la intervención mejoran a una valoración de 1 en el pos-test; de igual manera, 58 estudiantes en el pre-test obtuvieron una valoración de 0 ahora alcanzan una valoración de 2. Es importante mencionar que 101 estudiantes permanecen con una valoración de 0.

Para las tablas del ítem 10 y 11, se evidencia un avance significativo. Pero, es un tema que requiere de atención especial, más de 90 estudiantes permanecen sin progreso, trabajar los tres números cuánticos desde la ecuación de Schrödinger exige un nivel de

abstracción mayor y la persistencia de ideas alternativas, se puede explicar por el papel determinante de las experiencias físicas cotidianas, el lenguaje cotidiano (Carrascosa, 2005) y los modelos que el estudiante construye para sí mismo. Sin embargo, su vinculación con la distribución electrónica, se vuelve más operativa y, por tanto, los estudiantes lo aceptan mejor.

Dibulo del átomo.

Tabla 67. Tabla de contingencia para el ítem No. 12.

		p1-post			Total
		0	1	2	
P1-pre	0	56	29	46	131
	1	16	9	44	69
Total		72	38	90	200

La tabla de contingencia para el ítem 12 (tabla 67), muestra que los estudiantes no lograron en el pre-test una valoración de 2, por tanto, una vez desarrollada la UD, hay un cambio estadísticamente significativo, denotado por cuanto: 29 estudiantes que en el pre-test obtuvieron una valoración de 0 mejoran a una valoración de 1 en el pos-test; así mismo, 46 estudiantes en el pre-test obtuvieron una valoración de 0, ahora alcanzan una valoración de 2, lo cual constituye un gran avance. De igual manera, de 44 estudiantes que en el pre-test tienen una valoración de 1 en el pos-test alcanzan una valoración de 2. Se observa un retroceso en 16 estudiantes que en pre-test tienen 1 y bajan a una valoración de 0.

El análisis de este ítem y los resultados obtenidos permiten evidenciar que el modelo atómico de Bohr prevalece por su atractivo visual sobre lo abstracto del modelo cuántico (Bucher, 2008); los estudiantes sienten mayor confianza para graficar el átomo, aunque sean cocientes de los problemas de trayectoria, órbitas y escala. Desde esta perspectiva, los estudiantes se quedaron con un modelo, que ya los científicos descartaron, pues, una de las actividades principales de los científicos es evaluar cuál, de entre dos o más modelos, explica de mejor manera un determinado fenómeno (Chamizo, 2010). En este caso, es comprensible porque algunos autores se manifiestan en contra de la enseñanza del modelo de Bohr, tal es el caso de Fischler y Lichtfeldt (1992).

Los resultados obtenidos en este ítem, tanto en el grupo control, como en el pre-test y post-test, constituye un problema conceptual, los estudiantes no comprenden que existen

distintos niveles de descripción de la materia y trasladan la imagen del nivel macroscópico al nivel microscópicos (Furio y Furio, 2000).

7.2 Comparación de las medias globales entre el pre-test y pos-test. Prueba de Wilcoxon

De los resultados obtenidos se puede establecer que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las puntuaciones globales del pre-test y del post-test, lo cual confirma la segunda hipótesis. La significación asintótica bilateral obtenida menor de 0.05 así lo confirma. Lo anterior evidencia que los estudiantes al no haber trabajado la temática, el nivel de respuestas correctas era supremamente bajo, sin embargo, el desarrollo de la Secuencia Didáctica y el trabajo realizado durante 12 sesiones, permitió que los estudiantes pudieran mejorar los resultados en el post-test.

Se calculó además el tamaño del efecto, para lo cual se utiliza el coeficiente de correlación, r , aplicando la siguiente expresión:

$$r = \frac{Z}{\sqrt{N}}$$

Z: Valor del estadístico, en este caso 12,201 se toma valor entero absoluto.

N: Número de observaciones, que en este caso es de 400 Suma de muestras de los dos grupos que se comparan (Field, 2009; Fritz, Morris y Richler, 2012). El valor obtenido es de 0,61 de donde se infiere que el tamaño del efecto es grande (Coolican, 2009, Field, 2009). Lo anterior, teniendo en cuenta el valor de la muestra (Cohen, 1998).

7.2.1 Comparación de las puntuaciones globales de los grupos post-test tratado y control-post. Prueba U de Mann-Whitney.

Con el fin de generar un proceso completo de contrastación de la hipótesis, se seleccionó un grupo control, conformado por 105 estudiantes, al que se le denominó “Grupo control”, que como se describió antes, corresponde a estudiantes de dos instituciones educativas, una pública y otra privada que han desarrollado la temática, por tanto, la comparación es post. De igual manera, se aplicó la prueba de K-S a los dos grupos, y los resultados indican que no siguen una distribución normal. Por tanto, no se puede utilizar la prueba *t de Student* para grupos independientes, se utiliza la alternativa no paramétrica: la U de Mann-Whitney.

La prueba de U de Mann-Whitney se aplica para muestras a comparar que provienen de grupos distintos, en este caso grupo control y el grupo de intervención, de ahí que el análisis busca establecer si existe una diferencia estadísticamente significativa con respecto a los conceptos que relacionan los estudiantes después del desarrollo de la secuencia didáctica y los estudiantes del grupo control.

La significación asintótica bilateral es menor que 0,05 lo cual significa que existe una diferencia estadísticamente significativa, entre los resultados globales del grupo con el que se desarrolló la UD y el grupo control que, aunque también desarrolló la temática, no fue según el diseño de esta investigación.

El tamaño del efecto para este caso es de 0,605. Este valor resulta del desarrollo de la ecuación

$$r = \frac{Z}{\sqrt{N}}$$

Z: Valor del estadístico, en este caso 10,570.

N: Número de observaciones, que en este caso es de 305 Suma de muestras de los dos grupos que se comparan, 200 del grupo de intervención y 105 del grupo control. El valor obtenido evidencia que el tamaño del efecto es grande (Coolican, 2009, Field, 2009).

7.2.2 Comparación de medias.

Se realiza, además, una comparación entre las medias del grupo control, del pre-test y del post- test.

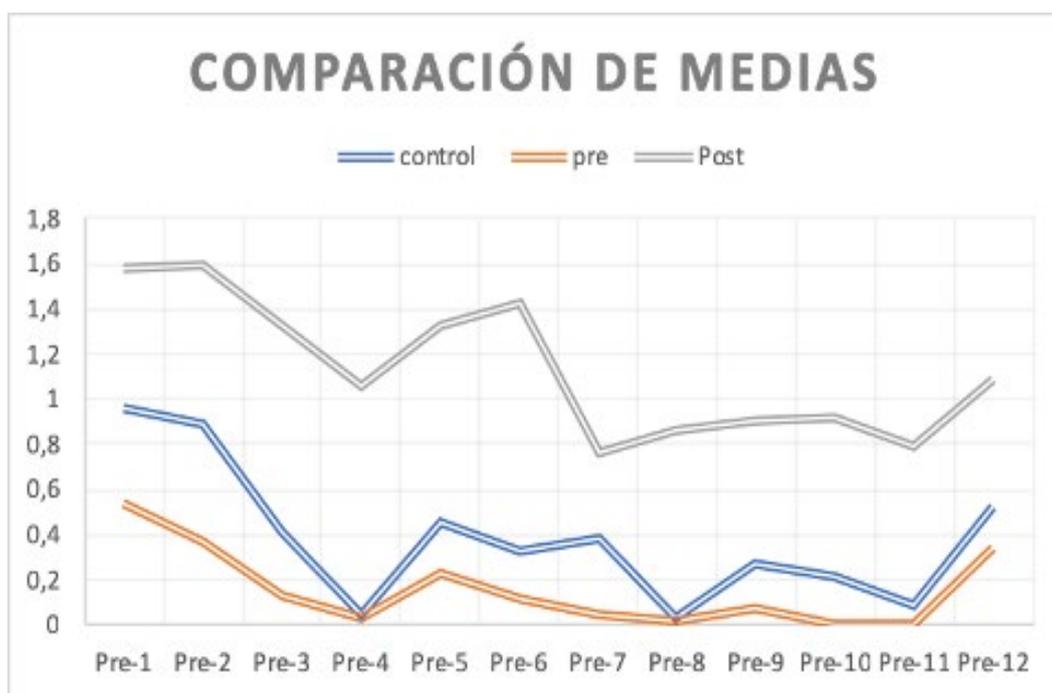


Figura 28. Representación de las medias del grupo control, pre-test y post-test.

La Figura 28, muestra cómo las líneas se extienden por el gráfico manteniendo la forma en el pre-test y en el post-test, pero, fundamentalmente se aprecian sensibles diferencias entre el grupo control y el pre-test con respecto al post-test, lo que confirma la segunda hipótesis, pues hay una variación significativa en los resultados de las medias en cada uno de los ítem, tanto del grupo control (grupo que había trabajado la temática), así como los resultados del Pre-test, con respecto a los resultados obtenidos en el Post-test, tras el desarrollo de la secuencia de enseñanza.

7.2.3 Descripción detallada por categorías de cada ítem.

A continuación, se describe lo que ha sucedido en cada ítem detallando las respuestas.

Ítem No. 1. ¿Cómo definiría una partícula?

La Tabla 55 muestra los resultados obtenidos por los estudiantes en los cuestionarios pre-test y post-test.

Tabla 68. Resultados obtenidos Ítem No.1. Comparación pre-test y post-test.

Categoría	Valor	Pre	Post
Explican como una porción de materia, de masa m, localizada en el espacio e incluso se describe por las leyes de Newton.	2	3.5 %	69.5 %
Explica como algo diminuto, pero lo relaciona con masa.	1	46.5 %	19 %
No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.	0	50 %	11.5 %

La tabla anterior muestra que, si bien en el pre-test se obtuvo un 50 % entre repuestas correctas y parcialmente correctas, ese porcentaje mejoró después en el post-test a un 88.5 %. Las respuestas del post-test demuestran un mayor grado de elaboración, descartando aquellas que caracterizan la partícula simplemente por el tamaño.

Es importante señalar que en Pre: se encuentran respuestas que asocian la partícula a un micro-organismo (CHP1) y en el post, la respuesta para este ítem es: “es un fragmento muy pequeño que contiene propiedades químicas”. O, por ejemplo: “es algo que conforma todo lo que está a nuestro alrededor” (sic), estudiante que en el post evoluciona a “aquella que posee materia y masa” (CH49).

Ítem No.2. ¿Cómo definiría una onda?

La Tabla 69 muestra los resultados obtenidos por los estudiantes en los cuestionarios pre-test y post-test.

Tabla 69. Resultados obtenidos Ítem No. 2. Comparación pre-test y post-test.

Categoría	Valor	Pre	Post
Se explica como una vibración que se propaga en el espacio y transporta energía (pero no materia) de forma continua.	2	1.5 %	66 %
Da un ejemplo o sencillamente lo asocia a una perturbación.	1	34 %	27.5 %
No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.	0	64.5 %	6.5 %

La Tabla 69 permite evidenciar, el avance en las respuestas dadas por los estudiantes con respecto a la definición de onda. En el pre-test los estudiantes básicamente asociaron la respuesta a un ejemplo cotidiano específicamente el sonido, algunos realizaron un dibujo representativo del concepto. En el post-test las repuestas correctas determinan el concepto bajo dos aspectos fundamentales que son: la perturbación y el transporte de energía y no de materia. Incluso el estudiante CHP4 que en el pre-test no responde a la pregunta, en el post-test escribe: “Perturbación que no transporta masa, su parte más alta es la cresta y su parte más baja el valle”.

Las respuestas del post-test valoradas como correctas recalcan que la onda no tiene masa. Este hecho permite establecer que el objetivo de introducir la temática con la definición de onda y partícula se cumplió, pues en el caso de partícula los estudiantes le asignan la masa y en el caso de la onda, justamente establecen que no tiene masa, fundamental para trabajar luego la noción de dualidad.

Ítem No. 3. Enuncie cinco palabras que asocie con cuántica.

La Tabla 70 muestra los resultados obtenidos por los estudiantes en los cuestionarios pre-test y post-test.

Tabla 70. Resultados obtenidos Ítem No. 3. Comparación pre-test y post-test.

Categoría	Valor	Pre	Post
Se buscaron palabras como: probabilidad, indeterminación, quantum, electrón, fotón, espectro, estado.	2	0.5 %	45 %
Relacionaron dos o tres palabras de las descritas anteriormente.	1	12 %	42 %
No da ninguna explicación u relaciona palabras como cantidad, número o espiritualidad, conciencia, etc.	0	87.5 %	13 %

Esta es una de las preguntas que en el pre-test tiene el mayor porcentaje de respuestas en blanco, los estudiantes no podían relacionar palabras con cuántica, más allá de las que asociaban a películas o series. Sin embargo, en el post-test no solo se relacionan palabras como aquellas descritas en el indicador, sino que surgen nuevas palabras orbital o nombres de los científicos que ellos consideran realizaron aportes significativos en este campo.

Las palabras que en el post-test tienen una mayor predominancia son: probabilidad, indeterminación, electrón y fotón. Algunos estudiantes en el post-test relacionaron la palabra “complejo”, “inexplorable”, “enigma” o “radiación”, que si bien no están dentro del indicador demuestran interés en el desarrollo de la temática. Por otra parte, una palabra que es reiterativa tanto en el pre- como en el post-test es “diminuto” o “pequeño”.

Por ejemplo: CHP149 en el pre-test responde: “número, átomo, universo, tabla periódica”, y en el post-test “enigma, número cuántico, quantum, onda-partícula, cuantizada”. CHP63 en el pre-test no da respuesta a la pregunta, sin embargo, en el post-test responde: quantum, onda partícula, incertidumbre, Planck y luz”. CHX71 en el post-test escribe: protón, electrón, Schrödinger, ecuación”, lo que permite ampliar el abanico de palabras que los estudiantes pueden asociar.

Ítem No. 4. ¿Conoce algunos hechos que se relacionen con la crisis de la física clásica?

La Tabla 71 muestra los resultados obtenidos por los estudiantes en los cuestionarios pre-test y post-test.

Tabla 71. Resultados obtenidos Ítem No. 4. Comparación pre-test y post-test.

Categoría	Valor	Pre	Post
Relaciona al menos tres de los siguientes hechos: el efecto fotoeléctrico, los espectros atómicos, la radiación del cuerpo negro o la catástrofe del ultravioleta, la inestabilidad del átomo de Rutherford.	2	0.5 %	44 %
Relaciona uno o dos de los hechos descritos anteriormente	1	2 %	18.5 %
No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.	0	97.5 %	37,5 %

Esta pregunta, al igual que la anterior es una de las que menos repuestas tuvo, ni correctas, ni incorrectas, los estudiantes desconocían estos hechos, este es uno de los aspectos más significativos con el desarrollo de la secuencia didáctica, pues este hallazgo es congruente con lo evidenciado por los docentes, al no dar importancia al quiebre entre la ciencia clásica y la teoría cuántica. Si en la enseñanza no se aborda la teoría cuántica, ni se hace diferencia entre los modelos clásicos, precuántico y cuántico, los estudiantes no pueden asociar los eventos que pondrían en evidencia la crisis de la mecánica clásica, ni siquiera se imaginaban que la ciencia pudiera estar en crisis o no pudiese explicar eventos específicos.

Este es un logro muy importante, no solo desde la historia de las ciencias, sino de la manera como ahora el estudiante podría asumir una posición epistemológica crítica frente a la ciencia y su construcción. Para esta temática se utilizó además del material de trabajo, videos y algunas prácticas experimentales sencillas, lo que permitió captar el interés de los estudiantes. lo que se ve reflejado en las respuestas que se obtienen en el post-test, en el que se evidencia un cambio muy significativo.

Los hechos que se enumeran en el post-test son básicamente: el efecto fotoeléctrico, los espectros atómicos y en menor porcentaje la inestabilidad del átomo de Rutherford. Un muy pequeño porcentaje de estudiantes asociaron la crisis de la mecánica clásica la divisibilidad del átomo o al descubrimiento del electrón, este tipo de respuestas denotan la relevancia dada por los estudiantes a la divisibilidad del átomo, puesto que prevalece en ellos la idea de átomo indivisible, pese al proceso de enseñanza previo.

Ítem No. 5. ¿Cómo definiría electrón?

La Tabla 72 muestra los resultados obtenidos por los estudiantes en los cuestionarios pre-test y post-test.

Tabla 72. Resultados obtenidos Ítem No.5. Comparación pre-test y post-test.

Categoría	Valor	Pre	Post
Componente fundamental y elemental del átomo, cargado negativamente y que no es ni una partícula clásica ni onda en el sentido clásico.	2	0.5 %	49.5 %
parte constitutiva del átomo que está en la periferia, tiene masa y carga negativa.	1	22 %	33 %
No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.	0	77.5 %	17.5

Como se ha enunicado anteriormente, de acuerdo con los estándares básicos de competencia establecidos por el MEN en Colombia, entre los grados sexto y séptimo de educación secundaria, los estudiantes deberían trabajar la estructura del átomo, por tanto, es preocupante que, en el pre-test, el porcentaje de respuestas correctas y medianamente correctas sea 22.5 %, denotando una gran confusión entre las partes y el mismo átomo.

Las respuestas tales como: "... es una mini partícula, o microorganismo cargado de energía" (CHP1), "una partícula o molécula que transporta una carga de energía específica" (CHP7), "Es una medida de energía" (CHP33), "partícula causada por el choque de cargas" (CHP84), "como una fuerza eléctrica tal vez o un elemento que contine diferentes niveles de energía" (CHP91), "es una energía positiva que jira (*sic*) alrededor del átomo", "es una carga positiva que gira alrededor del átomo" (CHP107), denotan una confusión muy importante, no hay claridad del electrón como componente del átomo, ni su carga, ni su ubicación fuera del núcleo del átomo. Más aún, en las respuestas no se evidencia una distinción mínima entre núcleo y periferia.

