

**EL MODELO ATÓMICO MECÁNICO-CUÁNTICO: ESTRATEGIAS PARA SU
ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE**

**WILFER PATIÑO VASCO
WILLIAM ANDRÉS VALLEJO URÁN**

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
LICENCIATURA EN EDUCACIÓN BÁSICA CON ENFASIS EN CIENCIAS
NATURALES Y EDUCACIÓN AMBIENTAL
MEDELLÍN
2011**

**EL MODELO ATÓMICO MECÁNICO-CUÁNTICO: ESTRATEGIAS PARA SU
ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE**

**WILFER PATIÑO VASCO
WILLIAM ANDRÉS VALLEJO URÁN**

**La presente Investigación Monográfica es presentada con el objeto de obtener el
título de Licenciados en Educación Básica con énfasis en Ciencias Naturales y
Educación Ambiental**

**Asesora
GLORIA MARÍA CARDONA CASTAÑO**

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
LICENCIATURA EN EDUCACIÓN BÁSICA CON ÉNFASIS EN CIENCIAS
NATURALES Y EDUCACIÓN AMBIENTAL
MEDELLÍN
2011**

DEDICATORIA

“A mis padres por su amor, paciencia y comprensión; a Amparo por su apoyo incondicional y su acompañamiento obsesivo y a Natalia que se ha convertido en el más valioso de los tesoros que guardo en mi corazón”

William A. Vallejo U.

“A Lina Marcela por su apoyo incondicional en mi camino de lucha; a Ángel David y Susana por ser la inspiración de todo lo que hago y a mis padres por su apoyo moral.

Wilfer F. Patiño Vasco.

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada, deseamos agradecerle a la vida, ya que fue ella quien nos otorgó sus indescriptibles dones, brindándonos de paso, la posibilidad de sentir, percibir y conocer.

A nuestras familias por su fe en nosotros y por ese constante e incondicional apoyo a lo largo de este camino de crecimiento personal y formación profesional, que aun aquí, no termina.

A las instituciones educativas, Colegio Campestre El Remanso e Institución Educativa Suárez de la Presentación Bello, por facilitar sus instalaciones y permitir que en ellas, se llevara a cabo este proyecto de investigación.

A nuestra asesora Gloria María Cardona Castaño por toda su paciencia, tolerancia, acompañamiento, comprensión y sabiduría durante todo este proceso de construcción y aplicación de conocimientos, de crecimiento personal y formación profesional.

CONTENIDO

	pág.
RESÚMEN.....	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I	
JUSTIFICACIÓN.....	15
CAPITULO II	
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	17
2.1 Planteamiento del problema:.....	17
2.2 Identificación del problema:	20
2.3 Antecedentes:	20
CAPITULO III	
OBJETIVOS.....	26
3.1 Objetivo General	26

3.2	Objetivos Específicos.....	26	
CAPITULO IV			
MARCO REFERENCIAL			28
4.1.	Marco Contextual:.....	28	
4.2.	Marco Teórico:	30	
4.2.1.	Teoría de los Campos Conceptuales de Gerard Vergnaud:	30	
4.2.2.	Teoría Mecánico-cuántica	36	
CAPITULO V			
MARCO METODOLÓGICO.....			55
5.1	Enfoque de la investigación	55	
5.2	Población y sujetos	58	
5.2.1.	Descripción de los participantes del estudio:.....	58	
5.3.	Metodología de la Propuesta de investigación.	59	
5.3.1.	Descripción general de la propuesta	59	
5.3.2.	Propuesta de Intervención	61	
5.3.3.	Fases de la Investigación	70	

CAPITULO VI

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....88

6.1. Organización de los datos e información:88

6.2. Análisis de la Fase I:.....88

6.2.1. Análisis de los invariantes operatorios presentados por los estudiantes al inicio de la propuesta de intervención –Estado Inicial-90

6.3. Análisis de la Fase II.....97

6.3.1. Análisis de la segunda y tercera serie de situaciones (intervención) (Ver anexo A7).....97

6.3.2. Análisis comparativo de los estados inicial y final de los invariantes operatorios105

6.3.3. Análisis comparativo de todos los casos (Estado Final).....112

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES.....118

7.1 Conclusiones.....118

7.2 Recomendaciones121

BIBLIOGRAFÍA124

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Algunas funciones trabajo de los metales:	42
Tabla 2. Estructuración de los dominios conceptuales a enseñar.	72
Tabla 3. Categorización de las situaciones del cuestionario de Invariantes operatorios.	89
Tabla 4. Categorización de las series de situaciones problemas.....	97
Tabla 5. Análisis comparativo de todos los casos (Estado final).....	112

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Representación del modelo atómico de Ernest Rutherford.....	44
Figura 2. Representación del modelo atómico de Joseph Thompson	45
Figura 3. Representación del modelo atómico de Niels Bohr.....	48

LISTA DE MAPAS

	pág.
Mapa 1. Teoría de campos conceptuales.....	35
Mapa 2. Teoría mecánico – cuántica	54

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Tablas	128
Anexo B. Evidencias fotográficas.....	160
Anexo C. Lectura: La teoría atómica y la estructura de la materia: Evolución de los modelos atómicos	162
Anexo D. El modelo atómico mecánico-cuántico: estrategias para el mejoramiento de su enseñanza y aprendizaje	167

RESÚMEN

En esta investigación se presentan los resultados obtenidos en relación a las posibles modificaciones o evolución conceptual de un grupo de estudiantes de décimo grado de Educación Media con respecto a la temática del modelo atómico mecánico-cuántico. El ejercicio investigativo se fundamentó en el enfoque de investigación cualitativo, en el estudio de caso específicamente y en el proceso de conceptualización comprendido desde la teoría de Campos Conceptuales de Gerard Vergnaud. El estudio se llevó a cabo con un grupo de estudiantes del grado décimo de Educación Media, pertenecientes a dos instituciones educativas ubicadas en contextos socioculturales y socioeconómicos muy diferentes del Valle del Aburrá, cuyas edades oscilaban entre los 14 y 16 años. Para la recolección de la información, se aplicaron un cuestionario (el mismo al inicio y al final de la propuesta) y dos series de situaciones (cada una de cuatro situaciones); así como la información contenida en los diarios pedagógicos y los registros escritos y audiovisuales obtenidos por los docentes investigadores. Los resultados muestran que mediante la implementación de situaciones novedosas y la diversidad de estrategias didácticas como las ofrecidas desde la virtualidad, pueden modificarse esquemas en la estructura cognitiva de los estudiantes generando rupturas y filiaciones conceptuales interesantes que se acercan significativamente a los conceptos planteados desde el campo disciplinar de la mecánica-cuántica.

Palabras Clave: Átomo, Modelo, Mecánica-Cuántica, Campos Conceptuales, conceptualización, Invariantes operatorios.

INTRODUCCIÓN

Los modelos atómicos de Demócrito y Leucipo, Dalton, Thompson, Rutherford y Bôrh, han sido objeto de enseñanza en las clases de Química durante años en nuestro sistema educativo colombiano, dichas temáticas bajo la denominación de “estructura atómica”, “el átomo” o simplemente “introducción a la química inorgánica”, tienen como objetivo principal comprender el “funcionamiento” de la materia que nos rodea, desde las tan conocidas configuraciones electrónicas para explicar la tabla periódica hasta los conceptos de enlace, previos para trabajar la nomenclatura de compuestos inorgánicos, (dos de los temas más significativos de la química) tratada desde los grados menores de la educación básica primaria, los cuales por su misma naturaleza teórica y “lineal” muchas veces pueden parecer a los estudiantes una temática compleja, aburrida y hasta “innecesaria” por su “poca aplicación cotidiana” ya que al parecer de muchos son “eventos pasados” que no aportan al desarrollo conceptual, en este caso de la asignatura, sin comprender la importancia de falsear cada modelo a la luz del más reciente, lo cual es una de las principales peticiones o sugerencias de la historia y epistemología de las ciencias a los docentes por un lado y al uso de las nuevas tecnologías informáticas de la comunicación por el otro, así como también la familiarización de esos contenidos científicos con los estudiantes de nuestro país, evento que se logra con la implementación de nuevas estrategias didácticas en el aula, hecho que implica el trabajo colaborativo entre pares, la discusión heterogénea y homogénea, la modelación utilizando software especializado y / o materiales cotidianos, la comprensión lectora y la realización de técnicas metacognitivas como por ejemplo el mapa conceptual por parte de los estudiantes a medida que se transforman sus invariantes operatorios.

El presente trabajo de investigación pretende entonces, sugerir una metodología que incluye los aspectos anteriormente mencionados en pos de darle a los maestros herramientas para ser tenidas en cuenta en el aula en la enseñanza del modelo atómico

mecánico cuántico (MAMC) el cual no es solo responsabilidad de los docentes de química sino también de otros por ejemplo, los de física, matemáticas, lengua castellana y filosofía, por lo cual este modelo más que una temática, es un eje transversal interdisciplinar.

Dicha herramienta, producto de un proceso de intervención didáctica en estudiantes de educación media, si bien no es garante de un entendimiento pleno del modelo en cuestión, por lo menos acerca a los actores del proceso educativo (maestro - estudiante) de una forma menos “compleja” al modelo contemporáneo del átomo que se incluye en el estudio de la química pero que la gran mayoría de veces no es asimilado ni por los estudiantes ni por los docentes.

CAPITULO I

JUSTIFICACIÓN

“Para muchos estudiantes, el aprendizaje del modelo atómico mecánico-cuántico, presenta dificultades que resultan de las grandes diferencias entre las perspectivas de la mecánica cuántica y las de la física clásica” (Budde, Niedderer, Scott, and Leach, 2002. p. 197)

El modelo atómico mecánico-cuántico (MAC), viene siendo desde hace más de ochenta años, el modelo que rige u orienta nuestro conocimiento actual sobre la estructura interna de la materia y, a pesar de esto, su enseñanza y aprendizaje, no han sido abordados –en el caso en que se hace- de la mejor manera, ya que, por un lado, los docentes de Ciencias Naturales no hemos sido preparados para ello y, por el otro, a la dificultad que el abordaje de los conceptos cuánticos suscita para los docentes debido a su gran contenido matemático y a su carácter abstracto.

Hoy en día, la mecánica-cuántica es la teoría utilizada por los físicos de todo el mundo y ha producido resultados y avances muy significativos en campos como la supraconducción, los semiconductores, los transistores y hasta la bomba atómica, le debe en parte su existencia a esta teoría. Para comprender el mundo tal y como hoy es concebido, es necesario un mínimo o básico conocimiento sobre el MAC, debido a la infinidad de aplicaciones y/o adelantos tecnológicos que éste ha permitido, las actuales condiciones y calidad de vida, todo el confort y facilismo que hoy nos rodea han sido fruto de la interpretación y aplicación del MAC.

Es pertinente pues, que nuestros estudiantes interactúen con los conceptos básicos que permiten la construcción del MAC, los interpreten a la luz de la tecnología actual

(de la cual son tan “amigos”) y verifiquen sus aplicaciones en el mejoramiento de la calidad de vida y en la ampliación de las fronteras de nuestro conocimiento frente a la naturaleza interna de la materia y por qué no, a la expansión de nuestras limitadas fronteras espaciales.

CAPITULO II

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1 Planteamiento del problema:

Para nadie es un secreto que los estudiantes de educación media de la gran mayoría de instituciones educativas, no solo a nivel local sino también a nivel nacional, han tenido muy poco acercamiento con la teoría referente a los modelos atómicos y más aun si se trata del modelo vigente en la actualidad, el modelo atómico mecánico – cuántico, el cual por su connotación física y matemática, genera una repulsión en la gran mayoría de docentes no solo de educación básica y media, sino también de educación superior por requerir del estudiante muy buen dominio y bagaje en las áreas de matemáticas y física.

Pero ¿A quién se debe culpar por dicho fenómeno? Si es que ésta, es una temática que causa fobia a muchos de los sujetos implicados directa o indirectamente en la educación a nivel nacional: a los profesores “formadores de docentes” ya que no han abordado de la mejor manera esta temática, a los maestros de educación básica primaria, secundaria y educación media debido a que no han sido formados para ello y, peor aún, a los investigadores creadores de material bibliográfico que alimentan teóricamente, no solo al sistema de Educación Básico sino también al sistema universitario, tampoco lo han abordado de forma realmente significativa, lo cual conlleva a una evidente dificultad para garantizar procesos de enseñanza y aprendizaje actualizados –por lo menos en cuanto al modelo atómico mecánico-cuántico que se encuentra vigente hace más de ochenta años- y contextualizados que permitan concebir e interpretar el mundo tal como ahora lo hacemos, resaltando la importancia de su conocimiento y aplicación en la actualidad moderna.