En el post-test, se evidencia un logro significativo, pues además de ubicar al electrón en la periferia con una carga negativa, se le confiere en algunos casos su comportamiento dual, situación que no se presentó en ninguna de las repuestas del pre-test. CHP1 contesta "es una partícula negativa y de estas partículas está formado el átomo", respecto a considerarlo un microorganismo es un claro avance.

CHP84: "unidad fundamental de carga negativa, que se encuentra en la periferia, masa pequeña". Dentro de aquellas respuestas que lo enuncian como un objeto cuántico se encuentran: "tiene masa, tiene carga negativa y es un objeto cuántico" (CHX2), "un objeto cuántico con masa, parte del átomo con carga negativa" (CHX5), "es un objeto cuántico con carga negativa y tiene masa" (CHX6).

Algunos estudiantes denotan cierta confusión al explicar el comportamiento dual del electrón, pero el avance significativo está en considerarlo como parte del átomo, con carga negativa y masa.

Ítem No. 73. ¿Cómo definiría el fotón?

La tabla 73 muestra los resultados obtenidos por los estudiantes en los cuestionarios pre-test y post-test.

Tabla 73. Resultados obtenidos Ítem No.6. Comparación pre-test y post-test.

Categoría	Valor	Pre	Post
Paquete o cuanto de energía que constituye la luz (radiación electromagnética), sin masa (se propagan con velocidad c), ni carga y que, al igual que el electrón, no es ni una partícula clásica ni una onda clásica. Cuanto de luz.	2	0.5 %	62 %
Partícula de la luz.	1	11 %	18 %
No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.	0	88.5 %	20 %

En este concepto se logró un avance muy significativo, mientras que en el pre-test en 88.5% de los estudiantes no dieron respuesta o su respuesta era incorrecta, en el post-test el 80% ofrecen respuestas que explican el fotón como un cuanto de luz, las respuestas se centran en que es un paquete de luz, que no tiene materia y presenta un comportamiento dual.

Por ejemplo. CHX2: “no tiene masa, se asocia con la energía, es un objeto cuántico”, CHX5: “un objeto cuántico, sin masa, usualmente relacionado con la luz”, CHX6: “es un objeto cuántico que no tiene masa y es un paquete de luz”, la respuesta de CHX39 es un buen ejemplo del logro del objetivo de asumir los objetos cuánticos como objetos nuevos con un nuevo comportamiento: “se comporta (objeto) como partícula y como onda pero no es ninguna de las dos o sea algo nuevo.=cuanto o quantum”, al igual que CHX42: “es una combinación de onda y partícula pero no es ninguno de los dos, es una nueva especie y no tiene masa”.

Algunas respuestas incorrectas en el post-test están determinadas por decir que se trata de un objeto contrario al electrón o asignarle una carga determinada.

Ítem No. 7 ¿Cómo explica los niveles de energía en el átomo?

La Tabla 74 muestra los resultados obtenidos por los estudiantes en los cuestionarios pre-test y post-test.

Tabla 74. Resultados obtenidos Ítem No.7. Comparación pre-test y post-test.

Categoría	Valor	Pre	Post
Son estados de energía donde se puede encontrar los electrones.	2		29.5 %
Espacio alrededor del núcleo en el que se encuentran los electrones, está conformado por subniveles.	1	5 %	17.5 %
No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.	0	95 %	53 %

La tabla muestra un avance significativo, en las respuestas correctas del post-test con respecto al pre-test, pues se pasa de 0% a 29.5%. De igual manera, es significativo el descenso del 95% de estudiantes que no dieron ninguna respuesta o su respuesta era incorrecta a un 53% del post-test. En este aspecto, uno de los aspectos relevantes es la prevalencia de la imagen del átomo de Bohr y la analogía del sistema planetario, tal como se enunció antes.

Esta prevalencia de la imagen y de la analogía del sistema planetario coincide con las explicaciones que los docentes hacen con respecto a los niveles de energía, pese a que este tema debería ser nuevo en el grado décimo que es en el que se desarrolla la estrategia, en grados inferiores como el séptimo se ha trabajado el modelo de Bohr, lo cual se convierte en un obstáculo para algunos estudiantes al momento de construir la noción de nivel de energía.

Las imágenes y las explicaciones que se abordan en los libros de texto también son congruentes con este hallazgo. Las respuestas del post-test permiten determinar que los estudiantes asumen la idea de 7 niveles de energía, la cuantización de la energía.

Ítem No. 8 ¿Cómo explica el principio de incertidumbre (Relaciones de Indeterminación) de Heisenberg?

La Tabla 75 muestra los resultados obtenidos por los estudiantes en los cuestionarios pre-test y post-test.

Tabla 75. Resultados obtenidos Ítem No.8. Comparación pre-test y post-test.

Categoría	Valor	Pre	Post
Establece la imposibilidad de medir de manera simultánea y con precisión absoluta la velocidad y la posición del electrón.	2	0.5 %	36.5 %
Relacionar la imposibilidad de medir la velocidad y posición del electrón.	1	1.5 %	13 %
No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.	0	98 %	50.5 %

En el pre-test solo un 2 % de los estudiantes dieron una respuesta correcta o cercana a lo correcto, frente a un 49.5 % que en el post-test se encuentran en la misma situación. El desconocimiento de las relaciones de indeterminación que por convención se preguntó como principio de incertidumbre es explicable, pues se supone que en los grados anteriores al grado décimo no se aborda.

Las respuestas correctas asumen la imposibilidad de medir de forma simultánea la posición y la velocidad del electrón. Si bien, los estudiantes asumieron de mejor manera el comportamiento dual del electrón, llevar dicho comportamiento a las relaciones de indeterminación presenta mayor dificultad, lo cual también es comprensible y normal en un

proceso de enseñanza aprendizaje. Es también importante resaltar que en el aula de clase la participación de los estudiantes en el tema fue dinámica y enriquecedora, se fortalecen situaciones socio-científicas recalando situaciones de la vida de Heisenberg.

Ítem No. 9. ¿Cómo definiría orbital atómico?

La Tabla 76 muestra los resultados obtenidos por los estudiantes en los cuestionarios pre-test y post-test.

Tabla 76. Resultados obtenidos Ítem No.9. Comparación pre-test y post-test.

Categoría	Valor	Pre	Post
Función de onda o de estado que describe el comportamiento del electrón.	2	0.5 %	38.5 %
Probabilidad de encontrar al electrón en una determinada zona del espacio.	1	6 %	13.5 %
No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.	0	93.5 %	48 %

En el pre-test esta pregunta tiene un 93.5% de estudiantes que no dieron respuesta alguna. Sin embargo, en el post-test se logra un avance significativo, que va de 0.5% a un 38.5% de respuestas correctas. Estas respuestas como las de CHX105 “ da la solución da la ecuación de Schrödinger, región definida en el espacio tiempo”, CHX72: “es aquella que da solución a la ecuación de Ψ y da información del electrón”. En general las respuestas correctas o cercanas a lo correcto relacionan el concepto de orbital con la ecuación de Schrödinger, lo cual es un avance en el proceso.

Pero, es importante acotar que el concepto de orbital, fácilmente se traslada a la idea de órbita de Bohr y los estudiantes aún en el post-test retoman la idea de electrones que orbitan en líneas definidas alrededor del núcleo del átomo.

Ítem No. 10. ¿Cómo define número cuántico?

La Tabla 77 muestra los resultados obtenidos por los estudiantes en los cuestionarios pre-test y post-test.

Tabla 77. Resultados obtenidos Ítem No.10. Comparación pre-test y post-test.

Categoría	Valor	Pre	Post
Definidos como el conjunto de valores numéricos los cuales dan soluciones a la ecuación de onda de Schrödinger	2		38.5 %
Relaciona cuatro números cuánticos para explicar el átomo.	1	0.5 %	14 %
No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea	0	99.5 %	47.5 %

Se evidencia un avance muy importante de 0% a 38.5% en estudiantes que dan una respuesta correcta, al asumir los números cuánticos como valores producto de la solución de la

ecuación de onda, incluso en casos como el de CHX72, además, enuncia los tres números derivados de dicha ecuación. Otros estudiantes como CHX66, CHX68, CHX55, los explican simplemente como el resultado de la ecuación de Schrödinger.

Dentro de los estudiantes que se acercan a la respuesta correcta, se destaca la descripción de los números cuánticos como principal, secundario, magnético y el spin. Así como la posibilidad de dar información sobre el átomo. Es claro que este tema, requiere atención especial, tanto desde la didáctica necesaria para ser abordado en el nivel de secundaria, como el nivel de profundización requerido.

Ítem No. 11. ¿Qué relación hay entre números cuánticos y sistema periódico?

La Tabla 78 muestra los resultados obtenidos por los estudiantes en los cuestionarios pre-test y post-test.

Tabla 78. Resultados obtenidos Ítem No.11. Comparación pre-test y post-test.

Categoría	Valor	Pre	Post
los números cuánticos permiten establecer la configuración electrónica de los átomos que se verá reflejada en la tabla periódica, determinando los grupos y periodos de los elementos, zonas de elementos representativos (s y p), elementos de transición (d), lantánidos y actínidos (f).	2		29.5 %
describe que en la tabla periódica existen regiones relacionadas con los números cuánticos.	1	0.5 %	20
No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.	0	99.5 %	50.5 %

Nuevamente, se observa un avance significativo que va de un 0 % de respuestas correctas y un 0.5% de respuestas cercanas a lo correcto a un 29.5 % y 20 % respectivamente en el post-test. Este avance, se puede relacionar con el trabajo paralelo de estructura de la materia y tabla periódica, así como las explicaciones y ejercicios realizados desde los números cuánticos. CHX66 por ejemplo relaciona directamente la organización de la tabla periódica con los números cuánticos, CHX57: “gracias a los números cuánticos se saca la información del átomo y se verifica en la tabla periódica”, CHX69 relaciona los números cuánticos con la ubicación del elemento en la tabla periódica. Esta relación era inexistente antes de la intervención.

Ítem No. 12. Dibuje un átomo

La Tabla 79 muestra los resultados obtenidos por los estudiantes en los cuestionarios pre-test y post-test.

Tabla 79. Resultados obtenidos Ítem No.12. Comparación pre-test y post-test.

Categoría	Valor	Pre	Post
No dibuja el átomo explicando dificultades con la escala, o se dibujan orbitales	2		45 %
Dibuja como una nube con el núcleo en el centro o especifica sus partes, sin dibujarlo.	1	34.5 %	19 %
No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.	0	65.5 %	36 %

Un 64 % de los estudiantes responden de forma correcta o cercano a lo correcto en este ítem, lo cual constituye un avance importante. Es necesario recordar que, tanto en el control, como en el pre-test, los estudiantes recurrieron a la imagen tradicional y mediática del átomo, incluso se les dificultó realizar el dibujo. Sin embargo, en el post-test algunos estudiantes presentan graficos que relaciona los subniveles de energía, otros en cambio, decidieron no dibujar el átomo y explicar que debido a la escala no ven conveniente realizar un dibujo.

Dentro de este grupo se encuentran explicaciones como las de CHX149, en la que dice “no puede ser dibujado pues las proporciones de este serían muy difíciles de plasmar en un papel...”, o sencillamente CHX148 en las que explica que la periferia del átomo sería muy grande en proporción al núcleo, en este mismo sentido se encuentran explicaciones como las de CHX147, CHX136, CHX123, CHX84, solo para enumerar a algunos.

Por otra parte, es importante mencionar que prevalece en el 36% de los estudiantes la imagen del átomo de Somerfield y de Borh, tanto con órbitas o elipses que es la que de alguna manera se comercializa y se maneja cotidianamente. Las explicaciones de los estudiantes que relacionan la escala y el tamaño del átomo o las que grafican los subniveles de energía son un avance muy importante de la intervención realizada.

7.2.4 Evaluación cualitativa de la Secuencia Didáctica

El desarrollo de la secuencia didáctica, se evaluó de manera cualitativa, con la aplicación de entrevistas a docentes que participaron en el proceso de intervención, así como con los estudiantes, que además de desarrollar el test y pre-test respondieron a una entrevista. De igual manera, la observación dirigida de las actividades desarrolladas permitió concretar algunas acciones que permitieron una constante retroalimentación de la UD.

Entrevista a docentes.

Se aplicó una entrevista corta a los tres docentes que participaron a manera de observadores del desarrollo y aplicación de la UD. Para la presentación de los resultados se les asignó un código: EP1, EP2, EP3, sin que se diferencie institución ni género. A continuación, se presentan los resultados:

Entrevista 1.-

- Investigadora (Inv): Qué aspectos destaca de la UD.
- EP1: *Estudiar el átomo desde la física es novedoso para la comprensión de la estructura de la materia que desde la antigüedad se han planteado los seres humanos. Me gusta mucho las representaciones que hicieron los estudiantes con su guía. Me gusta que todo se haya trabajado desde la historia de las ciencias.*
- Inv: Con respecto al tiempo dedicado al desarrollo de la UD, qué observaciones puede hacer.
- EP1: *ese es un punto que preocupa, de pronto, por la manera como se realiza la planificación escolar en esta institución, es difícil dedicar mucho tiempo, pero me da cuenta que se pueden vincular los temas de tabla periódica y otros y eso hace que las cosas rindan un poco más.*
- Inv: Con respecto al material utilizado como guía, qué observaciones puede hacer.
- EP1: *es muy bueno y fácil de entender, se les entregó a todos los estudiantes, ojalá lo aprovechen todo, aunque a veces es difícil que lo aprovechen todos, pero es muy buen material, tiene todo y está a color a los chicos les llama la atención.*

Entrevista 2.-

- Investigadora (Inv):
- Qué aspectos destaca de la UD.
- Inv: Con respecto al tiempo dedicado al desarrollo de la UD, qué observaciones puede hacer.
- EP2: *Bueno, el tiempo es siempre un problema, pero el material que les entregó ayuda mucho, creo que eso también depende de cómo se desarrolle la planeación, para la próxima vez es bueno conocer las actividades con anticipación y poder ajustar a la planeación del periodo, pero en general no veo mayor problema, igual siempre hay muchas interrupciones con actividades extraclase.*

- Inv: Con respecto al material utilizado como guía, qué observaciones puede hacer.
- EP2: *Excelente, vincula al estudiante, cuando uno lo lee, lo atrae en la manera como es presentado, se ajusta muy bien a la forma de trabajo que se está desarrollando en la institución, como siempre, hay estudiantes que valoran más que otros, pero lo importante es que para todos y especialmente para mí es muy útil.*

Entrevista 3.-

- Investigadora (Inv): Qué aspectos destaca de la UD.
- EP1: *Desataco el enfoque desde la historia de las ciencias, la manera de trabajar con los estudiantes, desde lo que sabían, siempre muy participativos, las personificaciones me gustaron porque los estudiantes se metieron de verdad en el papel que les correspondía. A todos nos llamó más la atención la vida de Curie y de Heisenberg o sería que estaban mejor representadas. Las actividades en laboratorio desde el primer día, jugando con las ondas, la cubeta para la interferencia y luego eso relacionarlo con lo de los electrones, también me gustó lo de los memes, no es fácil ni hacerlos, ni valorarlos, ahí se ve quien aprendió y quien no. Cuando trabajaba esta temática no relacionaba a todos esos científicos que usted presentó y los estudiantes se motivaron mucho. Lo de las series de televisión y la película también, se aprende mucho así y los chicos participan.*
- Inv: Con respecto al tiempo dedicado al desarrollo de la UD, qué observaciones puede hacer.
- EP1: *Está más o menos acorde a lo que se había planeado, talvez se dedicó un poco más, pero creo que vale la pena, el problema es que ultimamente este tema no se pregunta en las pruebas de estado y eso como sea es un problema, porque uno debe enfatizar en los otros temas, como por ejemplo estequiometría.*
- Inv: Con respecto al material utilizado como guía, qué observaciones puede hacer.
- EP1: *Es muy útil y muy interesante, vincula al estudiante, para mí es una buena referencia de aquí en adelante, siempre he trabajado con los libros de texto y al parecer hay errores que yo no me había percatado, me gusta las actividades en que los estudiantes confrontan sus ideas y es como si fueran construyendo nuevos conceptos.*

Así como los docentes expresaron formalmente en las sencillas entrevistas, sus puntos de vista con respecto al trabajo desarrollado, de igual manera, se presentan a continuación algunos comentarios que hicieron los docentes a lo largo de la intervención, son comentarios espontáneos, pero que se sistematizaron en el diario de la investigadora:

- *Me gustan las preguntas del material, hacen pensar mucho al estudiante y no solo repetir, tienen como objetivo que el estudiante, piense, analice y se conecte. Hay temas que hace tiempo no trabajaba, pero ahora es como si se tratara de volver a pensar en esos temas (P2).*
- *Estoy aprendiendo nuevamente química, me gusta mucho la posibilidad de aprender o de recordar cosas que ya casi no me acordaba (P1).*
- *Genial lo del espectroscopio casero, los estudiantes no se cambiaban por nadie, les gustó mucho y a mi también, la verdad que no lo había trabajado (P3).*
- *Me gusta trabajar con videos, pero la verdad que no había pensado que podían tener errores, voy a trabajar el que recomiendas, también para verlos (P1).*

En general, los docentes manifestaron el interés por el desarrollo de la UD y la intención de aplicarlo en su trabajo de manera que se dé continuidad al proceso iniciado. Su participación fue activa y de acompañamiento en todas las actividades, sus comentarios son favorables para la UD, aunque es natural que se preocupen por el tiempo que pueda requerir el desarrollo de las actividades y la disposición de los estudiantes para las mismas.

Los estudiantes además de la aplicación tanto del pre como del post-test, se pronunciaron en entrevistas cortas, semiestructuradas que se aplicaron una vez finalizó la intervención, para conocer cómo se sintieron en el desarrollo de la UD:

Una vez finalizada cada sesión, se realizaron entrevistas cortas y semiestructuradas a estudiantes de las dos instituciones, a continuación se presentan 5 de estas:

Entrevista a Estudiante 1.