La no enseñanza del modelo atómico mecánico – cuántico en los diferentes “niveles” de la educación en Colombia se torna en una problemática ya que imposibilita la comprensión de fenómenos que solo pueden entenderse por medio del conocimiento del modelo atómico contemporáneo, esta problemática se evidenciará a través de tres ejes particulares:

Primero, nuestro sistema educativo Colombiano, direccionado por el Ministerio de Educación Nacional (MEN), en dos de sus documentos más importantes para regular la educación (Estándares de educación y Lineamientos Curriculares en Ciencias Naturales y Educación Ambiental), presenta como saber básico el conocimiento de los modelos atómicos pero, en ninguno de los dos textos, se especifica el modelo mecánico – cuántico, y su abordaje o enseñanza no se hace explícito en ellos. En los estándares de educación para los grados Décimo y Undécimo, más específicamente, en los conocimientos referidos a su entorno físico y procesos químicos, se plantean como competencias a adquirir para dichos grados:

- a. Explico la estructura de los átomos a partir de diferentes teorías.
- b. Explico la obtención de energía nuclear a partir de la alteración de la estructura del átomo.
- c. Explico la relación entre la estructura de los átomos y los enlaces que realiza.

Y en los lineamientos Curriculares, bajo el título **Contenidos curriculares por grupos de grados (Numeral 1.4.2)**, para los grados Décimo y Undécimo se indica: “se debe alcanzar el ultimo nivel de los procesos de pensamiento y acción”, además “los temas de estos cursos deben ser tratados desde grandes teorías y fundamentarse en leyes

más generales, las teorías tales como la del Big Bango, la teoría atómica,...deben servir de marco y fundamento de la integración, de la síntesis teórica”, además “los temas tratados en cursos anteriores podrán ser retomados e integrados a los nuevos desde esta misma perspectiva teórica integradora, utilizando la terminología especializada del lenguaje duro de la ciencia y la tecnología”. Asimismo, dentro de los contenidos científicos básicos, en el ámbito de los procesos químicos, se orienta así: “Estructura atómica y propiedades de la materia: La tabla periódica de los elementos: un modelo científico. La tabla y los modelos atómicos...” Como se puede observar, en las directrices de la educación nacional se encuentra como tema obligatorio los modelos atómicos pero solo se aprecia una recapitulación “significativa” en la mayoría de libros de texto hasta el modelo atómico de Bohr propuesto en 1913, el cual, por sí solo, no explica los variados procesos tecnológicos actuales.

Segundo, los docentes de educación básica y media no se encuentran lo suficientemente preparados en el tema para compartirlo con sus estudiantes, ya que las instituciones de educación superior “formadoras de maestros” no consideran necesaria la inclusión de este modelo, por lo que nuestro sistema educativo no lo exige específicamente, la temática es ofrecida a los estudiantes universitarios de programas correspondientes a las ciencias exactas como por ejemplo Física o Química, ya que ni siquiera los futuros Ingenieros tienen ese privilegio.

Tercero, los pocos profesionales interesados en la producción intelectual (textos y manuales) para apoyo de las actividades docentes, la mayoría de veces evaden el modelo atómico mecánico – cuántico, por su grado de dificultad y porque no son netamente investigadores; solo se dedican a recopilar temáticas que no son para nada novedosas, lo que condena a nuestros estudiantes a estar aislados de la “nueva ciencia” y por ende, a repetir todo el ciclo descrito anteriormente.

Debido a todo lo anterior, surge la necesidad de indagar sobre nuevos mecanismos para llevar a las aulas de clase en los grados décimo (10º) de Educación Media el modelo atómico actual, implementando estrategias para conocer las ideas previas de los estudiantes, hacer un análisis de éstas, y formular metodologías pedagógicas y didácticas para que sea lo menos “traumático” posible para los actores de la educación (docentes y estudiantes) y para que logren aprendizajes significativos, no solo para el curso de química inorgánica en dicho grado, sino también que les ayuden a enfrentar el contenido de química orgánica en el grado undécimo y porque no, los lleve a tener un sentido más reflexivo acerca de cómo surgió la ciencia y como va evolucionando en el tiempo.

2.2 Identificación del problema:

¿Cuales modificaciones son posibles identificar en la manera cómo un grupo de estudiantes del grado décimo de Educación Media, conceptualizan y representan el modelo atómico mecánico-cuántico durante un proceso de intervención didáctica, orientado al progresivo dominio conceptual de éste?

2.3 Antecedentes:

Dentro del campo de la estructura interna de la materia, el átomo, su constitución, su estructura, así como su enseñanza, estudio y comprensión por parte de los estudiantes a partir de las ideas o concepciones alternativas que éstos mantienen sobre el mismo, han venido siendo aspectos abordados por la investigación didáctica en los últimos años. Autores como Pozo, Gómez-Crespo, Limón y Sanz (1991), Benarroch (2001), Gallego (2002), De la Fuente, Perrota, Dima, Gutiérrez, Capuano y Follari (2003) y Trinidad-Garriz (2003) coinciden en señalar que las concepciones alternativas de los

estudiantes se mantienen aún después de realizar estudios formales de química. Estas investigaciones analizan los diversos modelos atómicos propuestos a través de la historia del desarrollo del concepto de átomo, ya que este concepto, su evolución y desarrollo es de vital importancia para percibir y comprender el mundo tal y como ahora lo concebimos, todos nuestros adelantos técnicos y tecnológicos se deben a la construcción, dominio y aplicación de dicho concepto, por lo que se ha considerado pertinente indagar sobre su “estado” en los estudiantes de secundaria e incluso en estudiantes universitarios. Por otro lado, en estas investigaciones, se ponen de manifiesto las dificultades de aprendizaje que presentan los estudiantes para comprender y representar la estructura del átomo, y más aún, cuando se habla del modelo atómico contemporáneo, el modelo atómico mecánico-cuántico cuya forma de enseñarse además, –si es que se hace- no está siendo la más adecuada, o no por lo menos, en términos de aprendizajes significativos por parte de los estudiantes. En las últimas décadas, se han venido desarrollado investigaciones (Cuppari, Rinaudo, Robutti y Violino, 1997; Gutiérrez, Capuano, Perrota y otros 2000 y Caamaño, 2004), en las cuales se proponen estrategias didácticas para la enseñanza de este modelo, atendiendo a la dificultad que suscita para los estudiantes la comprensión de los conceptos cuánticos, ya que “los significados de los conceptos cuánticos pueden no ser percibidos por los alumnos debido a la gran influencia de los significados de los conceptos clásicos ya arraigados en su estructura cognitiva, los que actúan como obstáculos representacionales mentales” (Moreira y Greca, 2004, p.1).

La humanidad ha llegado al concepto moderno de átomo a través de una construcción histórica y epistemológica que se remonta a los tiempos de los pensadores Griegos como Demócrito de Abdera (460 – 370 a.C.) y Leucipo de Mileto (480 – 420 a. C.), quienes sostuvieron que todo lo que existe está compuesto por “átomos”, minúsculas partículas indivisibles o sin partes. Esta idea fue cambiando con el correr del tiempo y el consecuente avance del conocimiento científico, teniendo su mayor desarrollo durante el siglo XX, con los modelos atómicos propuestos por J. J. Thomson (1907), Ernest Rutherford (1911) y Niels Bohr (1913) (Cruz y Garritz, 1991). Sin embargo, estos modelos o

propuestas han sido reevaluadas y, hoy en día la concepción contemporánea del átomo es totalmente diferente, construida con una marcada influencia de la mecánica cuántica. Es aquí precisamente, donde surge una de las primeras dificultades u obstáculos en el campo de la enseñanza de las ciencias, ya que en el acercamiento al concepto de átomo “se debe mostrar a los estudiantes cómo los modelos atómicos (Capuano, Dima y otros, 2007, p. 2) han cambiado históricamente y cómo pueden cambiar en el futuro” (Capuano, Dima y otros, 2007, p. 3) y la tarea de presentar una perspectiva histórica, cambiante y evolutiva del concepto de átomo es un asunto que le compete al maestro, pero que lastimosamente, en la mayoría de las ocasiones, no se hace.

Entre los modelos atómicos propuestos a través de la historia del desarrollo del concepto de átomo, el que presenta mayor “influencia y reconocimiento” por parte de los estudiantes es el modelo planetario de Rutherford, ya que “la imagen publicitaria de dicho modelo ha contribuido a construir mentalmente una imagen del átomo en el colectivo estudiantil y social” (Muñiz, 2008 – 2009, p. 6). “El modelo de átomo que al parecer tienen la mayoría de los estudiantes, es un modelo orbital con el núcleo en reposo y los electrones girando a su alrededor, aunque no saben por qué, indivisible y muy pequeño” (De La Fuente, y otros, 2003, p. 129); un modelo acorde a la imagen publicitaria que nos han vendido los medios de comunicación y que al parecer, los libros de texto se han encargado de difundir en la escuela.

Atendiendo a la conceptualización del átomo desde el modelo planetario de Rutherford, se han reportado dificultades como el hecho de que “los estudiantes piensan que los electrones no se separan del átomo y si esto ocurre dejaría de existir” (De La Fuente y otros, 2003, p. 129) y con respecto a la naturaleza corpuscular de la materia los estudiantes presentan dificultades para comprender dicha realidad, así como la existencia del vacío entre las partículas y la idea de discontinuidad de la materia; además, no hay claridad en relación a la presencia de cargas eléctricas en la materia. Esta percepción de continuidad de la materia se debe a que “los estudiantes tratan de

dar explicaciones a los fenómenos mencionando las variables macroscópicas asociadas a esta naturaleza continua, variables como su masa o peso, su densidad, su estado de agregación, etc.” (Trinidad y Garritz, 2003, p. 94).

En el contexto educativo actual, se acepta que existe una variedad de perspectivas y metodologías de enseñanza del átomo que responden a una perspectiva clásica que se hace visible en los libros de texto y cuya marcada influencia se evidencia en las **respuestas de los estudiantes**, entre las cuales podríamos citar; “el electrón es la parte del átomo que se mueve, los protones y los neutrones son estáticos”, otros mencionan, “las orbitas son las partes del átomo que se mueven” (De La Fuente y otros, 2003, p. 129) reflejando dificultades de origen conceptual y epistemológico. La enseñanza del átomo desde una visión o perspectiva clásica –que en ocasiones parece mezclar de forma arbitraria y desarticulada los conceptos cuánticos- “trata a los núcleos atómicos como objetos clásicos, de formas y posiciones bien definidas, al mismo tiempo que trata a los electrones como objetos cuánticos, en una contradicción epistemológica total sobre la cual no se puede construir una teoría adecuada” (Villaveces, 2008, p. 4). Además, se reportan trabajos donde se expresa que, las dificultades conceptuales se deben en parte a los tres niveles de descripción de la materia que se trabajan en la enseñanza de la química, a saber, “el nivel macroscópico, que se refiere a las propiedades observables de la materia; el nivel microscópico, que hace referencia a la naturaleza corpuscular de la materia y el nivel representacional, que se vale de símbolos, fórmulas y ecuaciones” (Muñiz, 2008 – 2009, p. 1). Los estudiantes solo tienen una visión o imagen del nivel macroscópico ya que éste es el que perciben a través de los órganos de los sentidos, es decir, aquel que es una realidad tangible y evidenciable. El nivel microscópico, al estar oculto o imperceptible a los sentidos, se torna más complejo de imaginar y concebir, ya que se muestra como una realidad oculta que debe representarse y modelizarse para estudiarse y comprenderse (percibirse). El nivel representacional, presenta dificultades debido a las predisposiciones que se generan en los estudiantes cuando se trabaja con expresiones matemáticas.

La revolución científica del siglo XX, en la cual se propusieron los diversos modelos atómicos para representar la estructura interna de la materia, permitió la construcción de un modelo de la estructura del átomo basado en la teoría de la mecánica-cuántica. Este modelo, nos presenta al átomo como un “objeto matemático”, ya que en él se describe cada estado del átomo por una función, un valor matemático. La enseñanza del modelo cuántico y los diversos conceptos implícitos en él, ha despertado un particular interés al interior de la didáctica de las ciencias, gracias a los trabajos de investigación reportados (Budde, Niedderer, Scott y Leans, en 2002; Villaveces Cardoso en 2008 y Serap, Gamze y Erol en 2009) y a las discusiones que de ellos se han desprendido evidenciando una serie de dificultades para la enseñanza y aprendizaje de este modelo atómico. Con respecto a esto, José Luis Villaveces plantea que “el primer obstáculo para la enseñanza de la estructura atómica proviene de un miedo a la teoría cuántica que domina a la mayoría de nuestros docentes totalmente injustificado y que tiene como única causa la enorme ignorancia que tienen de ella” (Villaveces, 2008, p. 1). Este obstáculo se desprende de la pobre o nula formación que tiene el profesorado de ciencias sobre la teoría cuántica y por consiguiente su forma de enseñanza está marcada por “la influencia de las facultades de educación y de los libros de texto” (Villaveces, 2008, p. 2).. De aquí que, si las teorías sobre la estructura atómica y molecular contemporáneas son teorías basadas en la cuántica, que generan modelos matemáticos para estos conceptos, es necesario plantearlos como tales a los estudiantes y antes de esto, es necesario formar al profesorado de ciencias para que adquiriera fundamentos teóricos y conceptuales sólidos –o por lo menos básicos- que le permitan presentar y posibilitar el aprendizaje de este modelo a sus estudiantes gracias a su comprensión y dominio propios.

Desde la perspectiva constructivista planteada por Moreira y Greca “parte de la dificultad para la introducción de los conceptos cuánticos deriva del hecho de que, además de ser presentados tardíamente, se tiende a enfatizar las diferencias y contrastes con la física clásica, sucediendo, muchas veces, que el alumno ignore los conceptos clásicos correspondientes” (Moreira y Greca, 2004, p.6) de manera tal, que

estas ideas no podrán servir como ideas o conceptos de anclaje para la introducción del nuevo conocimiento, sino todo lo contrario, dificultaran su comprensión y aprendizaje por lo que los conocimientos previos de los estudiantes, pueden convertirse en obstáculos representacionales mentales debido a su estabilidad y arraigo en la estructura cognitiva.

Un estudio realizado en el año 2009, por Serap Caliskan, Gamze Sezgin Selcuk y Erol Mustafa, con estudiantes universitarios de la Facultad de Educación de la Universidad de Buca Dukus Eylul, en Izmi, encontró que las dificultades de aprendizaje de la física cuántica se deben principalmente a tres razones: 1) Al alumno formado en la tradición de la física clásica, le resulta difícil adaptarse a los principios de la física cuántica; como la incertidumbre, la probabilidad, etc. 2) La dificultad de los estudiantes para conectar las diferentes etapas en la evolución de la conceptualización de la materia. 3) Los dos enfoques matemáticos estándar de la física cuántica como la matriz mecánica de Heisenberg y la mecánica ondulatoria de Schrödinger son tan diferentes que a los estudiantes les resulta difícil entender cómo pueden describir la misma física. (Serap y otros, 2009, p.205.

CAPITULO III

OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Evaluar las posibles modificaciones en la conceptualización sobre el modelo atómico mecánico-cuántico en un grupo de estudiantes del grado décimo de Educación Media, a partir del análisis de las diferentes representaciones que expresan, durante la implementación de series de situaciones que favorezcan su aprendizaje desde una perspectiva contemporánea.

3.2 Objetivos Específicos

- Analizar los conocimientos en acción (invariantes operatorios) que activan un grupo de estudiantes del grado décimo de Educación Media, cuando se enfrentan a situaciones relacionadas con el modelo atómico mecánico-cuántico.

- Proponer estrategias de enseñanza, en el marco de la Teoría de Campos Conceptuales, como la implementación de secuencias de situaciones tanto cognitivas como didácticas y los laboratorios o experiencias virtuales, tendientes a la conceptualización del modelo atómico mecánico - cuántico.

- Implementar las estrategias de enseñanza que favorezcan la modificación y/o ampliación de esquemas cognitivos de los estudiantes del grado décimo sobre el modelo atómico mecánico –cuántico.

- Evaluar las posibles modificaciones en las conceptualizaciones de los estudiantes del grado décimo sobre el modelo atómico mecánico – cuántico, a partir del análisis comparativo de los estados inicial y final de sus conceptos y teoremas en acción.

CAPITULO IV

MARCO REFERENCIAL

4.1. Marco Contextual:

El COLEGIO CAMPESTRE EL REMANSO, se encuentra ubicado en el municipio de Sabaneta (Antioquia.), en la calle 78 Sur N° 40 – 230 (Finca La Palestina), vereda Cañaveralejo, ubicada en el sector Sur del municipio. Allí están ubicadas la Institución Educativa Rafael J. Mejía, la institución pública más moderna y con mayor capacidad estudiantil del municipio y el preescolar Pompitas de Colores (de carácter privado). Además, se encuentra una de las entradas para la institución universitaria CEIPA, la cual es vecina de la institución. Por el costado Norte de la institución cruza una quebrada llamada “La Sabanetica” la cual es el objeto de intervención de su proyecto educativo ambiental (PRAE).

El contexto socio-cultural donde está ubicado el Colegio Campestre El Remanso, se encuentra bien diferenciado, la parte alta de la vereda, está habitada por personas que en su gran mayoría, hacen parte de la mano de obra de fabricas y empresas de la construcción, otros son propietarios o conductores de vehículos de carga y transporte público y un pequeño porcentaje, se dedica a la agricultura, la ganadería, así como a la cría y entrenamiento de ejemplares equinos. El estrato socio-económico de la gran mayoría de los habitantes de la vereda es bajo (1 y 2 en la parte Oriental); aunque en el entorno inmediato del colegio, es decir, la parte central de la vereda, está habitada por personas cuyo estrato es medio alto (categorías 4, 5 y 6). Por otro lado, la vereda cuenta con una única vía de acceso, la cual es asfaltada y estrecha, en el momento se encuentra en estudio y gestión un programa para la ampliación de la vía por parte de la alcaldía municipal. La vereda Cañaveralejo no cuenta con espacios deportivos específicos –placas polideportivas- por lo que sus habitantes se desplazan hacia la

zona sur, una de las unidades deportivas del municipio, a realizar sus prácticas deportivas y recreativas.

Por su parte, la INSTITUCIÓN EDUCATIVA SUÁREZ DE LA PRESENTACIÓN, está ubicada en el municipio de Bello, departamento de Antioquia, cuenta con dos sedes: Una para Jardín, Transición y Básica Primaria ubicada en el Barrio Obrero sobre la Carrera 55 # 35 – 41. La sección de Básica Primaria, cuenta con una población aproximada de 518 estudiantes con edades que oscilan entre los 5 años para los grados menores (transición) y 11 años para el grado quinto de Educación Básica Primaria. La sede de Básica Secundaria y Media Académica está ubicada en el Barrio Suárez en la Carrera 50 # 46 – 45. La sección de secundaria, cuenta con una población de 539 estudiantes, con edades que oscilan entre los 12 años de edad (grado 6º) y los 17 años de edad para el grado 11º. En consecuencia, la institución educativa Suarez de la Presentación Bello cuenta con 1057 estudiantes en total, las cuales pertenecen a estratos socioeconómicos 2, 3, 4, 5.

Los edificios de las dos sedes se encuentran en área netamente urbana, lo que implica que las únicas zonas verdes son: en primaria un terreno con árboles frutales sembrados en este, donde predomina la especie Mangifera indica (mango) denominado “el parquecito” en el cual además hay una casa de muñecas y un kiosco, dichas estructuras tienen como objetivo el cambio de escenario del aula de clases, en bachillerato, el terreno presenta también árboles frutales sembrados y una caseta, este terreno denominado “la huerta” esta continuo a la cancha multidisciplinar (futbol, baloncesto y voleibol).

4.2. Marco Teórico:

4.2.1. Teoría de los Campos Conceptuales de Gerard Vergnaud:

La teoría de los campos conceptuales de Gerard Vergnaud, es una teoría tanto psicológica como cognitiva, que considera al proceso de conceptualización como el núcleo del desarrollo cognitivo. Es una teoría que redirecciona el foco piagetiano de las operaciones lógicas generales y de las estructuras del pensamiento para dedicarse al estudio del funcionamiento o desempeño cognitivo del sujeto en acción, tomando como referencia el contenido propio del conocimiento y el análisis del dominio o aplicación de dicho conocimiento.

Para la construcción de la teoría de los campos conceptuales, Gerard Vergnaud, retoma aspectos de Piaget y de Vygotsky como soportes teóricos de su postura. El más importante legado de la teoría Piagetiana es el concepto de “esquema” y, de la teoría Vygostkyana, lega la importancia que se le atribuye a la interacción social, al lenguaje y a la simbolización en el proceso de aprendizaje del sujeto. La premisa de la teoría de Vergnaud, es que, el conocimiento se organiza en “campos conceptuales” cuyo dominio ocurre a la largo de un prolongado periodo de tiempo a través de la experiencia, el aprendizaje y la madurez o desarrollo cognitivo del sujeto. Campo conceptual es entendido ~~por Vergnaud~~ como, “un conjunto informal y heterogéneo de problemas, situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, contenidos y operaciones del pensamiento, conectados unos con otros y, probablemente, entrelazados durante el proceso de adquisición” (Moreira, 2002, p. 2). De modo púes que, es el proceso de conceptualización el que permite identificar y estudiar continuidades y rupturas entre varios conocimientos, por lo tanto, esta teoría se convierte en un referente para el estudio del desarrollo cognitivo y del aprendizaje de desempeños o competencias por

parte del estudiante estableciendo un análisis de las posibles continuidades y rupturas entre los contenidos del conocimiento y su dominio.

Conceptos clave de la teoría de los campos conceptuales

Para la formulación de su teoría, Vergnaud se fundamenta en conceptos como:

Campo conceptual, conceptos, situaciones, esquemas e invariantes operatorios (teoremas en acción y conceptos en acción). A continuación, se aborda de forma resumida cada uno de estos conceptos para generar una idea o percepción global de cada uno de ellos.

a. Campo conceptual: La definición más amplia y completa que se ha encontrado de campo conceptual es la presentada anteriormente; sin embargo, podríamos citar otras definiciones como: “un campo conceptual es un conjunto de situaciones, conceptos y teoremas” (Barrantes, 2006, p. 2) donde se pretende asumir al campo conceptual desde una perspectiva más holística e integral. El mismo Vergnaud, nos presenta otra definición como “un conjunto de problemas y situaciones cuyo tratamiento requiere conceptos, procedimientos y representaciones de tipos diferentes pero íntimamente relacionados” (Moreira, 2002, p. 3).

b. Conceptos: Desde la teoría de campos conceptuales, el concepto es definido como un triplete formado por tres conjuntos dependientes el uno del otro, dándole así, una perspectiva sistémica y holística –**SIR**-:

a. El conjunto de situaciones que dan sentido al concepto (referente)

b. El conjunto de invariantes operatorios que le proporcionan operacionalidad al concepto (significado)

c. El conjunto de representaciones simbólicas que se usan para representar el concepto, las situaciones y los procedimientos (significante).

De modo pues que, para estudiar el desarrollo y la aplicabilidad (uso) de un concepto a lo largo de un proceso o una secuencia de aprendizaje, es necesario, abordar el análisis de estos tres conjuntos de forma simultánea e interdependiente.

c. Situaciones: son entendidas por Vergnaud como tareas, destacando dos ideas principales con relación al sentido de la situación, como lo son la variedad y la historia, lo que nos indica una constitución de las situaciones netamente contextual. Las situaciones son las responsables directas del sentido atribuido al concepto y por ende, un mismo concepto no es interpretado o aprendido de igual forma por dos sujetos de diferente contexto, debido a la naturaleza discontinua y diferenciable de las situaciones en dichos contextos. Además, los juegos y usos del lenguaje en contextos diferentes influye significativamente en el abordaje e interpretación de una determinada situación; así, dos sujetos no interpretan de igual forma una misma situación debido a que sus manejos y/o usos de lenguaje son diferentes, los significantes toman significados diferentes de acuerdo al contexto o realidad desde la cual es interpretada la situación.

d. Esquemas: Vergnaud llama esquema a la “organización invariante del comportamiento para una determinada clase de situaciones (Moreira, 2002, p. 6).”. Son los esquemas los que le dan el sentido a la situación y este, es uno de los aportes más significativos de la teoría de Vergnaud, la relación o interacción directa que propone entre esquema y situación. De aquí se deriva que el “desarrollo cognitivo consiste principalmente en el desarrollo de un vasto repertorio de esquemas” (Moreira, 2002, p.

7) y el funcionamiento cognitivo se basa en el repertorio de esquemas que tenga disponible el sujeto, los cuales le permitirán abordar y/o solucionar una determinada clase de situaciones.

Los esquemas se refieren a situaciones o clases de situaciones, entre las cuales Vergnaud distingue dos tipos:

a. Situaciones en las que el sujeto dispone de las competencias necesarias para tratarlas; o aquel tipo de situaciones donde de manera inmediata, el sujeto actúa para dar solución o tratamiento.

b. Situaciones en las que el sujeto no dispone de las competencias necesarias para tratarlas; donde el sujeto se ve obligado a reflexionar, explorar y buscar alternativas de solución.