- Investigadora (Inv): *Cómo te sentiste en el trabajo desarrollado por la profesora?*
- EE1: *Me gusto, es diferente a lo que habíamos hecho, las actividades era como que nos tocaba pensar más.*
- Inv: *Qué actividades te parecieron más apropiadas?*

- EE1: *Casi nunca vamos al laboratorio y lo que hicimos, aunque fue poco era más divertido, por eso creo que lo de ver los espectros, eso me pareció muy chevere, también ver a mis compañeros disfrazado (sic), yo no lo haría, pero me gusto verlos a ellos.*
- Inv: Con respecto al material utilizado como guía, qué observaciones puedes hacer.
- EE1: *El material es bueno, no tengo que preocuparme por copiar y copiar, así es mejor.*

Entrevista a Estudiante 2.

- Investigadora (Inv): *Cómo te sentiste en el trabajo desarrollado por la profesora?*
- EE2: *Estaba bien, son actividades diferentes, a mí no me gusta mucho la química, porque es de memoria en algunos casos y ahora ibamos más al laboratorio o hacíamos las cosas en el curso, trabajando más tranquilos.*
- Inv: *Qué actividades te parecieron más apropiadas?*
- EE2: *Me parece bien lo de los videos y que nos expliquen que no todos los que uno encuentra son verdaderos, sino que hay errores, a mí eso me gusta, también lo del “resorte”, eso es muy bueno y fácil. Me gusto lo de hacer los memes, con mi grupo al comienzo pensamos que era muy fácil, pero nos dimos cuenta que no, que toca pensar mucho y nos tocó corregir.*
- Inv: Con respecto al material utilizado como guía, qué observaciones puedes hacer.
- EE2: *El material es bueno y cada uno tuvimos nuestro propio material, fácil de entender, parecía como un libro, pero más ameno.*

Entrevista a Estudiante 3.

- Investigadora (Inv): *Cómo te sentiste en el trabajo desarrollado por la profesora?*
- EE3: *Es bueno el trabajo, siempre nos hablaba como si fuera historia y eso es chevere, yo no me imaginaba algunas cosas de la vida de los científicos, eso es bonito. También me parece interesante pensar en lo del átomo y las aplicaciones, la tecnología, el láser, eso no lo sabía. Me gusta que lo que me enseñan tenga alguna aplicación, no solo sea teórico.*
- Inv: *Qué actividades te parecieron más apropiadas?*
- EE3: *A mí me gusto representar a Madame Curie, yo no estaba pensando en estudiar, pero creo que hay personas que les toca más duro y que salen adelante y yo también... eso me parece más chevere, me gusta un poco el teatro y lo pude hacer muy bien, ahora me dicen científica, eso es chevere.*

- Inv: Con respecto al material utilizado como guía, qué observaciones puedes hacer.
- EE3: *Es interesante, hay que leerlo más.*

Entrevista a Estudiante 4.

- Investigadora (Inv): *Cómo te sentiste en el trabajo desarrollado por la profesora?*
- EE4: *Fue bueno, hasta divertido, aunque toca leer más, pero si es más chevere porque no toca todo de memoria y uno puede participar más, me parece bien saber más de la vida de los científicos, yo no pensaba que se enamoraban y esas cosas, porque siempre les toca trabajar. Lo de la bomba atómica y lo Hitler bien loco, es como saber otras cosas que yo no me imaginaba.*
- Inv: *¿Qué actividades te parecieron más apropiadas?*
- EE4: *Lo de ver los espectros, además hay cosas que yo sabía que no son así, eso es más loco, lo de las propagandas de televisión y que salen los átomos y como si fuera un sistema solar, yo si lo imaginaba así, así me enseñaron y es más fácil de entender.*
- Inv: *Con respecto al material utilizado como guía, qué observaciones puedes hacer.*
- EE4: *Bueno, así no se copia tanto.*

Entrevista a Estudiante 5.

- Investigadora (Inv): *Cómo te sentiste en el trabajo desarrollado por la profesora?*
- EE5: *Bien, pero si es más exigente.*
- Inv: *¿Qué actividades te parecieron más apropiadas?*
- EE5: *Me gustó lo del laboratorio y cómo se veía las ondas en camara lenta y lo del láser, mejor dicho ir al laboratorio, así es mejor.*
- Inv: *Con respecto al material utilizado como guía, qué observaciones puedes hacer.*
- EE5: *Tiene todo y nos dieron a cada uno, eso es bueno.*

Con respecto al trabajo desarrollado, los estudiantes, tal como se evidencia en las entrevistas, manifiestan que el cambio de actividades es bueno, no solo la explicación en el tablero, el trabajo fuera del aula o en el laboratorio o simplemente el empleo de recursos que, si bien son sencillos de utilizar, dinamizan el proceso de construcción del conocimiento y es valorado positivamente por parte de los estudiantes.



Figura 29. Participación de estudiante en reflexión.

Además, los estudiantes se manifestaron en torno a que las actividades y preguntas que se realizaron los llevaban a la reflexión, lo cual les pareció mejor que la repetición de conceptos; en los comentarios realizados, asocian la enseñanza de la química con la memorización. Por otra parte, manifiestan la necesidad del trabajo en laboratorio, situación que los docentes inicialmente explican por la falta de elementos necesarios.

Una de las actividades que tuvo mayor impacto en los estudiantes, tanto en los que participaron como protagonistas, como en los observadores, fueron las personificaciones, porque involucran la parte personal de los científicos, y en muchos casos, los estudiantes desconocen estas situaciones. Por ejemplo, el papel de Heisenberg durante la Segunda Guerra Mundial, llevó a analizar series de televisión que se inspiraron en su nombre y cómo se adaptó el personaje.

Este hallazgo coincide con las investigaciones que concluyen en que, es necesario incentivar en los proceso de enseñanza-aprendizaje, los aportes referidos a la naturaleza de la ciencia y la construcción del conocimiento científico (Solbes y Sinarcas, 2009), pues facilita en los estudiantes un cambio de concepción en cuanto a cómo se hace ciencia, como trabajan los científicos, además promueve la reflexión acerca de la importancia de la MC como materia de estudio por su valor cultural (Cuesta y Mosquera, 2016).

En la institución oficial, una de las estudiantes escribió la siguiente nota (figura 30) , porque para ella fue especialmente inspirador no solo el trabajo realizado por la científica Madame Curie, sino aspectos de su vida personal.

He llamo mucho la atención haber interpretado a madam curie y el haber conocido su rol de vida, me trajo mucho de experiencia porque una gran mujer como madam curie luchó para conseguir sus sueños que apesar de todos los problemas que se cruzan nunca rindióse. me siento afortunada el haber conocido una gran científica. Además de eso tuve mucho mas conocimiento me genero mucha emoción e inspira la vida de madam curie porque su vida no fue para nada facil pero apesar de eso ella siguió luchando por sus sueños e incluso cuando perdio lo mas importante en su vida ella persiguió el sueño de los dos y como dicen uno aprende de cada experiencia y apesar de cada error en su vida ella llego a hacer una gran reconocida científica y aprendió que no debo rendirme porque se que se me van cruzar muchos obstaculos pero debo sobresalir y aprender de cada uno de ellos.

Figura 30. Nota escrita por una estudiante.

Conclusiones y Perspectivas

Tal como se ha descrito en este documento, la investigación en didáctica de las ciencias plantea no solo la pertinencia de enseñar la Teoría Cuántica en la educación secundaria, sino su necesidad para una enseñanza ajustada al desarrollo científico. Pese a que hace más de tres décadas en países como España, Argentina o Brasil se desató una importante reflexión en torno a si era pertinente y posible la enseñanza de la Teoría Cuántica en la educación secundaria, teniendo como resultado que en dichos países esta temática fuera parte de la propuesta curricular, en Colombia el tema apenas comienza a tratarse.

Los resultados de la investigación didáctica demuestran que más allá del formalismo matemático de la Teoría Cuántica, es posible una enseñanza crítica basada en la historia de las ciencias y con el desarrollo de prácticas experimentales que dinamicen el proceso. Existe en el contexto internacional una línea de investigación consolidada, que constantemente aporta a la enseñanza de la Teoría Cuántica. Sin embargo, en Colombia aún es tarea pendiente. Hace falta sobrepasar la línea de las investigaciones de maestría y ejercicios de investigación que, aunque son un buen semillero, requieren de una integración de grupos de investigación para consolidar esta línea. Las facultades de educación y en general los programas de formación de profesores deberían asumir esta tarea, no solo desde el desarrollo de eventos científicos, sino desde la estructuración de sus programas curriculares.

El problema formulado en esta investigación parte de la pregunta: ¿cómo se enseñan los conceptos básicos de estructura atómica de la materia en la educación secundaria colombiana y qué problemas produce esta enseñanza en los estudiantes? Para dar respuesta al mismo, nuestra hipótesis es que en Colombia la enseñanza de la estructura de la materia, es una enseñanza escasa, formalista y que no toma en cuenta la Teoría Cuántica, por tanto, contribuye a generar problemas en su aprendizaje.

Para constatar se realizó un análisis de cómo se enseña la EAM, en la legislación educativa (Estándares básicos de competencias, lineamientos curriculares, etc.), en los libros de texto y por el profesorado que la imparte. A continuación, se analiza las consecuencias de dicha enseñanza en el aprendizaje de la EAM por los estudiantes de décimo grado.

Para lograr una adecuada caracterización y basados en lo estipulado por el MEN en los *Estándares Básicos de Competencias*, se tomó la asignatura de química, impartida en grado décimo para el desarrollo de la investigación, bajo la premisa de que, enseñar estructura de la

materia, implica necesariamente abordar la Teoría Cuántica, para evitar la enseñanza de errores conceptuales, o que ésta fuera insuficiente, incompleta o simplemente descriptiva.

El análisis documental realizado permite concluir que, la ciencia moderna, específicamente representada en la Teoría Cuántica, no se encuentra señalada explícitamente en los documentos rectores de la enseñanza en la Educación Secundaria. A saber, los lineamientos curriculares proponen una enseñanza de las ciencias naturales interdisciplinar, integrales, con un enfoque “holístico” en el “mundo de la vida”. Sin embargo, se evidencia que no se referencia específicamente a la ciencia moderna y no se establecen logros específicos para esta temática. Por lo tanto, se presenta un primer problema: en el documento que constituye los “horizontes deseables” para la educación en ciencias de Colombia, la propuesta está descrita desde conceptos que abarcan hasta el siglo XVIII, de ahí que los docentes no tienen un punto de partida y base para modernizar su enseñanza.

La mención realizada en los lineamientos curriculares a Husserl y Kant como referentes de la experimentación y a los trabajos de Galileo, Mendel y Pasteur, sin desconocer su importancia, enfatiza la desactualización de los referentes de estos documentos y cuáles son las bases que el docente tiene para garantizar el cumplimiento de los objetivos de la educación. Además de estos aportes, se podría enfatizar en el papel que la experimentación cumple en el desarrollo científico y tecnológico actual.

Con respecto a los estándares básicos de competencia, como “Guía sobre lo que los estudiantes deben saber y saber hacer con lo que aprenden”, tampoco tienen una referencia clara a las ciencias modernas, específicamente la Teoría Cuántica que induzca o señale su enseñanza. Si bien de ellos se toma y se adaptan los estándares que relacionan la estructura de la materia, estos se encuentran establecidos para el grado sexto y séptimo, lo que conduce a una enseñanza limitada, ya que los estudiantes de estos grados no tienen las bases suficientes para abordar el modelo cuántico.

Con respecto a grado décimo y once, los estándares son ambiguos y demasiado generales. Tal como se encuentran planteados los estándares, se suponen un punto de partida mínimo para los docentes y su planeación curricular, por tanto, sería mejor que la enseñanza de la Teoría Cuántica, ligada a la química desde la estructura de la materia debería estar taxativamente señalada, esto, evitaría que sea potestativo de los docentes hasta donde llega la temática a desarrollar especialmente con los modelos atómicos y las relaciones conceptuales que parten de ello.

En un afán por actualizar y generar nuevos recursos para el docente, se establecieron los derechos básicos de aprendizaje, que como es lógico guardan coherencia con los lineamientos curriculares y los Estándares Básicos de Competencias, y aunque plantean rutas de enseñanza, la Teoría Cuántica no se encuentra descrita. Estos documentos están simplificados y no se abordan muchas otras temáticas, lo que nuevamente deja a los docentes con la posibilidad de retomar o no dichas temáticas.

Lo anterior nos lleva a concluir que los documentos referidos por el MEN, para la enseñanza de las ciencias en Colombia, marcan una brecha muy grande entre el conocimiento científico y su enseñanza. En términos de la Teoría de la Transposición Didáctica estaríamos hablando de un envejecimiento biológico. Los currículos para ciencias en Colombia están detenidos en el pasado y son fundamentalmente instrumentalistas, si bien se hace un esfuerzo para la contextualización de los saberes, el problema es que esos saberes especialmente en química, se quedaron en el siglo XIX.

Con respecto a los libros de texto, siendo estos los que consolidan los lineamientos y estándares para la enseñanza al reinterpretarlos y hacerlos prácticos para los docentes y estudiantes, se analiza cómo se presentan los modelos atómicos, si se hace o no desde un contexto histórico, con sus antecedentes y limitaciones, si en los libros de texto se refiere o no a las limitaciones de la física clásica, si se refiere o no al quiebre entre la ciencia clásica y la Teoría Cuántica y si es presentada en un nuevo marco de conocimientos en 18 ejemplares de las editoriales más utilizadas por los docentes y de circulación nacional, a partir de 1994, encontrando omisiones muy importantes.

Lo anterior, se constata en que la secuencia de estructura de la materia que se presenta en los libros de grado décimo, en la asignatura de química no aborda aspectos importantes. Los textos no hacen una presentación histórica del concepto de átomo, esta presentación es realizada de manera cronológica, acrítica y deja la idea que, de la noción filosófica de Demócrito se salta a la noción química de átomo de Dalton, como si la construcción de la ciencia fuese acumulativa, lineal y a partir de saltos abruptos.

Los modelos atómicos son presentados, también de forma cronológica y acrítica, pues no se enfatiza en los antecedentes y cómo estos constituyen el punto de partida para la construcción de un modelo, tampoco se presentan las limitaciones de cada uno de ellos ni se confrontan uno con otro. Este es un problema que además de limitar el conocimiento de cada uno de los modelos, recalca la imagen de una construcción de ciencia lineal y acumulativa, en la que un modelo supera al otro de forma sencilla, sin oposición alguna.

Otro aspecto que se constituye en un problema, es que en la mayoría de los libros de texto no se asume el quiebre entre la ciencia clásica y la Teoría Cuántica, al no desarrollar temas relacionados con el efecto fotoeléctrico, la catástrofe del ultravioleta, detallar la inestabilidad del átomo de Rutherford. Esto deriva en que no se presente la TC como una nueva teoría que requiere una lógica diferente, no se enfatiza en una nueva forma de entender la naturaleza, siendo este un objetivo fundamental para la enseñanza de las ciencias naturales en el nuevo contexto.

Si bien, los libros de texto abordan los espectros atómicos como antecedentes al modelo de Bohr, este trabajo no se relaciona con la crisis de la física clásica. Por tanto, nuevamente la ciencia es presentada de forma acumulativa, un conocimiento reemplaza a otro o simplemente lo complementa. Presentar la ciencia de forma lineal y acumulativa, nos pone frente a una posición epistemológica reduccionista, desconociendo los aportes de la investigación en ciencias a la didáctica.

Otro problema relevante, es la mezcla de las nociones cuánticas y clásicas en la explicación de los modelos y en especial de las nociones de nivel de energía y orbital, que terminan siendo presentados como una analogía a las órbitas de Bohr, o simplemente con el mismo concepto, pero cambio de denominación. La mayoría de los textos incluyen directamente la analogía del modelo de Bohr, con el sistema solar, incluso se presentan gráficas que así lo explican. Esta analogía es muy difícil de superar, los estudiantes e incluso los docentes, la utilizan para referirse al átomo, este error prevalece sobre las explicaciones del modelo cuántico.

Por otra parte, los libros no justifican la necesidad de introducir el modelo atómico cuántico, aunque lo aborden, consolidando lo manifestado anteriormente, de que no se hace ruptura entre la física clásica la teoría cuántica. Lo anterior, se explica por cuanto no abordan la dualidad de los objetos cuánticos, el electrón termina siendo descrito como una partícula con carga negativa y no se hace mención de otros objetos cuánticos. Esta restricción en la transposición que hacen los libros, nuevamente genera un vacío que se relaciona con otras nociones fundamentales de la Teoría Cuántica.

En ese orden de ideas, otro aspecto problemático es que, si bien un buen porcentaje de los libros introducen las relaciones de indeterminación (como Principio de Incertidumbre), es una somera alusión que no conlleva más de un párrafo, en el que se presenta de forma acrítica, prácticamente como un hecho anecdótico, al no derivarlo del comportamiento dual de los objetos cuánticos. Incluso en los textos que presentan las relaciones de indeterminación, se

encuentran errores importantes al asociarlas a problemas con los aparatos de medida, o no explicar que se trata de una restricción epistemológica derivada de la naturaleza ontológica de los objetos cuánticos.

De igual manera, un aspecto que sería muy sencillo es el de enfatizar en la simultaneidad de la restricción para lograr la determinación de la velocidad y posición del electrón, pero tampoco se profundiza y menos aún en la noción de que esta restricción se establece para dos magnitudes conjugadas y que, en cualquier caso, también podría aplicarse a otras magnitudes conjugadas como tiempo y energía.