Por otro lado, los esquemas pueden considerarse como “una totalidad dinámica y funcional compuesta por: metas, reglas de acción, invariantes operatorios e inferencias” (Fanaro y Otero, 2009, p.308).

e. Invariantes Operatorios: Son los componentes esenciales de los esquemas y son éstos, quienes determinan sus diferencias. “Los invariantes operatorios son aquellos conocimientos contenidos en los esquemas dando origen a las conductas del sujeto” (Barrantes, 2006, p. 3). Dentro de los invariantes operatorios se encuentran:

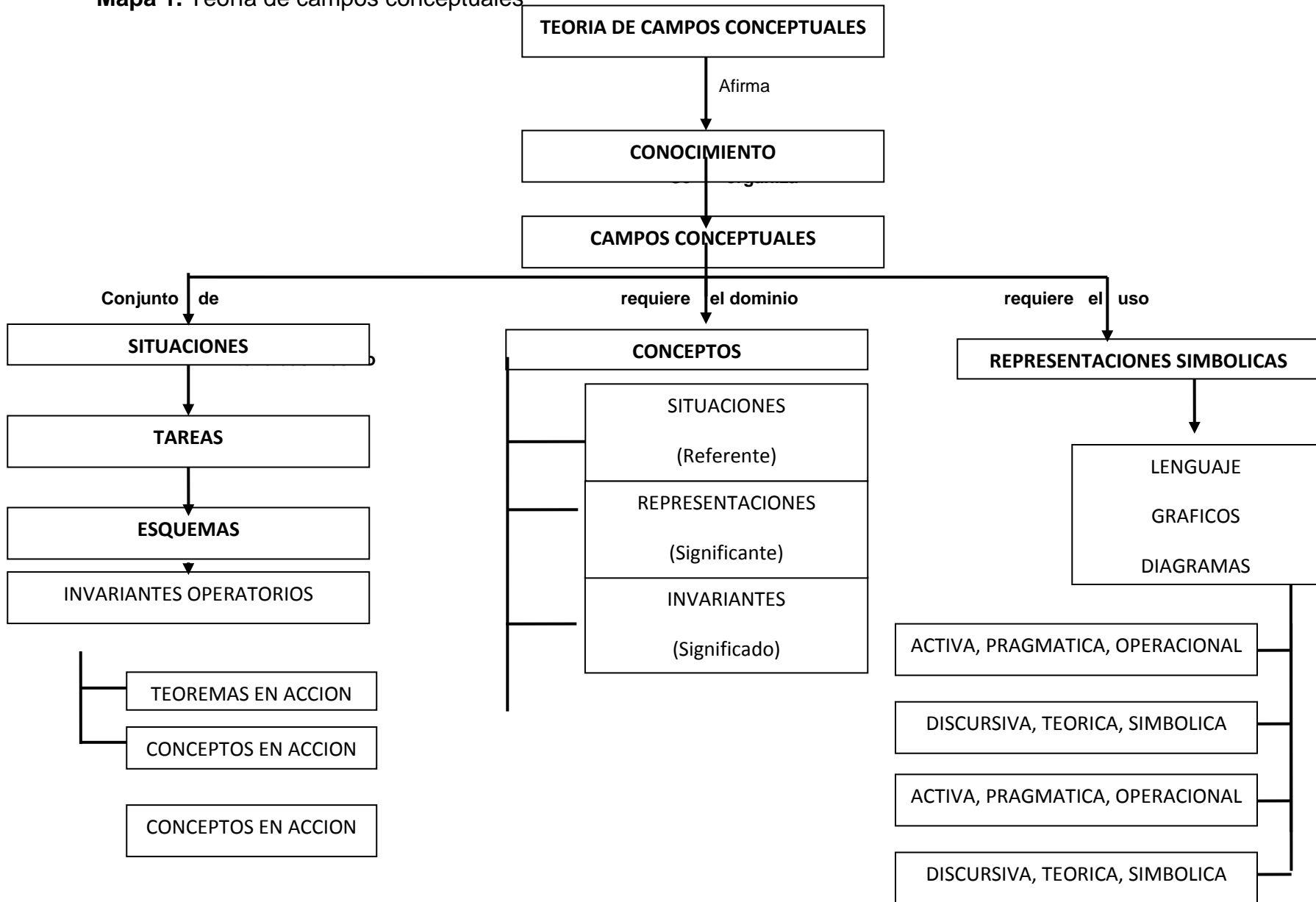
a. Teoremas en acción: considerados como una proposición verdadera sobre lo real.

b. Conceptos en acción: considerados como la categoría del pensamiento pertinente o relevante para una determinada situación.

Teoría de los campos conceptuales y enseñanza de las ciencias

La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, se ha convertido en un referente teórico para la investigación en la enseñanza de las ciencias debido a los aportes conceptuales que realiza a la didáctica, ya que es una teoría que pretende estudiar el desempeño cognitivo del sujeto (estudiante) en situación, es una teoría que se interesa por aquello que sucede dentro del aula de clase y por ende, pertinente para el propósito de nuestra investigación.

Mapa 1. Teoría de campos conceptuales



4.2.2. Teoría Mecánico-cuántica

A finales del siglo XIX la Física y en general la ciencia sufrieron un estancamiento, ya que los científicos de la época pensaban que la teoría y concepciones dadas hasta el momento para explicar los fenómenos naturales eran suficientes, confiables y aplicables, además también por los dogmas manejados en esa época por los científicos.

Tiempo después, la ciencia no explicaba confiable, ni suficientemente algunos fenómenos por lo cual se requería implementar nuevas teorías en las que dichos fenómenos encajaran. Como resultado de esta nueva búsqueda de nuevas explicaciones nace la FÍSICA MODERNA, y a ésta, se encuentran vinculados científicos como: Albert Einstein, Max Planck, Arthur Compton, Niels Bôrh, Louis de Broglie, Werner Heisemnberg, Erwin Schrôdinger, Paul Dirac entre otros.

Radiación de cuerpo negro

Todo cuerpo por “frio” que este siempre radia energía electromagnética por el movimiento oscilatorio de las cargas eléctricas térmicamente excitadas, radiación que generalmente se encuentra en el rango Infrarrojo (energía electromagnética que no es perceptible por el ojo humano).

Las oscilaciones de esas cargas eléctricas en la superficie de un cuerpo sólido radiante originan un rango de longitudes de onda (desde cero hasta infinito) que conforman el

espectro de radiación de dicho cuerpo. Este espectro es continuo porque las oscilaciones de las cargas en la superficie del cuerpo, afectadas por la interacción entre los átomos, no pueden arrojar sus frecuencias propias, por lo que la intensidad de esa radiación, integrada sobre toda la superficie del cuerpo, será proporcional a su área y a su temperatura.

Cuando un cuerpo absorbe radiación en busca de su equilibrio térmico, parte de esa energía es absorbida por sus cargas eléctricas dando lugar a la agitación térmica (absortividad) que según Kirchhof: “es igual a la emisividad en un cuerpo, donde $e = a$ ” (Ballesteros, p. 47).

La radiación que emiten los cuerpos entonces depende de la temperatura, forma, material o naturaleza y propiedades superficiales del mismo. Un cuerpo negro es aquel que absorbe toda la radiación que incide sobre su superficie y emite todo lo que absorbe, por lo que para este $e = a = 1$, siendo este el valor máximo de emitancia y cero el mínimo.

Según Stefan en su ley para el cuerpo negro “la potencia radiada por unidad de área a una temperatura dada es la misma para todo cuerpo, sea cual sea su material o naturaleza” $I_T = \sigma T^4$. Donde I_T es la intensidad de la radiación del cuerpo a la temperatura absoluta T ” (Ballesteros, p. 47).

Un ejemplo de cuerpo negro es una cavidad o caja de metal al cual las paredes se pintan de color negro mate con un solo orificio que la comunique con el exterior, este sistema se calienta y las paredes internas emiten radiación térmica que llena el interior y después escapa al exterior, entonces esa información puede ser analizada a fin de

explicar gran variedad de fenómenos físicos¹. Entonces la radiación de cuerpo negro se trató de explicar por varios científicos, a continuación se muestran explicaciones de algunos de ellos:

Ley de distribución de Wien

En 1893 Wilthem Wien, supuso comportamiento gaseoso de la radiación dentro de la cavidad de un cuerpo negro y obtuvo la densidad de energía en la cavidad, la expresión general:

$$\frac{\Omega_T(\lambda) = f(\lambda T)}{\lambda^5}$$

Donde $f(\lambda T)$ es una función universal para todos los cuerpos negros, Wien asumió que las velocidades de las partículas que componen el supuesto gas de la radiación del cuerpo negro determina la forma como se distribuye la energía dentro de las diferentes frecuencias ν del espectro, obtiene que la densidad de energía radiante en la cavidad de cuerpo negro tiene la forma:

$$\Omega_T(\nu) d\nu = C_1^3 e^{-C_2 \nu / KT} d\nu \quad \text{Ley de distribución de Wien}$$

Donde $K_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ es la constante de Boltzman y C_1, C_2 son constantes para ajustar los resultados periódicos y los experimentales, ajustes que sirvieron para graficar I_T contra λ , obteniendo resultados muy buenos cuando las frecuencias eran altas (longitudes de onda cortas en el rango de luz visible) y temperaturas por debajo de los 4000K. Para temperaturas mayores a 4000K, longitudes de onda largas y frecuencias bajas la curva teórica se aleja de la experimental.

¹ <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/negro/radiacion/radiacion.htm#EI%20cuerpo%20negro>

Ley de distribución de Rayleigh – Jeans

Por su parte, en 1900 Lord Rayleigh en su afán de hacer coincidir los resultados teóricos con los experimentales, supuso que las paredes interiores de la cavidad están tapizadas con osciladores armónicos con carga eléctrica que emiten radiación electromagnética en forma de ondas, con frecuencia igual a la del oscilador, aparece un campo eléctrico nulo. Se obtiene entonces:

$$I_T(\lambda) = 2\pi c K_B T / \lambda^4 \quad \text{Ley de distribución de Rayleigh – Jeans}$$

Con esta ley, graficando I_T contra λ , se obtuvieron resultados muy buenos para el rango de longitudes de onda largas (frecuencias bajas), y malos resultados para longitudes de onda cortas y frecuencias altas, este hecho era lo contrario a la distribución de Wien.

Un gran dilema, la radiación de cuerpo negro es explicada por dos teorías incompletas muy diferentes: La termodinámica y la electromagnética.

Ley de distribución de Planck

En 1919 Max Planck anunció que había hallado empíricamente una expresión que concordaba perfectamente con el comportamiento experimental de la intensidad de la radiación en un cuerpo negro, un concepto revolucionario: La energía radiada por los osciladores en la cavidad del cuerpo negro se hallaba “cuantizada”, no era continua, era así que nació entonces la teoría cuántica. Planck se basó en la teoría de osciladores propuesta por Rayleigh – Jeans, en ella redefinió la repartición de energía de tales osciladores en la cavidad del cuerpo negro.

Si la energía de una onda electromagnética en la cavidad está constituida por paquetes o cuantos de energía, cada paquete necesitaría una cierta cantidad de energía, directamente proporcional con la frecuencia del modo de vibración considerado para emitir el paquete. Para su teoría de distribución, Planck propuso que la energía radiada por un solo oscilador a la frecuencia ν en la cavidad es un múltiplo entero de la cantidad **$E = h\nu$** . h es la famosa constante de Planck que ajustó la curva teórica a la curva experimental I_T contra λ , la constante tiene un valor de: **$6.62 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$**

Un oscilador entonces solo puede radiar energía $E = nh\nu$, ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$ número entero), esto se conoce como “hipótesis de cuantización de Planck”, la energía en la cavidad se reparte entre todos los osciladores de manera que a un oscilador podría no tocarle energía si $n = 0$ o toda si n es suficientemente alto.

Planck a pesar de haber logrado tal hazaña, razonó que la cuantización solo se daba en la vecindad de los osciladores pero que luego los cuantos se volvían a agrupar y por eso era que se percibían continuos como lo demostraba la teoría electrodinámica de Maxwell que percibía “la energía como un continuo”.

Más adelante Albert Einstein retoma y fortalece la teoría de Planck al tratar de explicar el fenómeno fotoeléctrico.

Efecto Fotoeléctrico

En 1887, Heinrich Hertz experimentando con luz ultravioleta y electrodos, llega a la conclusión que “la luz ultravioleta facilitaba la descarga eléctrica debido a que ocasiona la emisión de electrones desde la superficie del cátodo iluminado”. En 1888 Wilhelm Hallwachs observó este mismo fenómeno cuando se iluminaban metales como el Zinc (Zn), Sodio (Na), Potasio (K) y otros, al fenómeno se le llamó efecto fotoeléctrico, a los electrones emitidos Fotoelectrones y fotocorriente a la corriente debida a estos.

Los electrones no pueden ser “arrancados” normalmente de los metales que los contienen, si esto ocurre es porque se le ha imprimido energía, resultado de la interacción con algún agente físico que la suministró, del efecto fotoeléctrico se puede decir:

1. Para cada metal existe una frecuencia Umbral ν_0 o de corte, por debajo de esta no hay emisión de electrones así la intensidad sea muy fuerte, por encima del umbral, así la radiación sea débil, hay emisión electrónica. Se puede concluir entonces que el efecto fotoeléctrico no es provocado por la intensidad de una radiación sino por la frecuencia de esta, por otra parte al existir frecuencia Umbral, también hay una Longitud de onda umbral. $\lambda_0 = c / \nu_0$, c corresponde a la velocidad de la luz.

2. Los electrones son “arrancados” casi que instantáneamente después de tener contacto con la luz incidente (10^{-9} segundos), lo que deduce que la energía se le da al

electrón en paquetes y no se esparce en frentes de onda como lo suponía la ondulatoria clásica.

3. El número de electrones que pueden ser emitidos aumenta con la intensidad de la radiación incidente ya que se ha demostrado que no se manifiesta en la energía cinética de los electrones pero si en el número de ellos.

Einstein y el efecto fotoeléctrico

En 1905 Albert Einstein explica perfectamente el efecto fotoeléctrico basándose en la teoría de Planck, “la radiación o luz incidente está conformada por cuantos o partículas de energía llamados fotones, este fotón con frecuencia ν tiene aproximadamente como energía $h\nu$; si hay n fotones de frecuencia ν cada uno, la energía total será $nh\nu$, n debe ser un entero”. Los electrones utilizan la energía del fotón para primero, vencer la atracción electrostática que lo liga al núcleo del átomo, gastando en el proceso una energía de ionización. Segundo, salir de la superficie del metal, esta energía se llama función trabajo. Tercero, abandonar el átomo con cierta cantidad de energía cinética.

La función trabajo se define como la energía mínima que mantiene un electrón ligado al núcleo y se mide en electrón – voltios.

Tabla 1. Algunas funciones trabajo de los metales:

Metal	Cs	K	Na	Al	Pb	Zn	Fe	Cu	Ag
W (eV)	1.90	2.24	2.46	4.08	4.14	4.31	4.50	4.70	4.73

$$h\nu = E_K + W$$

La ecuación anterior traduce: La energía de un fotón se distribuye entre la función de trabajo y el resto de ella se transforma en energía cinética para el electrón.

Efecto Compton

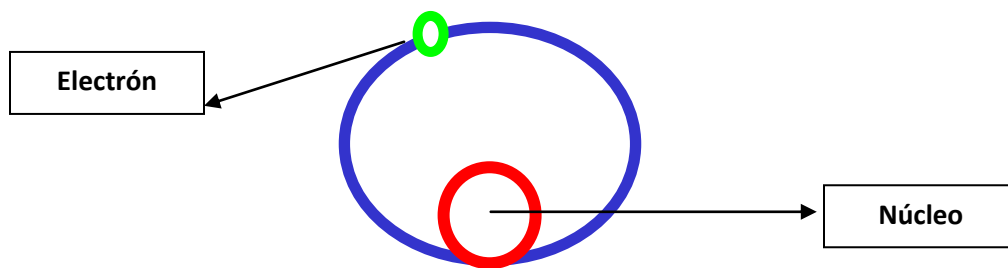
Wilhelm Röntgen en 1895 descubrió que una corriente de electrones emitidos desde un cátodo caliente (rayos catódicos) producía una radiación al chocar contra un blanco metálico (anticátodo), llamo a este efecto "Rayos X". Luego se comprobó que la diferencia de potencial V entre el "cátodo y el anticátodo", e es la carga del electrón acelerado a través de V y ν es la frecuencia del rayo X emitido, se cumple $h\nu = eV$, la energía cinética eV que adquiere el electrón al ser acelerado se convierte en un fotón $h\nu$ cuando es detenido bruscamente por el anticátodo, estos rayos dirigidos hacia una superficie, se dispersan como la luz ordinaria. En 1923 Arthur Compton, esto dio la radiación X dispersada por diferentes superficies metálicas, parte de esa radiación poseía longitudes de onda mayor que la radiación incidente, este cambio de longitud se debía al ángulo de la radiación X pero era independiente de la naturaleza de la superficie iluminada, pero debía ser metálica. Otra parte de la radiación tenía la misma longitud de onda de la incidente y que de la superficie iluminada salían, además de la radiación dispersada, electrones dispersados.

Modelo atómico de Rutherford

Ernest Rutherford y dos de sus estudiantes: Hans Geiger y Ernest Marsden entre 1910 y 1911, experimentaron bombardeando laminas con partículas Alpha α (cargadas positivamente), estas eran emitidas por elementos radiactivos naturales, algunas partículas eran desviadas de sus trayectorias de incidencia al atravesar una lamina metálica, la conclusión fue que la lamina estaba compuesta por átomos y que en él

había una región positiva (núcleo) y en la periferia electrones con carga negativa que giraban en orbitas circulares, el único sustento eran las fuerzas de atracción Electrón – Núcleo como cuando los planetas giran alrededor del sol debido al campo gravitacional de este sobre los planetas. Este modelo se conoce como el modelo planetario de Rutherford.

Figura 1. Representación del modelo atómico de Ernest Rutherford



Rutherford con su modelo logro explicar la dispersión de rayos positivos por el núcleo atómico, lo que no pudo explicar fue porque los electrones al girar alrededor del núcleo no caen al mismo sabiendo que según electrodinámica de Maxwell toda partícula cargada que se mueva aceleradamente debe radiar energía electromagnética sabiendo que los electrones en este modelo poseían aceleración centrípeta.

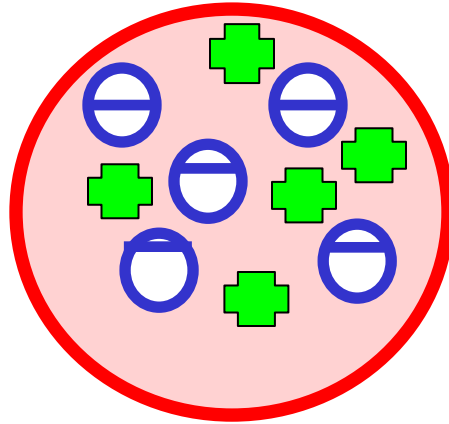
Espectros continuos y espectros discretos

A finales de los siglos XIX y comienzos del siglo XX se conoció que la materia en estado no gaseoso emitía radiación y esta tiene un espectro continuo, esto es, contiene todas las longitudes de onda pero se diferencia del cuerpo negro en que este último es el absorptor y emisor perfecto.

A principios del siglo XX Joseph John Thompson descubrió el electrón, además le calculó la relación carga/masa. Propuso que la materia estaba constituida por átomos y

que éste es lo más parecido a un pudín con carga positiva con electrones inmersos con carga negativa, este modelo fue muy fugaz.

Figura 2. Representación del modelo atómico de Joseph Thompson



Los espectros de líneas son arrojados por la materia en estado gaseoso y a una temperatura determinada, por experimentación se supo que cada elemento químico de los conocidos emitía y absorbía solo ciertas longitudes de onda de la radiación electromagnética, y cada longitud λ o frecuencia ($\nu = c / \lambda$) está asociada a una línea en el espectro, cuando este se halla en la región visible, cada elemento muestra un conjunto de líneas, o espectro de líneas único y característico a manera de huella digital que sirve para diferenciar un elemento cualquiera donde sea que se encuentre, a cada línea del espectro le corresponde un valor definido de energía que se ha llamado nivel de energía, por ello un espectro es un conjunto de niveles de energía.

En 1885 el suizo Johan Balmer formuló una expresión empírica para calcular las líneas observadas para el átomo de Hidrógeno, ese espectro mostraba una serie de líneas asociadas a una longitud de onda λ , la expresión es:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right] \quad \text{con } m = 2 \text{ y } n = 3, 4, 5, \dots \text{ entero}$$

$R = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ se conoce como la constante de Rydberg y se escogió ese valor para que se ajustara a las longitudes de onda medidas. La serie de líneas observadas (en la región del visible) del espectro del átomo de Hidrógeno se ajustaron los valores calculados; estas líneas conforman la hoy conocida “serie de Balmer”.

Modelo atómico de Bôhr.

Niels Bôrh propuso su modelo atómico conservando las ideas básicas del modelo de Rutherford con algunas consideraciones adicionales, se baso en el átomo de Hidrogeno, las hipótesis de Bôhr:

1. El electrón al igual que en el modelo atómico de Rutherford, gira en órbitas circulares alrededor del núcleo por atracciones Coulombianas, en una órbita estacionaria, la energía o nivel de energía permanece constante por lo que el electrón no radia energía cuando se halla en dicha órbita.
2. Para que la órbita pueda ser estacionaria, el momentum angular $L = r \times p$ del electrón de masa m_e girando en su órbita de radio r con velocidad v y momentum lineal $p = mv$, debe ser cuantizada en la forma $L = n\hbar$ con $n = 1, 2, 3, \dots$ entero.
3. El electrón además de mantenerse en su órbita circulando alrededor del núcleo sin radiar energía, puede saltar de un nivel a otro (es decir de una órbita a otra), absorbiendo o emitiendo un fotón, dependiendo si el salto es a un nivel de mayor energía o menor.

Si ν es la frecuencia de la radiación comprometida en el salto de un nivel u orbita con energía E_m a otro con energía $E_n < E_m$, donde m y n son enteros, entonces en la transición el átomo emite un fotón de energía.

$$\Delta E = E_n - E_m = h\nu.$$

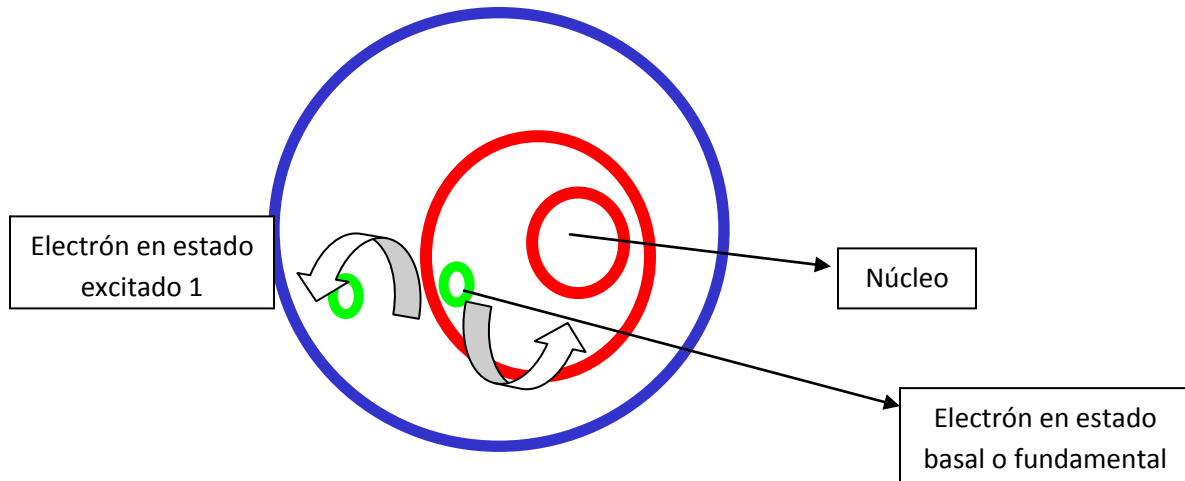
Si en el átomo de hidrógeno el electrón salta desde el estado n hasta el estado m con n

$< m$, absorbe un fotón de energía $h\nu = hc / \lambda$, igual a la distancia en energía entre ambos estados, es decir, ocurre una transición de excitación con un salto de energía.

$$\Delta E = E_m - E_n = h\nu.$$

ΔE se debe entender como el salto de energía entre un estado (fundamental o excitado) inicial con energía de enlace E_i , y otro estado (fundamental o excitado) final con energía de enlace E_f . Cualquiera sea el caso, siempre ΔE es la diferencia entre las respectivas energías de enlace, esto es $\Delta E = E_f - E_i$, es claro que si $E_f > E_i$, entonces $\Delta E > 0$ (excitación) y si $E_f < E_i$, se habla de que $\Delta E < 0$ (desexcitación). Cuando se escribe $\Delta E = h\nu$ se debe entender que se hace referencia al valor absoluto de ΔE .

Figura 3. Representación del modelo atómico de Niels Bohr



En dicho modelo atómico, el estado con $n = 1$ se conoce como estado fundamental, estado base o estado de mínima energía, en este estado fundamental el radio de la órbita es $r_1 = \epsilon_0 h^2 / \pi m_e e^2$, la velocidad es $v_1 = e^2 / 2\epsilon_0 h$, cualquier otro valor de n mayor corresponde a un estado excitado, para hallar el radio y la velocidad de cualquier estado, las ecuaciones son las siguientes: $r_n = n^2 r_1$ y $v_n = v_1 / n$.

Para Bohr, si el átomo de Hidrógeno salta desde un estado n hasta otro m mayor, absorbe un fotón de energía $h\nu = hc / \lambda$, igual a la distancia en energía entre ambos estados: $\Delta E = E_m - E_n = h\nu$.