Por otra parte, tanto los niveles de energía como los orbitales no se explican derivados de la ecuación de Schrödinger. Realmente, esta ecuación es referenciada en un mínimo porcentaje de los textos con una explicación aceptable. El resto de los libros o no la refieren o su explicación mezcla conceptos clásicos y cuánticos, o se hacen derivaciones matemáticas que en el afán por simplificar la explicación asume errores fundamentales. Finalmente, el concepto de espín es explicado muy someramente, como una rotación del electrón sobre su eje.

Lo anterior, evidencia que en los libros de texto de química grado décimo, la unidad de estructura de la materia no se presenta tomando como referencia conceptual la Teoría Cuántica, los conceptos y nociones fundamentales al respecto son abordadas de manera insuficiente, sin profundizar ni relacionar, se evidencia confusión, mezcla y yuxtaposición de nociones clásicas y cuánticas.

Con respecto a los resultados obtenidos con el cuestionario que se pasó a 71 docentes, se puede inferir que: efectivamente los libros de texto son un referente para el trabajo que desarrollan, la mayoría de los docentes los utilizan en la planeación escolar. Cabe resaltar, que los licenciados en ciencias naturales y educación ambiental, así como los profesionales no licenciados de otras áreas son los que más los utilizan. Esto se da porque los libros presentan además de la transposición de saberes, apartados que facilitan la planeación escolar, derivando estándares, proponiendo actividades e incluso formas de evaluación. Por tanto, los libros de texto permiten tener un panorama de la enseñanza.

Al confrontar con la práctica que los docentes desarrollan en esta temática, se les indagó sobre temas y estrategias de enseñanza relacionadas con la estructura de la materia, de donde se deriva que la Teoría Cuántica no es el eje conceptual para el desarrollo de esta temática. Lo anterior, se evidencia pues los docentes describen este tema como importante, pero la justificación está en aspectos netamente propedéuticos y su enseñanza se relaciona con

nociones clásicas tanto de los modelos atómicos, como en la noción de la discontinuidad de la materia.

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

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

Por otra parte, las respuestas frente a las preguntas sobre la importancia de enseñar el modelo cuántico, son ingenuas y más como un formalismo acrítico. Con respecto a la enseñanza de las relaciones de indeterminación y la dualidad de los objetos cuánticos, se deja ver nociones pseudocientíficas al relacionarlas con trascendencia o acción de energías. Lo anterior, confirma la primera hipótesis, la enseñanza de la estructura atómica de la materia en la educación secundaria es formalista, escasa y no tiene en cuenta la teoría cuántica como marco conceptual. Los docentes dan un énfasis a la enseñanza de aspectos simbólicos y de cálculos estequiométricos, frente a la estructura del átomo.

Con respecto a los conocimientos que relacionan los estudiantes con la estructura de la materia, por ejemplo, con onda y partícula, la primera solo relacionada con la idea de sonido, y la segunda con su tamaño, pero con una conceptualización muy básica, aún en estudiantes de grado once. Estos temas, sirven de base no solo como punto de partida desde los pre-saberes de los estudiantes, sino que, teniendo claro estos dos conceptos clásicos, se puede relacionar la naturaleza dual de los objetos cuánticos que se describen en la nueva teoría.

En el tema específico, se encontró que básicamente los estudiantes describen la noción del átomo de Bohr, tanto en los gráficos que dibujan, como en las explicaciones que dan a los

conceptos de electrón, nivel de energía y orbita, se evidencian confusiones importantes en el uso de estos conceptos, al tratarlos como sinónimos. Los dibujos realizados por los estudiantes se proyectan a imágenes comerciales y cotidianas del átomo, pero no se relaciona con conceptos aprendidos en el aula de clase.

Un problema importante es la confusión y falta de claridad en la estructura del átomo y electrón. El electrón no es descrito correctamente, ni siquiera en términos clásicos, se confunde la carga entre positiva y negativa e incluso su ubicación en la periferia y lo sitúan en el núcleo. Esto evidencia la poca importancia que atribuyen al tema y la imposibilidad de relacionarlos con otros conceptos. Estos resultados demuestran una enseñanza escasa e instrumentalista, basada específicamente en cálculos que luego los estudiantes solo repiten sin relacionar las nociones importantes.

Es especialmente relevante este hallazgo, pues si los estudiantes han trabajado ya la temática, incluso ya han desarrollado otras temáticas como enlace y tabla periódica no se explica cómo no tienen claridad sobre el electrón como parte del átomo, su carga negativa y las consecuencias de sus propiedades en las propiedades de las sustancias. Trabajar el concepto de enlace, el ordenamiento en la tabla periódica entre otros, sin la base conceptual del electrón, sin siquiera la noción clásica, es una omisión relevante en la enseñanza de la estructura de la materia.

De lo anterior, se deriva una imagen mecanicista de la química, su enseñanza y su presentación en los programas curriculares. Por lo tanto, los estudiantes relacionan cálculos con el desarrollo de la asignatura, pero no evidencian comprensión de nociones básicas, la estructura de la materia debería ser centro del proceso de enseñanza y aprendizaje en química. Como se ha descrito, los temas relacionados con tabla periódica, enlace tienen su basamento teórico en este campo y de ellos además se desprenden otros temas, cómo se puede comprender redox o hibridación del átomo de carbono, por ejemplo, si no hay claridad en las propiedades del electrón.

Por otra parte, los estudiantes desconocen nociones importantes tales como fotón, lo que es preocupante, pues ni en química ni en física se ha trabajado el concepto. En Colombia, estas asignaturas se trabajan de forma paralela en grado décimo y once y en física se debería haber trabajado al menos de forma conceptual. De igual manera, los números cuánticos, orbital y niveles de energía son conceptos que generan gran confusión, se trasladan las nociones conforme se avanza en los niveles de educación, es decir, prevalece la idea de órbita

del átomo de Bohr y su explicación, cambia únicamente de nombre confundiéndolo con nivel y orbital, dependiendo del grado en que se avance.

Cómo se dijo en el párrafo anterior, las respuestas están ligadas al modelo atómico de Bohr, que es el modelo que trabajaron en grado sexto y séptimo de acuerdo con lo establecido en los estándares básicos de competencia y la idea de átomo como un sistema solar en miniatura sirve como herramienta para la explicación de varios de los ítems. Por otra parte, es preocupante como muchas de las respuestas manifiestan abiertamente que la temática no ha sido abordada. Pero es aún más preocupante, que incluso en las temáticas que han abordado existe confusión, se mezclan conceptos y se trasladan unos a otros.

En lo referido a palabras asociadas con la cuántica, crisis de la física clásica, relaciones de indeterminación y números cuánticos, la constante es el desconocimiento. Los estudiantes manifiestan directamente no haber trabajado las temáticas, lo que permite enfatizar en la falta acercamiento a esta temática en la educación que reciben. Algunas respuestas están asociadas a películas, series o documentales, pero no a procesos desarrollados en el aula.

Las relaciones de indeterminación son prácticamente desconocidas para los estudiantes, al igual que la noción de dualidad y esto concuerda con los hallazgos realizados con los docentes en ejercicio, pues un porcentaje mayoritario de los docentes no trabajan la temática o demuestran confusión en la misma. Por tanto, los estudiantes no pueden explicar dichas relaciones, al igual que no se explica bien otros conceptos como fotón, electrón u orbital.

Otro punto crítico, se presenta con el ítem 12, en el que se solicita que se dibuje un átomo, la mayor parte de las respuestas describen el átomo con órbitas circulares (sistema solar), o el átomo con elipses, pero nuevamente, se presentan confusiones importantes, que son congruentes con lo descrito en lo referente a las respuestas del electrón. No hay claridad sobre los objetos subatómicos y su ubicación en el átomo. El dibujo del sistema solar que representa según las respuestas de los estudiantes al átomo es además desproporcionado y confuso.

Las conclusiones descritas a partir del trabajo con los estudiantes, converge con los resultados del análisis a los lineamientos y estándares curriculares, libros de texto y profesores en ejercicio. El problema no es la complejidad de la Teoría Cuántica, como se afirma en algunos documentos, el problema es una enseñanza escasa y formalista, en la que se trasladan errores conceptuales o se omiten temas. Si los docentes presentan confusiones e incluso los

libros de texto presentan errores o no presentan ciertas temáticas, esto se ve claramente reflejado en los estudiantes, enfatizan lo que la investigación didáctica afirma sobre la enseñanza de la química: se basa en nomenclatura, estequiometría y algo de experimentación, pero el basamento teórico no está claro en algunos casos para los docentes y por ello desconocido en los estudiantes.

Caracterizada la enseñanza y el aprendizaje de la EAM, que corresponde al desarrollo de la primera hipótesis, nos planteamos un segundo problema: ¿La aplicación de una secuencia que articule la Teoría Cuántica y los avances de la investigación didáctica permite superar las dificultades conceptuales evidenciadas en la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia? Por tanto, la segunda hipótesis afirma que es posible superar las dificultades conceptuales en los estudiantes de educación secundaria con el diseño y aplicación de una secuencia que articule la investigación didáctica y el enfoque conceptual de la teoría cuántica. Para confrontar esta hipótesis, se siguió la metodología de investigación basada en diseño, al ser una metodología emergente que dinamiza la investigación educativa, pues más allá de la caracterización de un problema educativo, esta metodología permite su intervención con miras a la transformación de la práctica educativa.

El trabajo desde la Metodología de Investigación basada en el Diseño, es un aporte en sí mismo de esta investigación, pues permite superar la barrera de investigaciones educativas que son muy importantes al poner de manifiesto problemas didácticos y educativos, pero que no necesariamente generan una intervención. El desarrollo planteado permitió generar un ciclo dinámico, entre el diseño, su desarrollo e implementación, su evaluación y reestructuración. Aplicar la estrategia en dos instituciones con diferencias en su población, en los recursos y obtener buenos resultados en las dos, permite reconocer el potencial de la secuencia y su contextualización.

Siguiendo esta metodología, y una vez se lograron establecer características de la enseñanza de la Teoría Cuántica, desde la unidad de Estructura de la Materia, se diseñó una secuencia que parte de la historia y la epistemología de las ciencias, proponiendo actividades que confrontan el proceso de construcción del conocimiento científico, con una imagen de ciencia no lineal ni acumulativa, en contraposición a lo encontrado tanto en libros de texto, como en la práctica de docentes.

Al desarrollar los pasos descritos para la metodología de diseño, es posible comprender que las dos fases de las que se hablan en la investigación, definitivamente no son dos escenarios distintos o etapas sin conexión, que deben desarrollarse una después de la otra.

En la primera fase de la investigación, al desplegar la acción investigativa para alcanzar los objetivos específicos, se desarrollan también los primeros pasos de la metodología de diseño: contexto, comprender y definir.

La fase de diseño se basó en el análisis epistemológico y el objetivo de superar los problemas en la enseñanza encontrados, así como las dificultades en el aprendizaje de la Teoría Cuántica en el contexto de la enseñanza de la estructura de la materia, determinados en la primera fase. El diseño es sencillo, se articuló en sesiones de enseñanza aprendizaje que contemplan la historia de las ciencias, la epistemología, algunas prácticas experimentales, partiendo desde los saberes previos de los estudiantes y vigilando que la transposición didáctica se hiciera sin desvirtuar el conocimiento científico.

La Secuencia Didáctica materializada en el documento seguido en cada una de las sesiones fue una guía muy bien acogida por los estudiantes y los docentes que acompañaron el proceso.

La evaluación de la secuencia se realizó tanto de manera cuantitativa mediante un cuestionario aplicado a 200 alumnos de dos centros diferentes, como cualitativa mediante entrevistas realizadas a 5 alumnos. Los resultados obtenidos tanto en el pre-test, como en el post-test se discutieron con los estudiantes y los docentes que generosamente facilitaron los espacios de implementación

Para establecer si existe o no un cambio estadísticamente significativo entre los resultados obtenidos en el pre-test y el post-test, se desarrollaron una serie de pruebas estadísticas no paramétricas, con las que se establece que si hay una diferencia significativa entre los resultados antes y después de la intervención con la Secuencia Didáctica. La diferencia significativa se confirmó en todos y cada uno de los 12 ítem analizados con el cálculo de la significación asintótica bilateral. Estos cálculos fueron complementados con el tamaño del efecto, que permite además de determinar que efectivamente se logró mejores resultados con el desarrollo de la secuencia. Se aprecia que el tamaño del efecto en la comparación del grupo control y el post-test, el pre-test y post de forma general y de cada uno de los ítems es grande, lo que asegura el potencial educativo de la secuencia.

Se alcanzó una diferencia significativa en conceptos como onda, partícula, fotón, electrón, hechos que marcaron la física clásica, incluso en las relaciones de indeterminación. Los estudiantes demostraron mayor comprensión en dichas temáticas, no solo con los resultados del post-test, sino en el trabajo desarrollado a lo largo de la intervención, a través de su participación, en las actividades, construcción de explicaciones individual y en equipo,

solución de ejercicios, construcción de memes. Es claro que no solo la aplicación del post-test permite hacer estas inferencias, el trabajo en el aula es un excelente instrumento de recolección de información, que se materializa en los trabajos y aportes que los estudiantes realizaron.

Sin embargo, es claro que existen conceptos y nociones erradas que prevalecen, como, por ejemplo, el concepto de orbital y nivel; y aunque hay diferencia significativa, es necesario considerarla como un problema conceptual en el aprendizaje.

En cuanto a la evaluación cualitativa se infiere que los estudiantes asumieron que las actividades desarrolladas buscaban la construcción del conocimiento de manera dialógica y propositiva, no memorística. Su participación y el desarrollo del post-test así lo evidencia. La secuencia es significativa, incluso para docentes con poca experiencia, pues, además de las actividades descritas para los estudiantes, se encuentran los comentarios para docentes que orientan a quien desee desarrollarla ampliando, profundizando o justificando las actividades.

Asumir el diseño de la secuencia, como una investigación en sí misma, completa el círculo planteado para una investigación educativa, que identifica y caracteriza un problema, plantea una solución, la desarrolla y evalúa.

Finalmente, y sintetizando el proceso de investigación, se concluye que, si bien la enseñanza de la estructura de la materia en Colombia es escasa, formalista y no tiene en cuenta la teoría cuántica, una secuencia que articule la investigación didáctica y tome como referente conceptual la teoría cuántica contribuye a abordar problemas conceptuales en su aprendizaje.

Perspectivas de investigación y docencia

Corroboradas las hipótesis, surge la necesidad de consolidar en Colombia una línea de investigación en enseñanza de la Teoría Cuántica para la educación secundaria. Esta línea que ahora es incipiente deberá proponer a la actualización de los currículos, revisión y actualización de los lineamientos y estándares curriculares propuestos por el Ministerio de Educación Nacional. No es conveniente, tal como se hizo hace pocos años, estructurar otros documentos como son los Derechos Básicos de Aprendizaje y las Mallas Curriculares con las mismas bases desactualizadas y envejecidas.

Otro de los objetivos de esta línea sería fortalecer el análisis de los libros de texto. Teniendo en cuenta, el papel predominante de los libros en la enseñanza, al ser referentes

tanto para profesores como estudiantes, se recomienda que la propuesta editorial base su producción en una investigación profunda de la temática, que se articule con una transposición didáctica rigurosa y apegada al conocimiento científico, sin llegar a desvirtuarlo o contradecirlo. Los procesos de formación de profesores también deberían regresar la mirada hacia los libros de texto y propiciar los espacios para que los docentes tengan las herramientas suficientes para asumir una posición crítica frente a estos recursos didácticos.

Como se describió en esta investigación, los problemas conceptuales de los estudiantes, se derivan entre otros de la enseñanza, razón por la cual, la investigación didáctica no solo debe fortalecerse, sino llegar a las aulas y buscar su transformación con miras a un mejor aprendizaje. La metodología basada en el diseño es un coadyuvante en este requerimiento, las secuencias de enseñanza y aprendizaje que se derivan de la investigación fortalecen los procesos de transformación.

Otra perspectiva importante, es lo referido a la formación de docentes. A las facultades de educación les subyace una gran responsabilidad en torno a la preparación en el campo disciplinar. Si se pretende que la enseñanza sea actualizada y acorde a los avances científicos y que corresponda a la ciencia moderna, los futuros docentes deben estar preparados para abordar este reto. Por tanto, es necesario revisar la formación disciplinar ofrecida en las facultades en los programas de licenciatura de ciencias naturales, química y física especialmente y plantear propuestas de mejora de la misma.

Estos resultados, dejan claro la necesidad de procesos de actualización y formación continua, nuevamente las facultades de educación y los programas de formación en maestrías y doctorados están llamados no solo a promover investigaciones en ese campo, sino a la posibilidad de generar líneas específicas de investigación en didáctica de las ciencias desde física y química modernas, que permitan a los docentes su actualización. Al respecto, la Maestría en Educación de la Universidad de Nariño, ya ha comenzado a articular investigaciones relacionadas en química y física que son semilleros de lo que sería una línea consolidada. De igual manera, aunque esta investigación es pionera en la didáctica de la teoría cuántica, el Doctorado en Ciencias de la Educación ha abierto la línea en enseñanza de las ciencias, que a nivel regional es también nueva, pero está en un proceso de consolidación.

Referencias Bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A. & Izquierdo M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las ciencias*, 1. 3. En: <http://www.saum.uvigo.es/rec>
- Adúriz-Bravo, A., e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 4(3).
- Adúriz-Bravo, A. y Morales, L. (2002). El concepto de modelo en la enseñanza de la Física - consideraciones epistemológicas, didácticas y retóricas. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 19, 1, 76-88.
- Aguilar, M. Y. y Romero, Á. E. (2011). A propósito de los experimentos mentales: una tentativa para la construcción de explicaciones en ciencias. *Revista científica*, 1(13), 169-174. <https://doi.org/10.14483/23448350.613>
- Akarsu, B. (2010). Einstein's redundant triumph "quantum physics": An extensive study of teaching/learning quantum mechanics in college. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, 3(2), 273-285.
- Aliberas, J. (2006). ¿Qué conocimiento científico enseñar en la escuela obligatoria? *Aula de Innovación Educativa*, 150, 14-18.
- Alvarado, K. A. y Fanaro, M. Á. (2019). Conceptualización del modelo cuántico para el comportamiento de los electrones según el enfoque de Feynman. *Revista científica*, 84-95.
- Álvarez, M., Nuño, T. y Pérez, U. (2006). Utilización didáctica de la historia de las ciencias: mujeres en ciencia nuclear. *Tecné Episteme Y Didaxis: TED*, (20). <https://doi.org/10.17227/ted.num20-1060>
- Alzate, M. (2009). Elemento, sustancia simple y átomo: tres conceptos problemáticos en la enseñanza y aprendizaje significativo de conceptos químicos. *Revista Educación y Pedagogía*, 17(43), 177-193.
- Alzate, M. V., Lanza, C. L. y Gómez, M. Á. (2007). *Usos de los libros de texto escolar: actividades, funciones y dispositivos didácticos*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira-Postergraph.

- Anderson, T. & Shattuck, J. (2012). Design based research: A decade of progress in education research? *Educational Researcher*, 41(1), 16–25.
- Araujo, R. y Zago, L., (2016). Física Moderna e Contemporânea nos cursos de Licenciatura Em Física: Uma análise das marcas da racionalidade técnica. *Latin American Journal of Physics. Education.*, 10(4), 4307-1 a 4307-6.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica*. (6ta. Ed.). Venezuela: Editorial Episteme, C.A.
- Arlego, M. (2008). Los fundamentos de la mecánica cuántica en la escuela secundaria utilizando el concepto de integral de camino. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 3(1), 59-66.
- Arlego, M., Fanaro, M. A. y Otero, M. R. (2012). Teaching different aspects of light in the unified framework of quantum mechanics. In: *Proceedings of The World Conference on Physics Education* (pp. 795-99). Ankara: Pegem Akademi.
- Ausubel, D.P., Novack, J.D. y Hanesian, H. (1983). *Psicología Educativa*. México: Trillas.
- Ayala, M. M. (2017). La enseñanza de la física para la formación de profesores de física. *Tecné Episteme Y Didaxis: TED*, (6). Recuperado de <https://doi.org/10.17227/ted.num6-5663>
- Baily, C. y Finkelstein, N. D. (2015). Teaching quantum interpretations: Revisiting the goals and practices of introductory quantum physics courses. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 11(2), 1-14.
- Balibar, F. y Lévy-Leblond, J. M. (1984). Voulez-vous apprendre quantique? *Sciences et Avenir* (46), 88-92.
- Ballesteros, A., Bejarano, A., Forero, T. y Muñoz, L. (2013). Estrategias y modelos para la enseñanza del concepto orbital atómico. En: *IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias* (pp. 259-265). Girona, España.
- Barberà, E. (2006). Los fundamentos teóricos de la tutoría presencial y en línea: una perspectiva socio-constructivista. *Educación en Red y Tutoría en Línea*, 151-168.
- Barbosa, J.W, Barbosa, J. C. y Rodriguez, M. (2013). Revisión y análisis documental para estado del arte: una propuesta metodológica desde el contexto de la sistematización de experiencias educativas. *Investigación Bibliotecológica: archivonomía, bibliotecología e información*. 27(61), 83-105.

- Bautier, E., Charlot, B., Rochex, J. (2000). Entre apprentissage et métier d'élève: le rapport au savoir. En: A. Van Zantem, (Dir.), *L'école, l'état des savoirs* (pp. 179-188). París: Édition de la Découverte.
- Bautista, G. B. (2012). Una recontextualización para la enseñanza de la mecánica cuántica. Reflexiones sobre el principio de superposición de estados. *Física y Cultura: Cuadernos sobre Historia y Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), 27-37.
- Betz, M. E. M. (2014). Elementos de mecânica quântica da partícula na interpretação da onda piloto. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 36(4), 1-14.
- Betz, M., Lima, I. y Mussato, G. (2009). Dualidade onda-partícula: um objeto de aprendizagem baseado no interferômetro de Mach-Zehnder. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 31(3), 3501-08.
- Biauzus, M. O. y Rosa, C. T. W. (2018). Obstáculos epistemológicos e mecânica quântica: a pesquisa como balizadora para a inovação didática. *Tecné Episteme Y Didaxis: TED*, (Extraordin).
- Bisquerra, R. (Ed.). (2004). *Metodología de la investigación educativa*. Madrid: La Muralla.
- Blanch, Bonil, & Izquierdo, 2004. Ciencia Escolar y Complejidad. *Investigación en la escuela*. 53, 21-30.
- Blanco, R. & Niaz, M. (1998). Baroque tower on a gothic base: a Lakatosian reconstruction of students' and teachers' understanding of structure of the atom. *Science and Education*, 7(4), 327-360.
- Bohr, N. (1913). 'I. On the constitution of atoms and molecules'. *Philosophical Magazine Series*, 6(151), 1-25. DOI:10.1080/14786441308634955
- Bolaños, E. (2012). Muestra y muestreo. Asignatura: Estadística para el Desarrollo Tecnológico. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Recuperado de http://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/tizayuca/gestion_tecnologica/muestraMuestreo.pdf
- Brockington, G. y Pietrocola, M. (2005). Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(3), 387-404.
- Bucher, M. (2008). "Rise and premature fall of the old quantum theory". Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/1910478_Rise_and_fall_of_the_old_quantum_theory

- Budde, M., Niedderer, H., Scott, P. & Leach, J. (2002). 'Electronium': A quantum atomic teaching model. *Physics Education*, 37(3), 197-203.
- Caamaño, A. (2018). Los modelos atómicos escolares. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, (93), 7-17.
- Cabral, J. (2006). *A aprendizagem significativa crítica de conceitos de mecânica quântica segundo a interpretação de Copenhagen e o problema da diversidade de propostas de inserção da física moderna e contemporânea no ensino médio*. (Tesis de Doctorado). Universidad de Burgos, Burgos, España. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10259/199>
- Cabrera, P. C. (2014). *La concepción atómica como estrategia para suplir las falencias conceptuales que originan los textos de enseñanza de la física*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Cabrera, P., Quiroga, A., y Naizaque, C. (2009). Imágenes del átomo: un producto del esfuerzo científico por comprender la estructura de la materia. *Tecné Episteme Y Didaxis: TED*. Recuperado de <https://doi.org/10.17227/01203916.262>
- Calvo, M. A. y Martín, M. (2005). Análisis de la adaptación de los libros de texto de ESO al currículo social, en el campo de la Química. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 17-32.
- Cambra, I. y Lorenzo, M. G. (2018). Entrelazando la Ética con las Ciencias Experimentales: una propuesta didáctica para la capacitación de profesores con la serie Breaking Bad. *Revista Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 24, 105-122.
- Cambra, I.; Lorenzo, M. G. y Michel, J. (2018). Contribuciones del cine y la Psicología a la Enseñanza de la Física y otras ciencias naturales. El caso Copenhagen. *Revista Enseñanza de la Física*, 30(1), 9-24.
- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que las originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), pp. 183-208.
- Castaño, J.M. (2014). *Experimentos mentales como herramienta didáctica en la enseñanza de la física*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Colombia.
- Castrillón, C. (2016). *Estrategia didáctica para la enseñanza del modelo mecánico cuántico del átomo, mediante la implementación de la unidad de producción de conocimiento (Udproco)*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

- Castrillón, J., Freire, O. y Rodríguez, B. (2014). Mecánica cuántica fundamental, una propuesta didáctica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(1), 1-12.
- Castro, A. y Ramírez, R. (2013). Enseñanza de las Ciencias Naturales para el desarrollo de las competencias científicas. *Amazonia Investiga*, 2(3), 30-53.
- Castro, J. M. C. y Martini, H. A. (2016). Potencia estadística y cálculo del tamaño del efecto en G* Power: complementos a las pruebas de significación estadística y su aplicación en psicología. *Salud & Sociedad*, 5(2), 210-244.
- Céspedes, Y. y Tuay, N. (2018). Modelización en mecánica cuántica desde la contextualización. *Tecné Episteme Y Didaxis: TED*, (Extraordin). Recuperado de <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/8941>
- Céspedes, N. Y. (2016). *Análisis del fenómeno dualidad onda - partícula desde la producción de conocimiento*. (Tesis Doctoral). Bogotá, Universidad Santo Tomás.
- Cid, M., R. y Dasilva, A. (2012). Estudiando cómo los modelos atómicos son introducidos en los libros de texto de Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(3), 329-337.
- Claret Zambrano, A. Salazar, T. Candela B, Villa L, (2013). Las Líneas de Investigación en Educación en Ciencias en Colombia. Asociación Colombia para la investigación en Educación en Ciencias y Tecnología EDUCyT. *EDUCyT*, 7, 78-109.
- Confrey, J. (2006). The evolution of design studies as methodology. En R. Keith Sawyer (Ed.) *The Cambridge handbook of the learning sciences*. Nueva York: Cambridge University Press. pp. 135-152.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. (2nd ed.), New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, J. (1994). The earth is round ($p < .05$). *American Psychologist*, 49, 997-1003.
- Cohen, R. y Arden, A. (2010). How the Curriculum Guideline «The Cell Is to Be Studied Longitudinally» is Expressed in Six Israeli Junior-High-School Textbooks. *Journal of Science, Education and Technology*, 19(3), 276-92.
- Cohen, L., Manion, L. y Morrison, K. (2007). *Researcher methods in education*. New York: Routledge. Taylor and Francis Group.
- Coll, C. (1991). *Psicología y currículum*. Buenos Aires: Paidós.

- Congreso de la República de Colombia. (1994). Ley 115 de febrero 8 de 1994. Por la cual se expide la ley general de educación. Recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-85906_archivo_pdf.pdf
- Congreso de la República de Colombia. (1992). Ley 30 de diciembre 28 de 1992. por el cual se organiza el servicio público de la Educación Superior. Recuperado de https://www.cna.gov.co/1741/articles-186370_ley_3092.pdf
- Corral, Y. (2009). Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación para la recolección de datos. *Revista Ciencias de la Educación*, 19(33), 229-247.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *psychometrika*, 16(3), 297-334.
- Cruz-Garriz, D., Chamizo, J. A. y Garriz, A. (1991). *Estructura atómica. Un enfoque químico*. México: Addison Wesley Iberoamericana.
- Cubillos, G., Poveda, F. y Villaveces, J. L. (1989). Notas para una Historia Social de la Química en Colombia. *Ciencia, Tecnología y Desarrollo. Colciencias*, 13(1-4), 145-232.
- Cuéllar, L. F., Gallego, R. B. y Pérez, R. M. (2008). El modelo atómico de E. Rutherford. Del saber científico al conocimiento escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(1), 46-52.
- Cuéllar, L., Pérez, R. y Quintanilla, M. (2005). La propuesta de Ernest Rutherford en los libros de texto en Colombia: un análisis desde la historia de las ciencias y la visión de transposición didáctica en ellos. *Enseñanza de las Ciencias* 22(No. extra, VII Congreso), 1-6.
- 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* (No. extraordinario). En: *Memorias, VII Congreso Internacional de Formación de Profesores de Ciencias Número Extraordinario* (pp. 921-27).
- Cuesta, Y. J. y Mosquera, C. J. (2017). 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*. Recuperado de <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/4834>
- Cuesta, Y. J. y Mosquera, C. J. (2018). Reflexiones en torno a la importancia de la investigación en enseñanza de la física cuántica. *Tecné Episteme Y Didaxis: TED*, (Extraordin), 1-6.

- Chamizo, J.A. (2005). Hacia una cultura química. *Ciencia*, (56), 6-16.
- Chamizo, J. A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Eureka*, 7(1), 26-41.
- Chaves, A. y Shellard, R.C. (2005). *Física para o Brasil: Pensando o futuro*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique; du savoir savant au savoir enseigné*. Paris: La Pensée Sauvage.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica*. Madrid: Aique.
- Daboín, F. (2015). Interpretación de la función de onda de Schrödinger y la repercusión en su aprendizaje. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27(2), 73.
- Darrigol, O. (2003). Quantum theory and atomic structure, 1900-1927. In: NYE, Mary Jo. *The modern physical e mathematical sciences*. Cambridge: Cambridge University, 331-349. (The Cambridge History of Science, v. 5).
- Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.
- De la Torre, A. C. (2000). *Física Cuántica para filósofos*. (2ª ed.). México: Fondo de Cultura Económica.
- De La Fuente, A. M., Perrotta, M. T., Dima, G., Gutiérrez, E., Capuano, V. y Follari, B. (2003). Estructura atómica: análisis y estudio de las ideas de los estudiantes (8º de EGB). *Revista enseñanza de las ciencias. Investigación didáctica*, 21(1), 123-34.
- Díaz, C. (2007). La celda solar como módulo didáctico de enseñanza del efecto fotoeléctrico. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 2(1), 1-17. <https://doi.org/10.14483/23464712.530>
- Driver, R., Newton, P. & Osborne, J. (2000). Establishing the norms os scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312.
- Domènech, J. L., Martínez, J. y Savall, F. (2013). ¿Los modelos atómicos de Thomson y Rutherford que se presentan habitualmente en las clases se corresponden con sus aportaciones? *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 29-43.
- Domínguez-Lara, S. y Merino-Soto, C. (2015). ¿Por qué es importante reportar los intervalos de confianza del coeficiente alfa de Cronbach?. *RLCSNJ*, 13(2).
- Driver, R., Newton, P. & Osborne, J. (2000). Establishing the norms os scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312.

- Duarte, M. C. (2005). Analogías na educação em ciências: contributos e desafios. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(1), 7-29.
- Easterday, M., Rees Lewis, D. & Gerber, E. (2014). Design-based research process: Problems, phases and applications. In: J. L. Polman, E. A. Kyza, D. K. O'Neill, I. Tabak, W. R. Penuel, A. S. Jurow, ... L. D'Amico (Eds.), *Proceedings of International Conference of Learning Sciences* (pp. 317–324). Boulder, CO: International Society of the Learning Sciences.
- Einstein, A. (1905). Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik*, 132-148.
- Elgue, M. (2015). *Enseñanza y aprendizaje de aspectos fundamentales de Física Cuántica en la escuela secundaria a partir del estudio de la luz*. (Tesis de doctorado). RIDAA UNICEN, Argentina.
- Escudero, C. y González, S. (2016). Hacia la conciencia cuántica a partir del efecto fotoeléctrico. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28(Extra), 335-342.
- Escudero, C., Jaime, E., y González, S. (2016). Hacia la conciencia cuántica a partir del efecto fotoeléctrico. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(3), 183-200.
- Fabri, E. (1981). Dialogo sulla massa relativista. *La Fisica nella Scuola* 14(25), 1-8.
- Fanaro, M. (2009). *La enseñanza de la Mecánica Cuántica en la Escuela Media*. (Tesis Doctoral). Universidad de Burgos, Burgos, España.
- Fanaro, M., Arlego, M. y Otero M. R. (2006). Los caminos múltiples de Feynman y la mecánica cuántica en la escuela media. *Actas del 8 Simposio de Investigación en Educación en Física* (pp. 161-69). Asociación de Profesores de Física de la Argentina (APFA).
- Fanaro, M., Arlego, M. y Otero, M. R. (2007a). 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*, 24(2), 233-60.
- Fanaro, M., Otero, M. R. y Arlego, M. (2007b). Software de simulación y reconstrucción de fundamentos de la mecánica cuántica en la escuela. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, (2), 4-12.
- Fanaro, M., Otero, M. R. y Arlego, M. (2007c). Nociones matemáticas necesarias para reconstruir fundamentos de la mecánica cuántica en la escuela: la importancia de los vectores y los números complejos. *Acta I Encuentro Nacional sobre Enseñanza de la Matemática*, (pp. 297-309). Argentina.