Dualidad Onda – Partícula

Una onda y una partícula son conceptos diferentes, la onda es abstracta e imperceptible por nuestros sentidos (visión, gusto, olfato, tacto, oído), omnipresente, presenta fenómenos como la reflexión, refracción, difracción, interferencia y otras, por el contrario, la partícula es tangible, ocupa uno y solo un lugar en el espacio y perceptible por uno o más sentidos, por tanto para cualquier persona del común el solo hecho de

pensar que si mismo tiene una longitud de onda asociada puede resultar muy engorroso.

En 1924 Louis de Broglie, consiguió explicar la dualidad partícula – onda, mediante el principio de complementariedad el cual propone que las naturalezas ondulatoria y corpuscular son complementarias, fenómeno que es necesario para explicar el buen funcionamiento de la naturaleza, pero que nunca deben ser usadas de forma simultánea para describir un fenómeno. De Broglie propuso que la luz posee propiedades ondulatorias (frecuencia y longitud de onda) y propiedades corpusculares como la energía E y el momentum lineal de valor p.

$$E = hv \text{ y } p = h / \lambda.$$

También las partículas corpusculares con energía E y momentum lineal p presentan propiedades ondulatorias de frecuencia v y longitud de onda λ .

$$\mathbf{v = E / h}$$

$$\mathbf{\lambda = h / p}$$

Estas formulaciones se conocen como dualidad onda – partícula, donde la longitud de onda asociada a una partícula en movimiento se conoce como longitud de onda de Broglie que establece que las relaciones entre la longitud de onda y el momentum lineal y entre la frecuencia y la energía son la misma para onda que para partículas.

La luz por ejemplo tiene una longitud de onda muy larga por lo que se requieren muchas partículas (muchos fotones) para producir una señal detectable por lo que en la luz no se detectan efectos corpusculares detectables, es decir, prevalece la naturaleza ondulatoria (luz con energía continua) sobre la naturaleza corpuscular (con energía cuantizada en fotones o niveles de energía), cuando la longitud de onda se hace más corta prevalece la naturaleza corpuscular sobre la ondulatoria.

Si una partícula con masa se halla en movimiento con velocidad de magnitud V , su momentum tiene magnitud $p = mV$ y su longitud de onda asociada es $\lambda = h / p = h / mV$, Esta onda que está asociada a la partícula durante el movimiento (onda de Broglie) es una onda de materia que se llama **ONDA PILOTO**.

Dos años después, en 1927 la tesis de De Broglie fue confirmada experimentalmente por Davisson y Gemen, investigadores de una compañía telefónica cuando hacían incidir haces de electrones sobre una superficie de níquel (Ni) la cual fueron calentando casi hasta el punto de fusión en la cual los electrones presentaron fenómenos de difracción parecida a la de los rayos X.

La confirmación de la naturaleza dual de la materia trajo como consecuencia el replanteamiento del lenguaje físico clásico para describir el movimiento y la posición de una partícula.

En conclusión, a cada partícula en movimiento se le debe asociar un campo de materia portador de una onda de materia u onda piloto de Broglie, así como también a un fotón se le asocia un campo electromagnético portador de un onda electromagnética cuya longitud de onda es equivalente a la longitud de onda de Broglie asociada al fotón.

Principio de Incertidumbre

Según Heisenberg no es posible conocer con exactitud y en forma simultánea la posición y el momentum lineal de una partícula. A medida que crece la incertidumbre en el momentum lineal, disminuye la incertidumbre en la posición y si la incertidumbre en el momentum lineal es máxima, la incertidumbre en la posición es mínima. El momentum lineal tiene media $p = mV$, su incertidumbre es $\Delta p = m\Delta V$ donde ΔV es la incertidumbre en la velocidad.

El principio de Heisenberg es consecuente con el comportamiento partícula – onda y cumple con el principio de complementariedad ya que cuando se obtiene mucha información de la posición se pierde información del momentum lineal (o de velocidad), hasta el punto en que si se conoce la posición exactamente con incertidumbre $\Delta x = 0$, se desconoce por completo el valor del momentum lineal, incertidumbre infinita $\Delta p = \infty$.

El principio de Heisenberg no solo relaciona la posición y el momentum lineal, también lo hace con otras parejas de variables:

Energía y tiempo que perdura el estado de energía. $\Delta E \Delta t \geq \hbar$

Proyección del momentum angular “L” sobre el eje alrededor del cual se produce la rotación (eje z) y el ángulo rotado por L. $\Delta L_z \Delta \theta \geq \hbar$

La dualidad Onda – Partícula (1924) y el principio de incertidumbre (1925) fueron cruciales para la teoría clásica que se transformó en la teoría cuántica moderna.

Función de onda

La nueva teoría incluyó la posibilidad de describir el movimiento de una partícula mediante la función de onda (onda de materia) y coincidir con postulados de la física clásica. En 1926 Erwin Schrödinger utilizando función para ondas viajeras con coordenadas $r(x, y, z)$ de las cuales se puede obtener cualquier tipo de información.

Postulados de la teoría de Schrödinger:

1. A toda partícula en movimiento se le puede definir un universo en el cual se le puede asignar una función de onda $\Psi(x, y, z, t)$ que contiene toda la información física de la partícula cuando se halla en un estado determinado en su universo.

$\Psi(x, y, z,)$ independiente del tiempo.

$\Psi(x, y, z, t)$ dependiente del tiempo.

2. La operación $\Psi\Psi^* = \Psi^2$ arroja la densidad de probabilidad (por unidad de volumen) de localizar una partícula en algún punto de su universo en un instante dado.

3. Toda cantidad física es susceptible de medirse por lo que se conoce como observable físico. Se utiliza un operador para cada observable, donde se lleva a cabo el proceso:

a. Se aplica el operador a la función de onda.

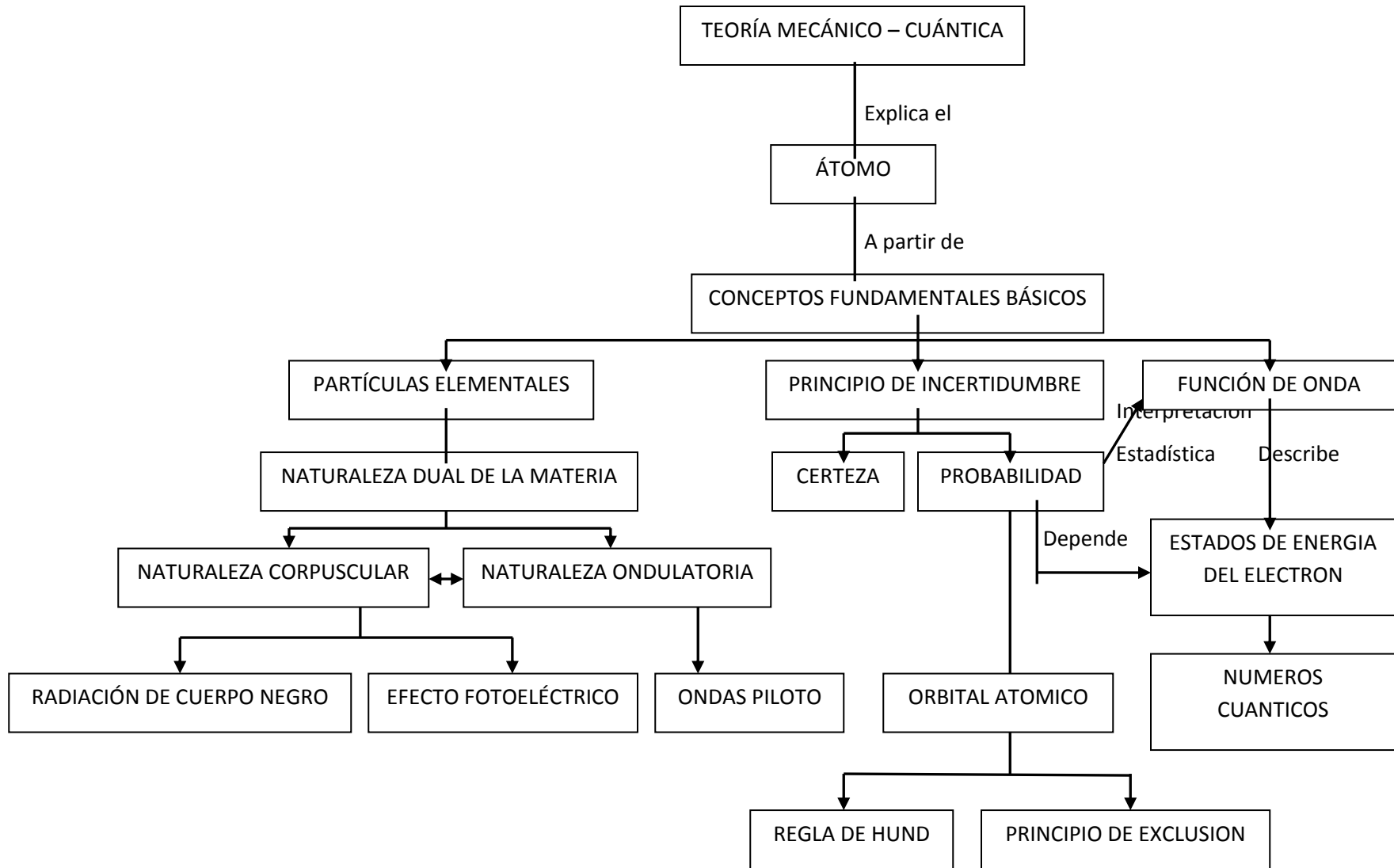
b. El resultado se multiplica por el complejo conjugado de la función de onda.

c. Se integra el resultado sobre el volumen de interés.

d. El resultado final es el valor esperado del observable

4. Conocido ya el operador \hat{O} para el observable X de la partícula con función de onda Ψ es posible hallar todos los valores para X mediante ecuación de Schrödinger $\hat{O}\Psi_n = X_n\Psi_n$ donde $X_n = X_1, X_2, X_3\dots$ son valores medibles del observable.

Mapa 2. Teoría mecánico – cuántica



CAPITULO V

MARCO METODOLÓGICO

5.1 Enfoque de la investigación

El diseño metodológico, se encuentra enmarcado dentro de la metodología cualitativa, el enfoque cualitativo al igual que el cuantitativo, son considerados paradigmas, que si bien, son diferentes, la mayoría de veces, resultan ser complementarios, ya que ambos emplean procesos rigurosos y sistemáticos para generar conocimiento, estos procesos se sintetizan en las siguientes fases o etapas como lo plantea Hernández Sampieri (2008)

- a. La observación y evaluación de fenómenos

- b. Planteamiento de hipótesis

- c. Demuestran el grado en que las suposiciones o ideas tienen fundamento.

- d. Revisan tales suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o del análisis.

- e. Proponen nuevas observaciones y evaluaciones para esclarecer, modificar y fundamentar las suposiciones e ideas; o incluso para generar otras.

La presente investigación se enmarca bajo el enfoque cualitativo, ya que las acciones de los sujetos y las pretensiones del ejercicio investigativo en sí, podrían asumirse al igual que Hernández Sampieri (2008) las siguientes características:

1. El investigador plantea un problema pero no se sigue un proceso claramente definido.

2. La investigación cualitativa se fundamenta en un proceso inductivo (explora y describe para luego generar perspectivas teóricas). Se pasa de lo particular a lo general.
3. No se prueban hipótesis, estas se generan durante el proceso y se refinan conforme se recogen o son resultado del estudio.
4. Se utilizan métodos para la recolección de datos no estandarizados, como la observación no estructurada, entrevistas abiertas, revisión de documentos, discusión de grupo, evaluación de experiencias personales, interacción e introspección con grupos o comunidades.
5. El propósito es reconstruir la realidad a partir de la indagación flexible moviéndose entre los eventos y su interpretación (centrada en el entendimiento del significado de las acciones de seres vivos y sus instituciones)
6. Evalúa el desarrollo natural de los sucesos.
7. El investigador es parte del fenómeno estudiado ya que se introduce en las experiencias individuales de los participantes construyendo conocimiento.
8. Dentro de este paradigma no se pretende que el estudio se replique, sino más bien, que sirva como punto de partida o referente que de pie a nuevos procesos investigativos.

Para la elección del estudio de caso como guía metodológica de este proceso investigativo se tomaron como referentes conceptuales, los planteamientos aportados por Hernández Sampieri, en su libro metodología de la investigación donde define el estudio de caso como “una investigación que mediante los procesos cuantitativo,

cualitativo o mixto; analiza profundamente una unidad para responder al planteamiento del problema, probar hipótesis y desarrollar teoría” (Hernández, 2008, p. 224). Por otro lado, Mertens (2005) lo define como “una investigación sobre un individuo, grupo, organización, comunidad o sociedad; que es visto y analizado como una entidad”. Varios autores como Stake (2003), Mertens (2005), Williams, Grinnell y Unrau (2005) opinan que el estudio de caso “más que un método es un diseño y una muestra, argumentan que los estudios de caso utilizan o pueden utilizar diversos métodos”. Mas que una discusión teórico-semántica sobre el estudio de caso, lo que nos interesa es su utilidad durante el proceso de investigación por sus características holísticas y flexibles, así como por la especificidad que presenta en el estudio particular de cada unidad de análisis.