- Fanaro, M., Arlego, M. y Otero M. R. (2014). The double slit experience with light from Feynman's Sum of Multiple Paths viewpoint. *Revista brasileira de ensino de física*, 36(2), 2308-1-2308-7.
- Fanaro, M., Elgue, M. y Arlego, M. (2016). *Enseñanza por investigación en física: aspectos básicos de mecánica cuántica en la escuela secundaria*. Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Fanaro, M., Otero, M. R. y Elgue, M. (2014). Implementation of a proposal to teach quantum mechanics concepts from Feynman's Multiple Paths applied to the light. Recuperado de http://www1.unipa.it/girep2014/accepted-papers-proceedings/201_De%20Los%20Angeles%20Fanaro.pdf
- Fanaro, M. y Otero, M. R. (2008). Basics Quantum Mechanics teaching in Secondary School: One Conceptual Structure based on Paths Integrals Method. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, 2(2), 103-112.
- Fanaro, M. y Otero, M. R. (2009). Teoremas en acto y situaciones de Mecánica Cuántica en la Escuela Media. *Latinoamerican Journal of Physics Education*, 2(2), 24-33.
- Fanaro, M., Otero, M. R. y Arlego, M. A. (2009). Teaching the foundations of quantum mechanics in secondary school: a proposed conceptual structure. *Investigações em Ensino de Ciências* 14(1), 37-64.
- Fanaro, M., Otero, M. R. y Elgue, M. (2016). Secuencia para enseñar conceptos acerca de la luz desde el enfoque de Feynman para la Mecánica Cuántica en la Escuela Secundaria: un análisis basado en la teoría de los campos conceptuales. *Cad. Bras. Ens. Fís.*, 33(2), 477-506. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n2p477>
- Fanaro, M., Otero, M. R. y Moreira, M. A. (2009). Teoremas-en-acto y conceptos en acto en dos situaciones relativas a la noción de sistema cuántico. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 9(3).
- Faúndez, C., Rojas, Y., Pinto, A. y Astudillo, H. (2015). Taller de física cuántica: un método para introducir conceptos fundamentales en una actividad extracurricular. *Formación Universitaria*, 8(2), 53-62.
- Feo, Y. E. (2012). *Propuesta de contenidos curriculares para la enseñanza de la química de sexto a once en el colegio Montebello I.E.D.* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12209/9158>

- Fernández, P. (2014). *Teorías y modelos en la enseñanza aprendizaje de la física moderna*. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fernández, P., González, E. y Solbes, J. (1997). La inclusión de temas actuales de física en el polimodal. *Educación en Ciencias*, 1(3), 5-10.
- Fernández, P., González, E. y Solbes, J. (2005). Evolución de las representaciones docentes en la física cuántica. *Enseñanza de las Ciencias*, (extra), 1-5.
- Fernández, J., Morales, R. y Ballesteros, J. (2007). Complementos pedagógicos para la enseñanza de la teoría cuántica en física y su adecuación a la metodología del Espacio europeo de Educación Superior. *Buenas Prácticas de Innovación Docente en la Universidad de Córdoba*, 1(1), 18-20.
- Feynman, R. (1971). *Física I. Mecánica, radiación y calor*. México: Addison Wesley Longman.
- Figueroa, A. y Orjuela, J. (2015). *La enseñanza de la física moderna en la educación media una aproximación*. Proyecto curricular de Licenciatura en Física. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ciencias y Educación.
- Firigua, J. D. (2019). Estrategia Pedagógica para mejorar actitudes hacia la física. Universidad de Cundinamarca.
- Fischler, H. y Lichtfeldt, M. (1992). Modern Physics and Students' Conceptions. *International Journal of Science Education*, 14(2), 181-90.
- Furio, C. y Furio, C. (2003). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Revista de Aniversario. Educación química*, 11(3), 300.
- Gadernann, A. M., Guhn, M. & Zumbo, B. D. (2012). Estimating ordinal reliability for Likert-type and ordinal item response data: A conceptual, empirical, and practical guide. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 17(3), 1-13.
- Gallego, R. Pérez Miranda, R, y Torres de Gallego, N., (2004). *La formación inicial de profesores de ciencias en Colombia: contrastación de fundamentos*. (Memorias de investigación). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Gallego, R., Gallego, A., Pérez, R. y Figueroa, R. (2013). Historia Social de la Educación en ciencias e historia social de las ciencias. Segunda mitad del Siglo XX: Una contrastación. *Ciência e educação (Bauru)*, 19(4), 995-1012.
- Gallego, R. y Perez, R. (2017). Un nuevo enfoque en la enseñanza de la química. *Revista Colombiana De Educación*, (3). Recuperado de <https://doi.org/10.17227/01203916.4997>

- Geiger, H., y Marsden, E. (1909). On a Diuse Reflection of the Particles, *Proc. Royal Society A82*, 495-500.
- Gil, J. (2015). *Metodología cuantitativa en educación*. Madrid: UNED.
- Gil, D., Senent, F. y Solbes, J. (1986a). Análisis Crítico de la Introducción de la Física Moderna en la Enseñanza Media. *Revista de Enseñanza de La Física*, 2(1), 16-21.
- Gil, D., Senent, F. y Solbes, J. (1986b). La física moderna en la enseñanza secundaria: una propuesta fundamentada y unos resultados. *Revista Española de Física*, 3(1), 53-58.
- Gil, D., Senent, F. y Solbes, J. (1989). La física moderna en la enseñanza secundaria: una propuesta fundamentada y unos resultados, *Revista Española de Física*, 3(1), 53-58.
- Gil, D. y Solbes, J. (1993). The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science, *International Journal of Science Education*, 15(3), 255-60.
- Giribet, G. E. (2005). Sobre el principio de incertidumbre de Heisenberg entre tiempo y energía: una nota didáctica. *Revista Mexicana de Física*, 23-30.
- Giudice, J. y Galagovsky, L. (2008). Modelar la naturaleza discontinua de la materia: una propuesta para la Escuela Media. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), 629-657.
- Greca, I. M. y Herscovitz, V. E. (2002). Construyendo significados en mecánica cuántica: fundamentación y resultados de una propuesta innovadora para su introducción en el nivel universitario. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2), 327-38.
- Greca, I. M. e Moreira, M. A. (2001). Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino de Mecânica Quântica Indrodutória. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6(1), 1-29.
- Greca, I. M., Moreira, M. A. E. y Herscovitz, V. E. (2001). Uma proposta para o ensino de Mecânica Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 1(23), 444-457.
- Greca, I. y Moreira, M. A. (2004). *Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales*. Porto Alegre: Universidad Federal do Rio Grande do Sul.
- Griebeler, A. (2012). *Nserção de tópicos de física quântica no ensino médio através de uma unidade de ensino potencialmente significativa*. (Disertacion de Maestría). Universidad Federal Do Rio Grande Do Sul, Brasil.
- Grissom, R. J. & Kim, J. J. (2012). *Effect sizes for research: Univariate and Multivariate Applications*. New York: Routledge.

- Grosman, P., Braga, D. y Huguenin, J. (2019). Realização experimental da simulação do algoritmo de Deutsch com o interferômetro de Mach-Zehnder. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 41(2), e20180201.
- Gomes de Abreu, R., Gomes, M. M. y Lopes, A. C. (2005). Contextualização e tecnologias em livros didáticos de Biología e Química. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(3), 405-17.
- Gómez, A. y Adúriz-Bravo, A. (2007) La actividade científica escolar: Una actividad situada. *Revista Configuraciones Formativas II: Formación e Praxis*. México: Universidad de Guanajuato. 219 - 236.
- Gómez, M. A. y Pozo, J. I. (2000). Las teorías sobre la estructura de la materia: discontinuidad y vacío. *Tarbiya*, 26, 117-139.
- 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, S. (2015). *La enseñanza de conceptos básicos de física cuántica para un aprendizaje significativo del modelo atómico actual*. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina.
- Guevara, M. E., Everth T. M. y Organista, R. O. (2011). Mentefacto conceptual para la función de onda de la mecánica cuántica. *Revista científica*, 1(13), 66-72.
- Guisasola, J; Gutierrez-Berraondo, J; Zuza, K; Ametller, J. (2017), «Desarrollo iterativo de una secuencia de enseñanza/aprendizaje sobre el principio generalizado de trabajo y energía en cursos de física general universitaria». *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, [en línea], n.º Extra, pp. 1691-6
- Haber-Schaim, U. (1975). *On the Teaching of Quantum Physics in the Senior High School*, in *Seminar on the teaching of physics in schools 2*. A. Loria, P. Thomsen, eds., Gylendal: GIREP, p. 273.
- Hadzidaki, P. (2008). 'Quantum Mechanics and Scientific Explanation' An Explanatory Strategy Aiming at Providing 'Understanding'. *Science & Education*, 17, 49-73.
- Henao-García, J. J. y Tamayo-Alzate, O. E. (2010). Enseñanza y Aprendizaje del concepto naturaleza de la materia mediante la resolución de [33] problemas. *Unipluriversidad*, 14(3), 25-45.
- Henriksen, E., Bungum, B., Angell, C., Tellefsen, C., Frågåt, T. y Vetle seter, M. (2014). Relativiti, quantum physics and philosophy in the upper secondary curriculum:

- challenges, opportunities and proposed approaches. *Physics Education*, 49(6), 678-684.
- Hernández, C. (2005). Foro Educativo Nacional – 2005 ¿Qué son las “Competencias Científicas”? Recuperado de http://www.acofacien.org/images/files/ENCUENTROS/DIRECTORES_DE_CARREIRA/I_REUNION_DE_DIRECTORES_DE_CARRERA/ba37e1_QUE%20SON%20LAS%20COMPETENCIAS%20CIENTIFICAS%20-%20C.A.%20Hernandez.PDF
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación*. (4ª ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.
- Hilger, T. y Gliieber, A. (2013). Uma proposta de unidade de ensino potencialmente significativo utilizando mapas conceituais. *Investigações em Ensino de Ciências*, 18(1), 199- 213.
- Hodson, D. (1992). Assessment of practical work. Some considerations in philosophy of science. *Science and Education*, 1, 115-144.
- Holton, G. y Brush, S.G. (2001). *Physics, the Human Adventure. From Copernicus to Einstein and Beyond*. New Brunswick: University Press.
- Ibáñez, M. y Ramos, M. C. (2004). Physics Textbooks Presentation of the Energy-Conservation Principle in Hydrodynamics. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 267-76.
- Institución Educativa Municipal Pedagógico (2018). Planeación Curricular, Ciencias naturales y Educación Ambiental.
- Ireson, G. (2001). On the quantum thinking of physics undergraduates. En: H. Behrendt, H. Dahncke, R. Duit, W. Gräber, M. Komorek, A. Kross y P. Reiska. (Ed.), *Research in science education-Past, present, and future* (pp. 83- 88). Nueva York: Kluwe Academic Publishers.
- Ivanjek, L., Shaffer, P. S., McDermott, L. C., Planinic, M y Veza, D. (2015). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory atomic spectroscopy. II. Addressing student difficulties with atomic emission spectra. *American Journal in Physics*, 83(2), 171.
- Jammer, M. (1966). *The conceptual development of quantum mechanics*. New York: McGraw-Hill.
- Jaramillo, J. (2015). *Implementación de una propuesta didáctica apoyada en el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación para la enseñanza y el aprendizaje*

- de la Mecánica Cuántica Fundamental en el nivel medio en Colombia.* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Johnston, I., Crawford, K. y Fletcher, P. (1998). Student difficulties in learning quantum mechanics. *International Journal of Science Education*, 20(4), 427-46.
- Jonnaert, P. (2001). Competencias y socioconstructivismo. Nuevas referencias para los programas de estudios. Texto de apoyo a la Segunda Conferencia Anual de Inspectores de la Enseñanza Media, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 18-22 de diciembre.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de las ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Juuti, K. & Lavonen, J. (2006). Design-Based Research in Science Education: One Step towards Methodology NorDiNa: Nordic Studies in Science Education. *Science Education*, 4, 54-68.
- Kalkanis, G., Hadzidaki, P. y Stavrou, D. (2003). An instructional model for a radical conceptual change towards quantum mechanics concepts. *Science Education*, 87(2), 257-80.
- Ke, J. L., Monk, M. y Duschl, R. (2005). Learning introductory quantum mechanics: Sensorimotor experience and mental models. *International Journal of Science Education*, 27(13), 1571-94.
- Kipnis, N. (2005). Scientific analogies and their use in teaching science. *Science & Education*, 14(3-5), 199-233.
- Klapp, J. (1988). The teaching of modern physics in Latin America. In: *AIP Conference Proceedings*, 173(395). New York: American Institute of Physics.
- Konuma, M. (1988). Topical or systematic? The teaching of modern physics. In: *AIP Conference Proceedings* 173(395). New York: American Institute of Physics.
- Kumar, M. (2011). *Einstein, Borh y el gran debate sobre la naturaleza de la realidad.* Barcelona: Kairos S.A.
- Labarca, M. (2009). *Acerca de la naturaleza de la química: Algunos comentarios.* CONICET-Universidad Nacional de Quilmes, Instituto de Estudios Sobre la Ciencia y la Tecnología.
- Ledesma, R. (2002). Análisis de consistencia interna mediante Alfa de cronbach: Un programa basado en gráficos dinámicos. *Psico-USF*, 7(2), 143-152.

- Lévy-Leblond, J. M. (2003). On the Nature of Quantons. *Science & Education*, 12(5-6), 495-502.
- Lijnse, P. L. (1981). On the dutch programme for the introduction of quantum mechanics at secondary schools. In: *Quantum mechanics in the school*. Budapest: ELTE University.
- Lima, N., Ostermann, F. y Cavalcanti, C. J. H. (2017). Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM2015. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(2), 435-459.
- Lima, L. G. (2014). *A abstração como ponte entre a física e a literatura na construção de conceitos de mecânica quântica no ensino médio*. Master's Dissertation, Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), University of Sao Paulo, Sao Paulo. Doi: 10.11606/D.81.2014.tde-27042015-104526.
- Lobato, T. y Greca, I. M. (2005). Análise da inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de Física do ensino médio. *Ciência e Educação*, 11(1), 119-132.
- Lombardi, O. y Martinez J. C. (2012) Entre mecánica cuántica y estructuras químicas: ¿a qué refiere la química cuántica? *Scientle studia*, 10(4), 649-670.
- Londoño, O., Maldonado, L. y Calderón L. (2014). *Guía para construir Estados del Arte*. Bogotá: International Corporation of Networks of Knowledge.
- López, G. E. (2014). *Enseñanza de la mecánica cuántica en la escuela media a partir del concepto de superposición*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- López, M. F. y Vela, H. A. (2016). Caracterización del Concepto de Fotón, una Contextualización para la Enseñanza de la Luz en Estudiantes de Educación Básica. (Monografía de Pregrado). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.
- Lozano, O.R. y Solbes, J. (2014). *85 experimentos de física cotidiana*. Barcelona: Grao.
- Macías, C., Mejía, L. S. y Aguilar, Y. (2015). La experimentación mental en la formación de maestros de ciencias: Una alternativa para la Enseñanza de la Física Moderna en la escuela. *Latin American Journal of Science Education*, 2, 1-12.
- Machado, D. I. y Nardi, R. (2007). Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de física moderna. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(1).
- Malagon, R. (2009). *Diseño de una estrategia didáctica para el fortalecimiento de las habilidades de pensamiento investigativo en estudiantes universitarios de la Licenciatura en Informática de la Universidad del Tolima de la modalidad a*

- distancia*. (Trabajo de Maestría). Facultad de ciencias de la Educación, Universidad Libre de Colombia, Universidad de Las Tunas, Cuba.
- Martín Arribas, M. C. (2004). Diseño y validación de cuestionarios. En *Matronas Profesión*, 5 (17), pp.23-29. en http://enferpro.com/documentos/validacion_cuestionarios.pdf
- Martínez, J. (2002). *Políticas del libro escolar*. Madrid: Ediciones Morata.
- Marmolejo, G.A. y González, M.T. (2013). Visualización en el área de regiones poligonales. Una metodología de análisis de textos escolares. *Revista Educación Matemática*, 25(3), 61-102.
- Marmolejo, G.A. y González, M.T. (2015). El área de superficies planas en el campo de la educación matemática. Estado de la cuestión. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 10(1), 45-58.
- Materán, I., Daboín, F., Reverol, G., Villarreal, M. y Lobo, H. (2013). Webquest un recurso didáctico para el aprendizaje guiado. Caso: el efecto fotoeléctrico. *Revista Electrónica Quimer@*, 1(2), 103-106.
- Martínez, J. (2002). *Políticas del libro escolar*. Madrid: Ediciones Morata.
- Martínez-Chavanz, R. (1986). El pensamiento físico y epistemológico de Garavito. *Naturaleza (Educación y Ciencia)*, (4).
- Martínez-Chavanz, R. (1987). Ensayo sobre la penetración de las ideas relativistas y cuánticas en Colombia. (Informe de investigación). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Martínez-Chavanz, R. (1993). *La física en Colombia: su historia y su Filosofía. Historia social de la ciencia en Colombia. Tomo VI, Física y Química*. Bogotá: Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y de la Tecnología Francisco José de Caldas, Colciencias.
- Martínez-Chavanz, R. (2004). *La recepción de la física moderna en Colombia. Saber y Tiempo* Buenos Aires.
- Martínez-Chavanz, R. (2005). La recepción de la relatividad en Colombia. *Conferencia pronunciada en el Simposio Internacional Einstein: Científico, filósofo y humanista. Centenario de una visión del mundo*. Departamento de Filosofía, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Martínez, J., Savall, F., Doménech, J., Rey, A. y Rosa, 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.

- Marx, G. (1981). Atoms in the school, *Quantum mechanics in the school*. Budapest: Roland Eotvos Univ.
- McKagan, B., Perkins, K., Dubson M., Mally, C., Reid, S., LeMaster, R. y Wieman, C. (2008). Developing and reserch PhEt simulations for teaching quantum mechanics. *American Journal J. Physics.*, 76, 406.
- Méheut, M. & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515–535.
- Melhorato, R. L. & Nicole, G. T. (2012). Da física clássica a moderna: o simples toque de uma sirene. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34(3), 1-4.
- Mendoza, D. M. y Rozo, M. (2011). El principio de superposición de estados, a partir de los estados de polarización de una onda monocromática. *Revista científica*, 1(13), 61-65.
- Michellini, M., Ragazzon, R., Santi, L. y Stefanel, A. (2000). Proposal for quantum physics in secondary school. *Physics Education*, 35(6), 406-410.
- Ministerio de Educación Nacional (MEN). (1998). Serie lineamientos curriculares. Recuperado de http://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-89869_archivo_pdf8.pdf.
- Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2004). Serie Estándares Básicos competencias. Recuperado de https://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-81033_archivo_pdf.pdf
- Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2017). Serie Derechos Básicos de Aprendizaje. Recuperado de <http://aprende.colombiaaprende.edu.co/siempre diae/93226>
- Monroy, R. (2012). *Diseño e implementación de una unidad didáctica para introducir conceptos de mecánica cuántica en estudiantes de bachillerato*. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, México D. F., México.
- Monteiro, M. (2010). *Discursos de professores e de livros didáticos de física do nível médio em abordagens sobre o ensino da física moderna e contemporânea: algumas implicações educacionais*. (Tesis Doctoral). Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Brasil.
- Morais, A. y Guerra, A. (2013). História e a filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas física moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35, 01-09.