De esta investigación se asume el estudio de caso instrumental definido por Stake (2000) ya que en éste “se examina para proveer insumos de conocimiento a algún tema o problema de investigación, refinar una teoría o aprender a trabajar con otros casos similares”.

Estamos de acuerdo con Yin (2003), que plantea el estudio de caso como “una unidad holística; donde todo el caso es tomado como una sola unidad de análisis” y, atendiendo al número de casos, el diseño de múltiples casos se percibe como el más pertinente ya que el proceso para cada caso se repite en los demás. La revisión de los casos es similar ya que se consideran las mismas variables o aspectos, al igual que los instrumentos para recolectar los datos y el proceso en general, aunque puede haber variantes. Por medio de este, se tiene la posibilidad de encontrar relaciones de convergencia y divergencia en el análisis holístico de cada uno de los casos. Por otro lado y con relación a la teoría de campos conceptuales, el diseño de casos múltiples permite profundizar en el plano individual analizando los niveles de conceptualización adquiridos en cada unidad de análisis.

5.2 Población y sujetos

5.2.1. Descripción de los participantes del estudio:

La investigación se llevó a cabo con setenta y cuatro (74) estudiantes del grado 10° de Educación Media (EM); de los cuales cincuenta y cuatro (54) pertenecen a la Institución Educativa Suarez de la Presentación. Las edades de las estudiantes oscilan entre los 15 y 16 años. En términos generales muestran bajos dominios conceptuales en las asignaturas que integran las Ciencias Naturales y Exactas, dificultad que se evidencia en los bajos niveles de desempeño manifestados. La mayoría de las estudiantes pertenecen al estrato socioeconómico medio-alto. En cuanto a la convivencia (dimensión socio afectiva) el grupo presenta subdivisiones o subgrupos, cada uno con una líder evidente que por lo general, es de buen rendimiento académico, pero cuyo aspecto comportamental no es el más adecuado.

Los veinte (20) estudiantes restantes, de los cuales siete (7) son mujeres y trece (13) son hombres, pertenecen a la Institución Educativa: Colegio Campestre El Remanso. Las edades de este grupo de estudiantes oscilan entre los 14 y 16 años. En cuanto al aspecto académico, el grupo no exhibe mayores dificultades de aprendizaje. Su desempeño podemos ubicarlo en el nivel medio-bajo. La principal falencia, radica en la falta de responsabilidad y compromiso con su proceso de formación. En cuanto a la convivencia, se muestran como un grupo muy unido, lo cual conlleva a constantes brotes de indisciplina e indisposición por la gran mayoría de ellos. Estos estudiantes, pertenecen al estrato socio económico medio-alto, habitantes de los municipios de Envigado y Sabaneta.

5.2.2. Criterios de selección de los participantes:

Dado que la investigación se llevó a cabo en el contexto de la práctica pedagógica de dos maestros en formación que cursaban la licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental la intervención didáctica se realizó con la totalidad de los estudiantes del grado 10° de EM de ambas instituciones educativas. Para efectos del análisis y la interpretación de los datos, se seleccionaron seis (6) estudiantes o casos - tres de cada institución- que cumplieron con los siguientes criterios:

a. Desempeño académico: Se determina el desempeño académico como parámetro para la selección de los participantes, sin embargo y para efectos de coherencia en los resultados, se eligen estudiantes con desempeños básicos, altos y superiores.

b. Voluntad de participar: Estudiantes que deseen hacer parte de manera voluntaria, responsable y comprometida con el proceso de investigación.

c. Asistencia: Estudiantes con porcentajes bajos o nulos de inasistencia para garantizar efectividad en la recolección de datos e información.

5.3. Metodología de la Propuesta de investigación.

5.3.1. Descripción general de la propuesta

La propuesta de intervención, consiste en definir el campo conceptual; es decir, aquel “conjunto de problemas y situaciones cuyo tratamiento requiere conceptos, procedimientos y representaciones de tipos diferentes pero íntimamente relacionados” (Moreira, 2002, p.3) bajo el cual estaría enfocada toda nuestra investigación analizando

los niveles de conceptualización alcanzados durante el proceso. Se asume pues, que el campo conceptual es un conjunto de situaciones que llevan implícitas el dominio de diferentes conceptos estrechamente relacionados, de ahí que, el concepto (átomo desde la mecánica-cuántica) visto desde la perspectiva de la teoría de Campos Conceptuales de Gerard Vergnaud se estructura a partir de un conjunto de invariantes, situaciones y representaciones relacionados entre sí.

Dicha propuesta de intervención didáctica se enfoca al desarrollo de cada concepto fundamental a partir del planteamiento de diferentes situaciones, entendidas como una “combinación de tareas” (Moreira, 2002, p. 5) que pretenden movilizar las estructuras y/o esquemas de pensamiento de los estudiantes. Se aborda el campo conceptual mediante la utilización de diferentes herramientas y estrategias donde la implementación de las TIC será de vital importancia para presentar las posibles representaciones o modelizaciones virtuales que se han hecho del MAC. Se utilizaron videos, lecturas y debates, visita a portales interactivos que nos presentan diferentes applets que pueden complementar, facilitar o mejorar la conceptualización, se realizaron exposiciones magistrales a través de diapositivas y se implementaron diferentes situaciones problema durante toda la propuesta de intervención las cuales pretenden de alguna forma “medir” los niveles de conceptualización alcanzados por los estudiantes a partir de la puesta en escena de los esquemas evocados para resolver determinadas tareas previamente jerarquizadas, por lo que el progreso conceptual será revisado y evaluado de forma constante durante la ejecución de la propuesta de intervención.

A continuación, se presenta completa la propuesta de intervención llevada a cabo durante los meses de Febrero, Marzo, Abril y Mayo de 2011 con un grupo de estudiantes del grado décimo de Educación Media.

5.3.2. Propuesta de Intervención

Nombre de la Unidad:

**¡CONOZCAMOS EL MODELO ATÓMICO MECÁNICO-CUÁNTICO!
ESTRUCTURA INTERNA DE LA MATERIA: El átomo**

Eje Temático: ¿CÓMO ESTÁ CONSTITUIDA LA MATERIA EN SU INTERIOR?

CONTENIDOS:

- a. Teoría atómica. Desarrollo histórico de la teoría atómica.
- b. El electrón. Descubrimiento y determinación de su carga eléctrica
- c. El protón. La radioactividad y descubrimiento del núcleo atómico
- d. El modelo atómico de Kelvin-Thomson
- e. El modelo atómico de Rutherford
- f. Nacimiento de la teoría cuántica
- g. El efecto fotoeléctrico (fotones)
- h. Las ondas piloto de De Broglie

- i. Naturaleza dual de la materia
- j. El modelo atómico de Bohr
- k. Las orbitas elípticas de Sommerfeld
- l. Números cuánticos
- m. La función de onda de Schrodinger
- n. El principio de incertidumbre de Heisenberg
- o. Probabilidad y densidad de probabilidad
- p. Orbitales atómicos. (Principio de exclusión y regla de Hund)
- q. Configuración electrónica (Principio de construcción)

ESTÁNDARES BÁSICOS DE COMPETENCIAS:

1. Formulo hipótesis con base en el conocimiento cotidiano, teorías y modelos científicos.
2. Explico la estructura de los átomos a partir de diferentes teorías.
3. Reconozco que los modelos de la ciencia cambian con el tiempo y que varios pueden ser válidos simultáneamente.

4. Escucho activamente a mis compañeros y compañeras, reconozco otros puntos de vista, los comparo con los míos y puedo modificar lo que pienso ante argumentos más sólidos.

OBJETIVOS DIDÁCTICOS:

1. Analizar y discutir los diferentes modelos atómicos propuestos durante el desarrollo histórico del concepto de “átomo”

2. Reconocer las diferentes propuestas y avances teóricos que sirvieron de soporte para la conceptualización actual del átomo.

3. Comprender los principales conceptos de la teoría mecánico-cuántica que sustentan y explican su modelo atómico.

4. Explicar la estructura del átomo utilizando como referente el MAC.

5. Reconocer y analizar las diferentes aplicaciones cotidianas del MAC, así como sus implicaciones sociales.

Etapa I.

Indagación de conocimientos en acción Conceptos y Teoremas (ver anexo: cuestionario inicial de invariantes operatorios), en esta etapa se diseñaron situaciones y se identificaron los conceptos, relaciones, representaciones y reglas de acción para resolver cada situación desde la disciplina científica.

Pregunta contextualizadora:

¿Sabes cómo se estructuran u organizan los átomos? ¿Conoces los diferentes modelos atómicos que se han propuesto a través de la historia?

Etapa II. Durante esta etapa se llevó a cabo la intervención en las instituciones educativas.

Preguntas contextualizadoras:

¿Tienes idea de cómo se concibe el átomo desde la perspectiva de la mecánica cuántica?

¿Qué necesitamos saber para la conceptualización del modelo atómico mecánico-cuántico –MAC-?

Eventos didácticos de la propuesta de intervención.

a. Lectura inicial: LA TEORIA ATOMICA Y LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA: Evolución de los modelos atómicos. A partir de esta los estudiantes deberán extraer y plantear las ideas o conceptos fundamentales que intervinieron en la construcción de cada modelo. (Ver anexo)

b. Observación del video: “Evolución de los modelos atómicos”. Con base en este documental los estudiantes complementarán las ideas presentadas en la lectura. Los videos pueden consultarse en las direcciones electrónicas:

http://www.youtube.com/watch?v=zncgBzvim_0&feature=related

<http://www.youtube.com/watch?v=vV8Ai4ah5m4&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=2K9kouD6oik&feature=related>

c. Los estudiantes construirán una propuesta propia de modelo atómico a partir de sus conocimientos y de la información recopilada, dicho modelo deberá ser justificado por grupos de trabajo. Al finalizar esta actividad, los estudiantes socializarán a sus compañeros el modelo creado y lo argumentaran a la luz de sus conocimientos, habrá una discusión con el grupo. De acuerdo a la construcción cada estudiante presentará un informe escrito sintético.

d. Exposición del contenido teórico a las estudiantes por parte de los docentes interventores relacionado con el modelo atómico mecánico-cuántico por medio de una presentación en Power Point, que contiene datos teóricos e imágenes que pretenden representarlos.

Dicha presentación puede ser consultada en la siguiente dirección:

quimica6c-2007-08.wikispaces.com/.../trabajo+modelos+atómicos.ppt

e. Se llevará a cabo una interacción de los estudiantes con algunas aplicaciones informáticas relacionadas con el modelo atómico mecánico – cuántico, se trabajará en un blog publicado en la red internet.

Los sitios recomendados para trabajar dichas aplicaciones son:

<http://claudialdeg.blogspot.com/2010/05/modelo-mecanico-cuantico.html>

<http://fisica-quimica.blogspot.com/2006/09/estructura-atomica-y-sistema-peridico.html>

<http://club.telepolis.com/anaclavero/Paginas/2bachfis/Ud5.htm>

TRABAJO CON SERIES DE SITUACIONES.

S1: Cuando hablamos frente a un micrófono, nuestra voz da origen a una corriente eléctrica que puede ser amplificada y luego transmitida por un altavoz. Las variaciones sonoras de nuestra voz se han transformado en variaciones proporcionales de corriente eléctrica. ¿Mediante qué fenómeno físico podríamos explicar esta transformación de nuestra voz? Explica

S2: La televisión es uno de los aparatos de uso en nuestra vida cotidiana y que además se ha convertido en el medio de comunicación más difundido del mundo. Para que la imagen llegue a tus ojos, dentro de la televisión, suceden una serie de fenómenos que implican la participación de los electrones provenientes de la corriente eléctrica. Este chorro de electrones choca contra una “célula fotoeléctrica” (dispositivo creado a partir de ciertos metales) y según la intensidad del chorro de electrones y del choque generado por el mismo se proyecta la escena que se desea televisar. ¿De qué manera se podría asociar el funcionamiento de la televisión con el efecto fotoeléctrico? ¿Qué otros aparatos funcionan bajo este mismo principio?

S3: Cuando se van a calentar alimentos dentro del horno microondas existen recipientes especializados para tal fin o a falta de ellos, se puede recurrir a recipientes NO METALICOS, Juan sin darse cuenta un día coloco dentro del microondas una cantidad de leche en un vaso de aluminio. Cuando encendió el electrodoméstico comenzó a observar unos “chispazos” y enseguida saco el vaso de allí, el vaso estaba más caliente de lo normal, tanto que tuvo que utilizar un guante. A la luz de la teoría

ondulatoria ¿Puedes explicar este fenómeno? ¿Por qué crees que el vaso se “calentó” tanto?