- Moreira, M. A. (2012). Aprendizaje significativo, campos conceptuales y pedagogía de la autonomía: implicaciones para la enseñanza. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 2(1), 44-65.
- Moreira, M. A. (2007). A física dos quarks e a epistemologia, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(2), 161-173.
- Moreira, M. y Massoni, N. (2009). Física de partículas y visiones epistemológicas contemporáneas en la formación postgraduada de profesores de física. *Experiências em Ensino de Ciências*, 4(1), 57-64.
- Moreno, L. (2018). Los modelos atómicos en los libros del texto, pensar críticamente la historia de la ciencia. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, (93), 18-25.
- Moreno, J., Gallego, R. y Pérez, R. (2010). El modelo semicuántico de Bohr en los libros de texto. *Ciência & Educação (Bauru)*, 16(3), 611-629.
- Moreno, G, y Guarín, E. (2010). Nociones cuánticas en la escuela secundaria: Un estudio de caso. *Latin-American Journal of Physics Education*, 4(3), 669-676.
- Moya, C. (2008). Aproximación al concepto y tratamiento de texto escolar. *Cuadernos de Lingüística Hispánica*, (11), 133-152.
- Muller, D. (2008). *Designing effective multimedia for physics education*. (Tesis Doctoral). University of Sydney, Sydney, Australia.
- Müller, R. & Wiesner, H. (2000). Das Muenchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik. In: *Physik in der Schule* Nr. 38. Recuperado de https://www.didaktik.physik.unimuenchen.de/archiv/inhalt_materialien/milq/lehrtext_x_.pdf
- Müller, R. & Wiesner, H. (2003). Evaluation des Muenchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik. *Ausserschulisches Lernen in Physik und Chemie*, 23, S. 243-245.
- Muñoz, Z. (2018). Quiebres epistemológicos para la enseñanza de la teoría cuántica. *Revista Historia De La Educación Colombiana*, 21(21), 79-97.
- Nagaoka, H. (1904). LV. Kinetics of a system of particles illustrating the line and the band spectrum and the phenomena of radioactivity. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 7(41), 445-455. DOI: 10.1080/14786440409463141
- Nieveen, N. (2009). Formative evaluation in educational design research. In: *An introduction to educational design research* (pp. 89–101). Enschede: SLO.

- Niaz, M., Klassen, B., McMillan & D. Metz (2010). Reconstruction of the history of the photoelectric effect and its implications for general physics textbooks. *Science Education*, 94, 903- 931.
- Nory, R. M. & Zanetic, J. O. (2005). Teatro e a física: a cena que não entra em sala. In: *Atas do XVI SNEF (Simposio Nacional de Ensino de Física)*. Anais... Rio de Janeiro: SBF (Sociedade Brasileira de Física), CEFET.
- Ogborn, J. (1981). Teaching about energy. In: Marx, G. (Ed.): *Nuclear Physics, Nuclear Power, GIREP Conference on the Teaching of Physics in Schools* (321-335), Budapest.
- Oliva, J. M. y Acevedo, J.A. (2005). La enseñanza de las ciencias en primaria y secundaria hoy. Algunas propuestas de futuro. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 241-250.
- Oliva, J., M., Aragón, M.M., Mateo, J. y Bonat, M. (2001). Una propuesta didáctica, basada en la investigación, para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), 453- 470.
- Oliveira, F. F., Vianna, D. M. y Gerbassi, R. S. (2007). Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(3), 447-454.
- Olsen, R. V. (2002). Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: a study in Norway. *International Journal of Science Education*, 24, 565–574.
- Oñorbe, A. (1996). Avance de la ciencia en el currículum. *Alambique*, 10, 7-9.
- Ostermann, F. Y. y Moreira, M. A. (2000). Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando la formación de profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 391-405.
- Ostermann, F., Prado, S.D. e Ricci, T.F. (2006). Desenvolvimento de um *software* para o ensino de fundamentos de Física Quântica. *Física na Escola*, 7, 22-25.
- Ostermann, F. y Ricci, S. (2004). Construindo uma unidade didática conceitual sobre mecânica quântica: um estudo na formação de professores de física. *Ciência & Educação*, 10(2), 235-257.
- Ostermann, F. e Ricci, T. (2005). Conceitos de Física Quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 22, 09-35.
- Otero, J. I. (1989). La producción y la comprensión de la ciencia: la elaboración en el aprendizaje de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), 223-228.

- Otero, M., Fanaro, M. y Arlego, M. (2009). Investigación y desarrollo de propuestas didácticas para la enseñanza de la Física en la Escuela Secundaria: Nociones Cuánticas. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(1), 58-74.
- Oviedo, H. C. & Campo-Arias, A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach; An Approach to the Use of Cronbach's Alfa. *Rev. colomb. psiquiatr*, 34(4), 572-580.
- Özcan, Ö. (2010). How do the students describe the quantum mechanics and classical mechanics?, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* 4, 22-26.
- Páez Vanegas, L., (2016). “*El libro de texto escolar y la tercera misión pedagógica alemana: Aportes a los procesos de enseñanza desde el diseño editorial en Colombia*” (Tesis de Maestría en Universidad Nacional de Colombia). Bogotá.
- Pantoja, G., Moreira, M. y Herscovitz, V. (2013). 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.
- Parente, F., dos Santos, A. y Tort A. C. (2014). O átomo de Bohr no Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 3(1), 1502-1- 1502-4.
- Park, E. J. & Light, G. (2009). Identifying Atomic Structure as a Threshold Concept: Student mental models and troublesomeness. *International Journal of Science Education*, 31(2), 233-258.
- Patiño, M. J. (2007). Enseñanza del fenómeno cuántico de efecto túnel. *Góndola, enseñanza Y Aprendizaje De Las Ciencias*, 2(1), 42 - 47.
- Paty, M. y Martínez-Chavanz, R. (2004). *Formación y Desarrollo de la Cultura Científica en Colombia: La Física de 1880 a 1940*. En: L.C. Arboleda & P. Michel, *Formación de Cultura Científica en Colombia. Ensayos sobre Matemáticas y Física*, Instituto de Educación y Pedagogía (pp. 111-151). Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Paulo, I. J. C. (2006). *A Aprendizagem Significativa Crítica de Conceitos da Mecânica Quântica Segundo a Interpretação de Copenhagen e o Problema da Diversidade de Propostas de Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio*. (Doutorado em Ensino de Ciências). Universidade de Burgos, Burgos.
- Peduzzi, L. O. Q. & Basso, A. C. (2005). Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27(4), 545-557.

- Pena, F. (2006). Por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e idéias de física moderna e contemporânea na sala de aula?. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(1), 1-2.
- Pereira, Z. (2011). Los diseños de método mixto en la investigación en educación: Una experiencia concreta. *Revista Electrónica Educare*, XV(1), 15-29.
- Pereira, A. P., Cavalcanti & F. Ostermann (2009). On the use of a virtual Mach-Zehnder interferometer in the teaching of quantum mechanics. *Physics Education*, 44(3), 281-291.
- Pereira, A. P., Cavalcanti, C. J. H. Pessoa J., y Ostermann, F. (2012). Uma abordagem conceitual e fenomenológica dos postulados da físicaquântica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29(2), 831-863.
- Perrin, J. (1901). Les hypothèses moléculaires. *Revue Scientifique*, 15, 449–461.
- Pereira, J. M. y Londero, L. (2013). O ensino de partículas elementares por meio da leitura de “Alice no País do Quantum”. In: *Atas do XX SNEF (Simpósio Nacional de Ensino de Física)*. Anais... São Paulo: SBF (Sociedade Brasileira de Física), USP.
- Pessanha, M. C. R. (2014). *Estrutura da matéria na educação secundária: obstáculos de aprendizagem e o uso de simulações computacionais*. (Doctoral Thesis, Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia). University of São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/T.81.2014.tde-28042014-202005.
- Pessoa, J. (2003). *Conceitos de Física Quântica*. Sao Paulo: Livraria da Física.
- Petit, M.F. y Solbes, J. (2012). La ciencia ficción y la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(2), 69-86.
- Petri, J. y Niedderer, H. (1998). A learning pathway in high-school level quantum atomic physics. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1075-1088. DOI: 10.1080/0950069980200905
- Petrucci, R., Herring, F., Madura, J. y Bissonette, C. (2011). *Química general. Principios y aplicaciones modernas*. Madrid, España: Prentice Hall Pearson.
- Piaget, J. (1968a). *Psicología de la Inteligencia*. Buenos Aires: Proteo.
- Piaget, J. (1968b). *Los estadios del desarrollo intelectual del niño y del adolescente*. La Habana: Editorial Revolucionaria.
- Piaget, J. (1973). *La representación del Mundo en el Niño*. Madrid: Morata.
- Pospiech, G. (2000). Uncertainty and complementarity: the heart of quantum physics. *Physics education*, 35(6), 393-399.

- Prieto, T., España, E. y Martín, C. (2012). Algunas cuestiones relevantes en la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad. *Eureka: Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 71-77.
- Prajapati, B., Dunne, M., & Armstrong, R. (2010). Sample size estimation and statistical power analyses. *Optometry Today*, 16(7).
- Psillos, D., & Kariotoglou, P. (2016). *Iterative design of teaching- learning sequences: Introducing the science of materials in European schools*. Dordrecht, The Netherland: Springer.
- Quílez, J. (2006). Análisis de problemas de selectividad de equilibrio químico: errores y dificultades correspondientes a libros de texto, alumnos y profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 219- 240.
- Quílez, J. (2009). Análisis de los errores que presentan los libros de texto universitarios de química general al tratar la energía libre de Gibbs. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(3), 317-330.
- Real Academia Española – RAE. (2019). *Diccionario de la Lengua Española*. España: RAE.
- Robles Garrote, P., & Rojas, M. del. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada. *Revista Nebrija De Lingüística Aplicada a La Enseñanza De Lenguas*, 9(18), 124-139. <https://doi.org/10.26378/rmlael918259>
- Robayo, W. (2016). *Fotón a partir de la teoría especial de la relatividad*. Universidad Francisco José de Caldas. Proyecto Curricular de licenciatura en Física. Bogotá.
- Rocha, C. R. (2008). *Sobre o ensino do conceito de estado em cursos introdutórios em mecânica quântica*. 179 f. (Dissertação Mestrado em Ensino de Física). Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Rodríguez, B. A. (2013). ¿Por qué hacer ciencia (básica) en Colombia?: la vision muy personal de un “científico” colombiano. *Tecno. Lógicas*, 30, 9-15.
- Rodriguez, A. (2018). *Diseño de un módulo basado en una herramienta computacional, para la enseñanza de conceptos preliminares de la mecánica cuántica a partir del experimento de franck-hertz*. Universidad Pedagógica Nacional Facultad de Ciencia y Tecnología Departamento de Física Bogotá, D.C.
- Rozo, M., Walteros, A. y Cortés, C. (2019). La actividad experimental como una parte fundamental para la enseñanza de la física moderna: el caso de la mecánica cuántica. *Tecné Episteme Y Didaxis: TED*, (45), 191-206.

- Ruiz, J. M. (2018). Una aproximación retórica a los memes en internet. *Revista Sigma: Revista de la Asociación Española de Semiótica*, 27, 995-1021.
- Rutherford, E. (1911). 'LXXIX. The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom. *Philosophical Magazine Series*, 6(21), 669-688.
- Sacristán, G. (2005). El currículum: ¿Los contenidos de la enseñanza o un análisis de la práctica? En: J. Gimeno y A. I. Pérez. *Comprender y transformar la enseñanza*. Madrid: Morata.
- Sales, G. L. Vasconcelos, F. H, Castro, J. A. y Pequeno, M. C. (2008). Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(3), 3501.1-3501.13.
- Savall, F. (2015). *L'ensenyament problematitzat de la física quàntica en batxillerat com a instrument de millora de l'aprenentatge*. (Tesis Doctoral). Universidad de Alicante, España.
- Savall, F., Domenech, J. L., Guisasola, J. y Martínez, J. (2016). Identifying student and teacher difficulties in interpreting atomic spectra using a quantum model of emission and absorption of radiation. *Physical Review Physics Education Research*, 12, 010132.
- Savall F., Domenech J. L., Martínez, J. (2015). ¿Cómo se emite y absorbe radiación?. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=¿Cómo+se+emite+y+absorbe+radiación%3F.+&btnG=
- Scott, P., Asoko, H. & Leach, J. (2008). Student conceptions and conceptual learning science. In: A. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education*. New York: Routledge.
- Sharma, S. (2014). Teaching probability: A socio-constructivist perspective. *Teaching Statistics*, 78-84.
- Silva, J., Cavalcanti, C. J. H. y Ostermann, F. (2015), Estratégias discursivas adotadas por professores em formação na compreensão do fenômeno da complementaridade em atividades didáticas mediadas pelo interferômetro virtual de Mach-Zehnder. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 15, 293-320.
- Sinarcas, V. (2013). *Proposta per a l'ensenyament i aprenentatge de la física quàntica en 2n de batxillerat* (Tesis Doctoral). Universidad de Valencia, España.

- 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.
- Singh, C. & Marshman, E. (2015). Developing an interactive tutorial on a Mach–Zehnder interferometer with single photons Proc. *Physics Education Research Conf.* (Minneapolis, MN). Doi:10.1119/perc.2014.pr.056
- Snyder, V. L. & Broadway, F. S. (2004). Queering High School Biology Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(6), 617-636.
- Solarte, M. (2006). Los conceptos científicos presentados en los textos escolares: son consecuencia de la transposición didáctica. *Revista iRed: Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa [en línea]*, 1(4).
- Solbes, J., (1990). La crisis de la física clásica y el surgimiento de la moderna en la investigación didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), 179-18.
- Solbes, J. (2013). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (II): Ejemplos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (2), 171-181.
- Solbes, J. (2014). De cómo el átomo se convierte en «real» y complejo y adquiere una estructura. *Educació Química EduQ*, 19, 18-25. DOI: 10.2436/20.2003.02.139
- Solbes, J. (2018). El modelo cuántico del átomo. Dificultades de comprensión y propuestas para su enseñanza. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 93, 26-33.
- Solbes, J. (2019). Cuestiones socio-científicas y pensamiento crítico: Una propuesta contra las pseudociencias. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 46, 81-99.
- Solbes, J., Calatayud, M. L., Climent, J. B. y Navarro, J. (1987a). Diseño De Un currículum para la introducción del modelo atómico cuántico. *Enseñanza de las Ciencias, Barcelona*, 5, 209-210.
- Solbes, J., Calatayud, M. L., Climent, J. B. y Navarro, J. (1987b). Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos. *Enseñanza de las Ciencias, Barcelona*, 5(3), 189-195.
- Solbes, J., Domínguez, M. C., Fernández, J., Furió, C., Canto, 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.
- Solbes Matarredona, J. J., Muñoz Burbano, Z. E., & Ramos Zambrano, G. E. (2019). Enseñanza de la estructura atómica de la materia en Colombia. *Revista Historia de la Educación Colombiana*, 2019, vol. 22, p. 99-117.

- 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.
- 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 y 2), 57-84.
- 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.
- Solbes, J. y Tarin, F. (1996). *Física 2o de Bachillerato*. Barcelona: Ed. Octaedro.
- Solbes, J. y Traver, M.J. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y química. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 103-112
- Solbes, J. y Torres, N. Y. (2012). Análisis de las competencias de pensamiento crítico desde el abordaje de las cuestiones sociocientíficas: un estudio en el ámbito universitario. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 26, 247-269.
- Sirhan, G. (2007). Learning Difficulties in Chemistry: An Overview. *Journal of Turkish Science Education*, 4(2), 2-20.
- Siqueira, M., Montanha, L., Batista, C. A. y Pietrocola, M. (2018). Obstáculos didáticos na inserção da Física Moderna e Contemporânea: um olhar a partir da formação de professores. *Tecné Episteme Y Didaxis: TED*, (Extraordin). Recuperado de <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/8704>
- Talero, P., y Robayo, W., (2016). Origen teórico del fotón, una introducción didáctica a la dualidad onda partícula. *Physics. Gen-ph. K*. Recuperado de arXiv:1611.08500v1.
- Telichevesky, L. (2015). *Uma perspectiva sociocultural para introdução de conceitos de Física Quântica no Ensino Médio: Análise das interações discursivas em uma unidade didática centrada no uso do interferômetro virtual de Mach-Zehnder*. (Mestrado em Ensino de Física). Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Trna, J. & Trnova, E. (2014). Design based research as an innovation approach in the construction and evaluation of IBSME. In: *Proceedings of the Frontiers in Mathematics and Science Education Research Conference* (pp. 187–191). Famagusta, North Cyprus.

- Talero, P. (2009). Didáctica de la mecánica cuántica: sistemas de dos estados. *XXXIII Congreso Nacional de Física*, (164). Santa Marta, Colombia.
- Tamayo, Ó., Sánchez, C. y Buriticá, O. (2010). Concepciones de naturaleza de la ciencia en profesores de educación básica. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 6(1), 133-169.
- Thomson, F. R. S. (1904). XXIV. On the structure of the atom: an investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle; with application of the results to the theory of atomic structure. *Philosophical Magazine Series*, 6(7), 237-265. DOI: 10.1080/14786440409463107
- Torres, G. (2018). *Diseño de una unidad de enseñanza potencialmente significativa para introducir la mecánica cuántica en la educación básica secundaria*. Universidad Nacional de Colombia. Sin definir.
- 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.
- Uhlenbeck, G. E. & Goudsmit, S.A. (1925). Ersetzung der Hypothese vom unmechanischen Zwang durch eine Forderung bezüglich des inneren Verhaltens jedes einzelnen Elektrons. *Die Naturwissenschaften*, 13, 953-954.
- Uribe, M. y Cuéllar, L. (2003). Estudio Histórico-Epistemológico del Modelo Atómico de Rutherford. *Tecné Episteme y Didaxis: TED*, (14). Recuperado de <https://doi.org/10.17227/ted.num14-5572>
- Valderrama, L. N., Rayo, D. F., Suesca, F. L. y Soler, M. G. (2017). Números cuánticos: una alternativa didáctica para su enseñanza y aprendizaje. *Tecné Episteme Y Didaxis: TED*. Recuperado de <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/4621>
- Valladares, D. & Sanz, R. (2011). Interpretación de Copenhague: de la explicación al instrumento predictivo. *Fundamentos en Humanidades*, XII(23), 25-35.
- Valverde, M. (2016). *Una propuesta didáctica de mejora sobre física cuántica*. (Tesis de Maestría). Universidad de Cádiz, Cádiz, España.
- Van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenny, S., Nieveen, N. (Eds.). (2006). *Educational design research*. London, UK: Routledge.

- Vázquez, A., Acevedo, J.A. y Massanero, M.A. (2005). Más allá de la enseñanza de las ciencias para científicos: hacia una educación científica humanística. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(2).
- Vilches, A. y Gil-Pérez, D. (2007). La necesaria renovación de la formación del profesorado para una educación científica de calidad. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 22, 67-85.
- Villaveces, J. (2000). Química y Epistemología, una relación esquivada. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 1(3), 9-26.
- Villaveces, J. L. (2001). La enseñanza de la estructura de los átomos y las moléculas. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 9, 108-118.
- Villaveces Cardoso, J. (2000). La enseñanza de la física a los cien años de la mecánica cuántica. *MOMENTO*, 0(21), 1-6.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Pensamiento y Lenguaje*. Buenos Aires, Argentina: La Pleyade.
- Vygotsky, L. S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Crítica: Barcelona.
- Walteros, L. A. (2016). *Actividades experimentales para la construcción de explicaciones alrededor de los fundamentos básicos de la mecánica cuántica*. Universidad Pedagógica Nacional Facultad de Ciencia y Tecnología, Departamento de Física, Bogotá D. C.
- Webber, M. (2006). *Inserção de mecânica quântica no ensino médio: uma proposta para professores*. (Dissertação em Física). Universidad e Federal do Rio Grande do Sul.
- Wertsch, J. V. (1993). *Voces de la mente. Un enfoque sociocultural para el estudio de la acción mediada*. Madrid: Aprendizaje/Visor.
- Zembylas, M. (2005). Three perspectives on linking the cognitive and emotional in science learning: Conceptual change, socio-constructivism and Poststructuralism. *Studies in Sciences Education*, 41, 91-115.
- Zollman, D. A., Rebello N. S. & Hogg, K. (2002). Quantum mechanics for everyone: Hands-on activities integrated with technology. *American Journal of Physics*, 70(3), 252-259.

Anexos

Anexo 1. Listado de libros

Nombre del libro	Editorial	Año de publicación	Código
Hola Ciencia	Susaeta	1994	LT1
Bibliografía: Chamorro, I., y Gutiérrez, C. A., (1994). <i>Hola Ciencia</i> . Colombia: Susaeta.			
Química Moderna	Bedut	1994	LT2
Bibliografía: Montoya Potes, R. (1994). <i>Química Moderna</i> , Editorial Bedut.			
Química 10. General e inorgánica	Migema	1996	LT3
Bibliografía: Manco L., F., (1996). <i>Química 10. General e inorgánica</i> . Bogotá, Colombia: Migema.			
Química y ambiente 1	Mc Graw Hill	1996	LT4
Bibliografía: Cárdenas S., F. y Gélvez S. C. (1996). <i>Química y Ambiente 1</i> . Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.			
Química 10	Educar Editores	1997	LT5
Bibliografía: Poveda Vargas., J. C., (1998). <i>Química 10</i> . Bogotá. D. C., Colombia: Educar Editores.			
Spín	Voluntad	1997	LT6
Bibliografía: Fernández Rincón., M. S. (1997). <i>Spín</i> . Santafé de Bogotá, Colombia: Voluntad.			
Exploremos la Química	Prentice Hall	2000	LT7
Bibliografía: Torrenegra G., R. D. y Pedrozo P., J. A. (2000). <i>Exploremos la Química</i> , Bogotá, Colombia: Prentice Hall.			
Hola química	Susaeta	2001	LT8
Bibliografía: Restrepo Merino, F., y Restrepo Merino, J. (2001). <i>Hola química</i> . Bogotá, Colombia: Susaeta.			
Química I	Santillana	2001	LT9
Bibliografía: Mondragón Martínez, C. H., Peña Gómez, L. Y., Sánchez de Escobar, M., y Fernández Rincón, M. S., (2001). <i>Química I</i> . Bogotá, Colombia: Santillana.			
Molécula I	Voluntad	2003	LT10
Bibliografía: Mora Penagos, W. M., Parga Lozano, D. L., y Torres Rodríguez, W. (2003). <i>Molécula I</i> . Bogotá, Colombia: Voluntad.			
Química	Norma	2003	LT11

Bibliografía:			
Química I	Norma	2004	LT12
Bibliografía: Castelblanco Marcelo, Y., Sánchez de Escobar, M., y Peña Suárez, O., (2004). <i>Química I</i> , Bogotá. D. C., Colombia: Norma.			
Química Inorgánica	Santillana	2005	LT13
Bibliografía: Mondragón Martínez, C. H., Peña Gómez, L. Y., Sánchez de Escobar, M., y Arbeláez Escalante, F. (2005). <i>Química I</i> . Santillana.			
Hipertexto	Santillana	2010	LT14
Bibliografía: Mondragón Martínez, C. H., Peña Gómez, L. Y., Sánchez de Escobar, M., Arbeláez Escalante, F. y Gonzáles Gutiérrez, D. (2010). <i>Hipertexto</i> . Santillana.			
Química Inorgánica	Mc Graw Hill	2016	LT15
Bibliografía: Martínez Avila, A., (Coor- Editorial), (2012) <i>Química Inorgánica</i> McGraw-Hill.			
Química I	Santillana	2014	LT16
Bibliografía: Castelblanco Marcelo, Y., Sánchez de Escobar, M., y Peña Suárez, O., (2006). <i>Química I</i> , Bogotá. D. C., Colombia.			
Química Moderna	Educación	2016	LT17
Bibliografía: García Sánchez, L. C., Páez Lancheros, M. E., Bautista López, J.E. y Vallejo Rodríguez, S. (2016). <i>Química Moderna</i> . Educación.			
Química Inorgánica	Norma	2018	LT18
Bibliografía: Castañeda Hortúa, M., Castelblanco Marcelo, Y., Coy Contreras, M. A., Marín Morales, M. Y., Peña Suárez, O. y Sánchez de Escobar, M., (2018). <i>Química Inorgánica</i> Norma.			

Anexo 2. Rejilla de libros

**ENSEÑANZA DE LA ESTRUCTURA ATOMICA DE LA
MATERIA EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA EN EL
DEPARTAMENTO DE NARIÑO**



REJILLA PARA ANALISIS DE LIBROS DE TEXTO

Instrumento adaptado del instrumento utilizado por Solbes y colaboradores (1987) en: “El Modelo Cuántico del Átomo”.

Identificación del texto
Nombre del Texto:
Autor/s:
Editorial:
Año:
Edición:
Grado o Nivel:
Nombre de la Unidad:

	Ítem	No lo hace	Lo hace Tangencial/	Lo hace
1	¿El texto presenta una introducción histórica del concepto de átomo?			
2.1	¿Para la presentación del modelo atómico de Thomson, presenta antecedentes?			
2.2	¿Para la presentación del modelo atómico de Rutherford presenta antecedentes?			
2.3	¿Para la presentación del modelo atómico de Bohr presenta antecedentes?			
3.1	¿Se explica el efecto fotoeléctrico?			
3.2	¿El efecto fotoeléctrico se explica mostrando una ruptura con la mecánica cuántica?			
4.1	Para la presentación de cada uno de los modelos atómicos, ¿Se diferencia claramente que los modelos de: - Thomson y Rutherford son clásicos?			
4.2	Para la presentación de cada uno de los modelos atómicos, ¿Se diferencia claramente que los modelos de: Bohr y Sommerfeld son pre-cuánticos?			
4.3	Para la presentación de cada uno de los modelos			

	atómicos, ¿Se diferencia claramente que los modelos de: Schrödinger es cuántico?			
5.1	¿Señala las inconsistencias de los modelos atómicos de Thomson?			
5.2	¿Señala las inconsistencias de los modelos atómicos de Rutherford?			
5.3	¿Señala las inconsistencias de los modelos atómicos de Bohr?			
6	¿Se justifica la necesidad de introducir el modelo cuántico?			
7	¿Introduce las relaciones de indeterminación?			
8	Las relaciones de indeterminación son introducidas de manera histórica, crítica.			
9	¿Las relaciones de indeterminación se explican adecuadamente?			
10	¿El electrón se explica como un objeto cuántico, que exige una nueva descripción?			
11	¿Se introducen los niveles de energía como solución de la ecuación de Schrödinger?			
12	¿Se introducen los números cuánticos n,l,m como solución de la ecuación de Schrödinger?			
13	¿El significado del número cuántico n se explica como aquel que determina el tamaño de los orbitales?			
14	¿El concepto de orbital se explica como la función de onda o de estado?			
15	¿Se explica que los orbitales están asociados a propiedades de los electrones y no tienen existencia independiente?			
16	¿El número cuántico espín se introduce como un nuevo número para explicar la experiencia configuraciones electrónicas, efecto Stern-Gerlach...)?			

Observaciones

Anexo 3. Instrumento profesores**ENSEÑANZA DE LA ESTRUCTURA ATOMICA DE LA
MATERIA EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA
INSTRUMENTO PARA PROFESORES EN
EJERCICIO**

Investigadora: ZULMAN ESTELA MUÑOZ BURBANO

Número de contacto: 3015125465

Correo electrónico: zulmamu0706@hotmail.com

Objetivo de la Investigación Fase I: la investigación tiene como propósito establecer cómo se enseña la temática de Estructura Atómica de la Materia en instituciones oficiales y privadas de educación secundaria, es decir: conceptos asociados, estrategias de enseñanza y recursos entre otros.

Participantes de la investigación: la participación es completamente voluntaria. Usted puede participar o abandonar el estudio en cualquier momento.

Procedimiento: su vinculación al estudio se hace a través del diligenciamiento del cuestionario anexo, si Usted lo considera conveniente, podemos ampliar la información a través de una entrevista.

Es importante aclarar que en ningún momento de la investigación se juzgará la pertinencia de las estrategias, herramientas o conceptos que Usted asocie a la enseñanza de la estructura atómica de la materia. De igual manera, su participación es una contribución para la investigación y por ende facilita la caracterización de la enseñanza de la estructura atómica de la materia en la educación secundaria en Colombia.

Privacidad y confidencialidad: La información personal que Usted suministra en este cuestionario es confidencial, por tanto, a cada cuestionario se asignará un código. Los resultados de esta investigación pueden ser publicados en revistas científicas o ser presentados en las reuniones científicas, sin dar a conocer la identidad de los participantes, solo se solicita información general.

Firma _____

Cuestionario

Información General

Tiempo de ejercicio en la docencia: _____

Formación académica: _____

Institución Educativa donde labora: _____

Grados de desempeño: _____

Le solicito respetuosamente el diligenciando este instrumento, su colaboración es fundamental en el desarrollo de la investigación. Para ello, en la primera parte es necesario marcar con X, según considere su respuesta, si no lo hace marcar en la primera casilla, o si en algunas ocasiones lo hace y otras no marcar la segunda casilla, de lo contrario en la tercera casilla si lo hace siempre.

No.	Ítem	No lo hace	Lo hace en ocasiones	Lo hace siempre
1	Al diseñar la planificación en el programa escolar, tiene en cuenta los libros de texto para: ¿Discriminar qué contenidos o conceptos contemplar en la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia?			
2	Al diseñar la planificación en el programa escolar, considera los libros de texto para: ¿Discriminar qué fenómenos contemplar en la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia?			
3	Al diseñar la planificación en el programa escolar, considera los libros de texto para: ¿Discriminar qué estándares, competencias promover en la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia?			
4	Al diseñar la planificación en el programa escolar, considera los libros de texto para discriminar: En qué periodo (o en qué momento de un periodo) incluir la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia (EAM)			
5	¿Considera conveniente la elaboración de maquetas en la enseñanza de EAM?			
6	¿Considera que la enseñanza de la EAM debe realizarse desde la historia de la ciencia?			
7	¿Considera conveniente la realización de experimentos en la enseñanza de la EAM?			
8	¿Aborda el efecto fotoeléctrico en el desarrollo de la temática de EAM o en otra?			
9	¿Aborda la dualidad onda partícula en el desarrollo de la temática de EAM o en otra?			

La segunda parte, corresponde a preguntas abiertas, por tanto, le solicito dar respuesta con toda la información que considera conveniente.

Ítem	Pregunta
1	¿Además de los libros de texto en la planeación de la enseñanza de la EAM, que otros elementos considera?
2	¿Por qué considera importante la enseñanza de la EAM en la educación media de nuestro país?
3	¿Qué contenidos considera convenientes para desarrollar el tema de Estructura Atómica de la Materia?
4	Qué estrategias y/o recursos didácticos considera en la enseñanza de la EAM
5	¿Qué estrategias utiliza para la enseñanza de los niveles de energía?
6	¿Qué estrategias utiliza para la enseñanza de los números cuánticos?
7	¿Qué estrategias utiliza para explicar el efecto fotoeléctrico y dualidad onda corpúsculo?
8	¿Relaciona la distribución y configuración electrónica con la EAM?, cómo lo hace?
9	¿Considera conveniente incorporar las relaciones de indeterminación (principio de Incertidumbre) en la explicación de la teoría atómica? ¿Por qué?
10	¿Considera conveniente introducir el modelo cuántico en la educación media en nuestro país? ¿Por qué?

Agradezco su colaboración.

Anexo 4. Instrumento Estudiantes

Objetivo de la Investigación Fase I: la investigación tiene como propósito establecer cómo se enseña la temática de Estructura Atómica de la Materia en instituciones oficiales y privadas de educación secundaria, la participación es voluntaria y la información personal que Usted suministra en este cuestionario es confidencial.

Información personal	
Nombre:	
Grado:	

1.- Cómo definiría una partícula?

2.- Cómo definiría una onda?

3.- Enuncia cinco palabras que asocie con cuántica:

4.- ¿Conoce algunos hechos que se relacionen con la crisis de la física clásica?

5.- ¿Cómo definiría electrón?

6.- ¿Cómo definiría fotón?

7.- ¿Cómo explica los niveles de energía en el átomo?

8.- ¿Cómo explica el principio de incertidumbre (Relaciones de Indeterminación) de Heisenberg?

9.- ¿Cómo definiría orbital atómico?

10.- ¿Como definiría número cuántico?

11.- ¿Qué relación hay entre números cuánticos y sistema periódico?

12.- Dibuja un átomo.

Anexo 5. Tablas Estadísticas

Significación Asintótica Bilateral

	P1-pre & p1-post	P2-pre & p2-post	P3-pre & p3-post	P4-pre & p4-post	P5-pre & p5-post	P6-pre & p6-post	P7-pre & p7-post	P8-pre & p8-post	P9-pre & p9-post	P10-pre & p10-post	P11-pre & p11-post	P12-pre & p12-post
Valores distintos	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Casos fuera de la diagonal	166	168	164	124	151	159	93	100	107	106	99	135
Estadístico MH observado	81,000	50,000	14,000	4,000	30,000	19,000	7,000	5,000	11,000	1,000	1,000	60,000
Estadístico MH de media	185,500	172,500	133,000	107,500	139,000	149,000	78,500	88,500	94,500	92,500	79,500	134,500
Desviación estándar del estadístico MH	9,421	10,283	9,899	9,657	9,460	10,954	7,984	8,846	8,902	9,179	8,261	8,261
Estadístico MH estándar	-11,093	-11,912	-12,021	-10,718	-11,522	-11,867	-8,955	-9,439	-9,380	-9,969	-9,502	-9,018
Sig. Asintótica (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra PRE-Test

		TOTAL_PRE
N		200
Parámetros normales ^{a,b}	Media	1,92
	Desv. Desviación	1,718
Máximas diferencias extremas	Absoluto	,185
	Positivo	,185
	Negativo	-,133
Estadístico de prueba		,185
Sig. asintótica(bilateral)		,000 ^c

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra POST-Test

TOTAL_POST		
N		200
Parámetros normales ^{a,b}	Media	13,63
	Desv. Desviación	6,403
Máximas diferencias extremas	Absoluto	,095
	Positivo	,080
	Negativo	-,095
Estadístico de prueba		,185
Sig. asintótica(bilateral)		,000 ^c

Estadísticos de prueba^a

Z	TOTAL_POST - TOTAL_PRE
	-12,201 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	,000

Estadísticos de prueba^a

TOTAL_CONTROL	
U de Mann-Whitney	2776,500
W de Wilcoxon	8341,500
Z	-10,570
Sig. asintótica(bilateral)	,000

a. Variable de agrupación: grupo

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra. PRE-Test

TOTAL_PRE		
N		200
Parámetros normales: a, b	Media	1,92
	Desv. Desviación	1,718
Máximas diferencias extremas	Absoluto	,185
	Positivo	,185
	Negativo	-,133
Estadístico de prueba		,185
Sig. asintótica(bilateral)		,000 ^c

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra POST.

TOTAL_POST		
N		200
Parámetros normales: a, b	Media	13,63
	Desv. Desviación	6,403
Máximas diferencias extremas	Absoluto	,095
	Positivo	,080
	Negativo	-,095
Estadístico de prueba		,185
Sig. asintótica(bilateral)		,000c

Rangos

TOTAL_POST		N	Rango promedio	Suma de rangos
- TOTAL_PRE	Rangos negativos	1 ^a	3,00	3,00
	Rangos positivos	197 ^b	99,99	19698,00
	Empates	2 ^c		
	Total	200		

Estadísticos de prueba a

Z	TOTAL_POST - TOTAL_PRE
	-12,201 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	,000

Prueba de Mann-Whitney

Rangos				
TOTAL_CONTTROL	grupo	N	Rango promedio	Suma de rangos
	1	105	79,44	8341,50
	2	200	191,62	38323,50
	Total	305		

Estadísticos de prueba a

TOTAL_CONTTROL	
U de Mann-Whitney	2776,500
W de Wilcoxon	8341,500
Z	-10,570
Sig. asintótica(bilateral)	,000

a. Variable de agrupación: grupo