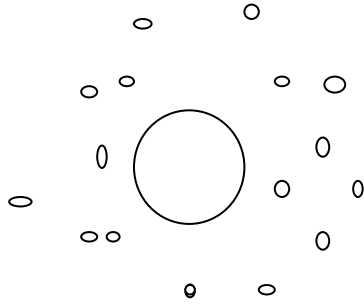
S4: Supongamos que nos hallamos frente a una calle polvorienta. Si cae sobre ella una fuerte lluvia, podremos ver que en cada choque de las gotas de lluvia con la superficie de la calle, se produce el desprendimiento de partículas de polvo. Y ese desprendimiento de partículas será mayor cuanto más intensa sea la lluvia. ¿Qué relación encuentras entre este fenómeno y el efecto fotoeléctrico? Explica.

S5: El día domingo iremos de paseo ecológico en clase de Ciencias Naturales a las montañas (Cerro el volador), dentro de lo sugerido por el profesor, esta llevar líquidos, sombrero o gorra y “extrañamente” sugirió no llevar prendas de vestir de color negro, ya que se prevé un día muy soleado según fuentes climatológicas. Puedes explicar ¿Por qué no se puede llevar ropa negra?

S6: Tenemos una esfera metálica totalmente hueca y le perforamos un pequeño orificio. Ahora exponemos la esfera a una fuente luminosa de modo que un pequeño haz o rayo de luz pase al interior de la esfera a través del pequeño orificio, “rebotando” en su interior hasta “perdersse” completamente. ¿Qué sucedió con el rayo de luz? ¿Por qué el haz o rayo de luz no puede “salir” del interior de la esfera?

S7: Imaginemos una habitación totalmente vacía y en el centro de ésta, se encuentra una lámpara o bombilla de alta potencia que alcanza a iluminar todo su interior. Ahora, introducimos una polilla en la habitación e instalamos una cámara fotográfica capaz de tomar una fotografía por segundo y la dejamos funcionar por un minuto. Cada foto nos mostrará la polilla en una posición diferente. Sabemos qué posición tiene la polilla cada segundo pero desconocemos cual fue su recorrido o trayectoria para llegar allí. Al cabo

de un minuto y, superponiendo todas las fotos tomadas por la cámara obtenemos una imagen similar a la siguiente figura:



Si comparamos nuestra habitación con el átomo y la polilla con el electrón ¿Es posible determinar su posición y su velocidad al mismo tiempo? ¿Podríamos asignar un valor numérico para describir tanto la posición como la velocidad del electrón dentro del átomo? ¿Qué relación encuentras entre nuestro ejemplo y los orbitales atómicos?

S8: Consideremos a “Pérez”, un pequeño ratón muy inquieto y escurridizo que puede moverse a lo largo de una caja cerrada. La situación inicial es esta: si abrimos la caja en cualquier instante de tiempo, hallaremos a “

Pérez” dentro de la caja el 100% de las veces.

$P = 1$ (Probabilidad de encontrar a “Pérez”)

Nuestra caja es muy especial ya que la podemos dividir en dos partes iguales cerrando una puerta intermedia. Se separa cada una de las cajas resultantes y se les entrega a dos estudiantes ¿Qué probabilidad tiene cada uno de encontrar a “Pérez” dentro de la caja?

Asumamos ahora, que en vez de “Pérez” introduzco un electrón (partícula subatómica) dentro de la caja; la probabilidad de encontrarlo es igual a $1 = 100\%$.

Si dividimos la caja en varias partes o regiones –digamos 4- ¿Qué probabilidad hay de encontrar el electrón en cada sección?

Si suponemos que la caja es un “átomo”... ¿Puedes encontrar con certeza el electrón en un tiempo (t) determinado?

Etapas III.

Pregunta contextualizadora:

Entonces.... ¿Cómo explicarías el modelo atómico actual? –MAC-

a. Los estudiantes, en parejas o dúos de trabajo, plantearán un posible modelo atómico a la luz de los conceptos cuánticos trabajados durante el desarrollo de la unidad (ya sea un modelo gráfico o teórico). Además, realizaremos modelos hipotéticos de los orbitales atómicos utilizando bombas o globos.

b. Los estudiantes realizarán un mapa conceptual o cuadro sinóptico donde expongan y relacionen los conceptos de la física cuántica utilizados para conceptualizar el átomo (tratar de que los estudiantes identifiquen conceptos clave y establezcan relaciones entre ellos –redes conceptuales-)

c. Se realizarán diferentes talleres procedimentales sobre conceptos tales como configuración electrónica, grupo y periodo de un elemento en la tabla periódica (relación de la tabla periódica y MAC)

Etapa IV.

Pregunta contextualizadora:

¿En qué situaciones de nuestra vida cotidiana se evidencia la aplicación de modelo atómico mecánico-cuántico?

a. Mediante el planteamiento de diferentes situaciones los estudiantes plantearán relaciones entre la concepción del átomo desde la teoría mecánico-cuántica y algunos electrodomésticos y aparatos utilizados comúnmente en nuestra vida actual, como por ejemplo, un horno microondas, un teléfono celular, un computador, el televisor, etc.

b. Se les presentará a los estudiantes nuevamente el cuestionario (aplicado al comienzo de la unidad didáctica) para estudiar la evolución – o no- del campo conceptual.

c. Los estudiantes tratarán de dar respuesta a las siguientes preguntas con el fin de evaluar los conocimientos obtenidos a lo largo de la propuesta de intervención didáctico-pedagógica y como conclusión de la temática:

i) ¿Qué aprendiste?

ii) ¿Para qué te sirve lo aprendido?

5.3.3. Fases de la Investigación

Para el desarrollo de la investigación se consideraron dos fases, atendiendo al avance conceptual obtenido por los estudiantes y la complejidad de las situaciones propuestas.

De acuerdo con la teoría de campos conceptuales de Gerard Vergnaud, hay un aspecto clave a la hora de aplicar cualquier estrategia de enseñanza para la introducción de nuevos conceptos a los estudiantes, como lo es la indagación de sus invariantes operatorios. El proceso de enseñanza es orientado o coordinado por un facilitador o mediador (docente) que hace de puente entre los invariantes operatorios presentados por los estudiantes y los nuevos conceptos –nuevo conocimiento- con la finalidad de permitir filiaciones entre los conceptos implicados y generar rupturas donde se tengan obstáculos representacionales mentales² que puedan, de una u otra forma, directa o indirectamente, influir en el proceso de aprendizaje de los estudiantes. De igual manera son muy importantes las situaciones o tareas que desarrollan los estudiantes, las cuales deben tener implícitos o explícitos los conceptos sobre los cuales se pretende indagar y, a medida que avanza la propuesta de intervención o el proceso de enseñanza, se deben complejizar las tareas buscando ampliar las redes conceptuales, las filiaciones entre los diferentes conceptos que dan forma al MAMC.

Es de anotar que para llevar a cabo el análisis de la información recolectada, se tendrá en cuenta la estructuración del dominio conceptual desde la teoría de campos conceptuales de Gerard Vergnaud y la teoría mecánico-cuántica.

² MOREIRA, Marco Antonio y GRECA, Ileana María. OBSTACULOS REPRESENTACIONALES MENTALES EN EL APRENDIZAJE DE CONCEPTOS CUANTICOS. Porto Alegre. UFRGS. 2004.

Tabla 2. Estructuración de los dominios conceptuales a enseñar.

SITUACIÓN	CONCEPTOS	TEOREMAS	REPRESENTACIONES SIMBÓLICAS	REGLAS DE ACCIÓN
<p>S1: Cuando hablamos frente a un micrófono, nuestra voz da origen a una corriente eléctrica que puede ser amplificada y luego transmitida por un altavoz. Las variaciones sonoras de nuestra voz se han transformado en variaciones proporcionales de corriente eléctrica. ¿Mediante que fenómeno físico podríamos explicar esta transformación de nuestra voz? Explica.</p> <p>S2: Supongamos que nos hallamos frente a una calle polvorienta. Si cae sobre ella una fuerte lluvia,</p>	<p>Fotón (Partículas de luz)</p> <p>Electrón</p> <p>Naturaleza Onda-Partícula</p> <p>Superficie metálica</p> <p>Energía Cinética</p> <p>Corriente Eléctrica</p> <p>Ondas Electromagnéticas</p>	<p>1. Se puede retirar un electrón de la superficie de un metal lanzando una partícula sobre esta.</p> <p>2. La energía cinética de la partícula que es lanzada hacia el metal es transmitida al electrón lo que lo hace ser emitido.</p> <p>3. Haciendo incidir un rayo de luz sobre la superficie de un metal se pueden extraer electrones (interacción fotón-electrón).</p> <p>4. La energía del fotón, además de “arrancar” al electrón de la superficie, le proporciona energía cinética para que sea emitido (abandone la superficie).</p> <p>5. Los fotones solo existen mientras se están moviendo a la</p>	<p>Terminología propia de las ciencias (lenguaje científico)</p> <p>Efecto Fotoeléctrico (diagrama)</p> <p>Absorción y emisión de energía</p> <p>Modelo de Bôhr (diagrama)</p>	<p>1. Comprender la situación relacionando los conceptos implícitos en ella.</p> <p>2. Establecer la diferencia entre la naturaleza de un fotón y de un electrón.</p> <p>3. Elaborar modelos que representen satisfactoriamente la situación planteada.</p> <p>4. Relacionar el comportamiento del electrón con la corriente eléctrica (chorro de electrones)</p> <p>5. Comprender el traspaso de energía del fotón al electrón.</p>

<p>podremos ver que en cada choque de las gotas de lluvia con la superficie de la calle, se produce el desprendimiento de partículas de polvo. Y ese desprendimiento de partículas será mayor cuanto más intensa sea la lluvia. ¿Qué relación encuentras entre este fenómeno y el efecto fotoeléctrico? Explica.</p> <p>S3: La televisión es uno de los aparatos de uso en nuestra vida cotidiana y que además se ha convertido en el medio de comunicación más difundido del mundo. Para que la imagen llegue a tus ojos, dentro de la televisión, suceden una serie de fenómenos que implican la participación</p>	<p>Ondas electromagnéticas</p> <p>Radiación electromagnética</p> <p>Longitud de onda</p> <p>Espectro electromagnético</p> <p>Absorción</p> <p>Emisión</p> <p>Energía radiante</p> <p>Probabilidad</p>	<p>velocidad de la luz, pero cuando estos colisionan con un electrón, pueden transferir toda su energía a este, desapareciendo de esta forma.</p> <p>1. Un cuerpo negro es una cavidad completamente cerrada excepto por una pequeña abertura.</p> <p>2. La radiación que entre o penetre en un cuerpo negro tiene muy poca probabilidad de ser reflejada de forma inmediata.</p> <p>3. En el interior de un cuerpo negro la radiación puede absorberse o reflejarse en las paredes</p>	<p>Espectro de absorción y emisión</p> <p>Terminología propia de las ciencias (lenguaje científico)</p> <p>Ángulos de reflexión</p> <p>Cuerpo Negro</p>	<p>1. Comprender la situación relacionando los conceptos implícitos en ella.</p> <p>2. Describir la situación aplicando los conceptos.</p> <p>3. Construir representaciones o modelos empleando los conceptos implícitos en la situación.</p> <p>4. Explicar el fenómeno de la radiación del cuerpo negro.</p>
---	---	---	---	--

<p>de los electrones provenientes de la corriente eléctrica. Este chorro de electrones choca contra una "célula fotoeléctrica" (dispositivo creado a partir de ciertos metales) y según la intensidad del chorro de electrones y del choque generado por el mismo se proyecta la escena que se desea televisar. ¿De qué manera se podría asociar el funcionamiento de la televisión con el efecto fotoeléctrico? ¿Qué otros aparatos funcionan bajo este mismo principio?</p> <p>S4: Cuando se van a calentar alimentos dentro del horno microondas existen recipientes especializados para tal fin o a falta de ellos,</p>		<p>repetidas veces.</p> <p>4. Los cuerpos negros absorben y reflejan radiación.</p> <p>5. La radiación está constituida por ondas electromagnéticas.</p> <p>6. La radiación absorbida por un cuerpo negro es igual a la radiación emitida por el mismo.</p>		
---	--	---	--	--

<p>se puede recurrir a recipientes NO METALICOS, Juan sin darse cuenta un día coloco dentro del microondas una cantidad de leche en un vaso de aluminio. Cuando encendió el electrodoméstico comenzó a observar unos “chispazos” y enseguida saco el vaso de allí, el vaso estaba más caliente de lo normal, tanto que tuvo que utilizar un guante. A la luz de la teoría ondulatoria ¿Puedes explicar este fenómeno? ¿Por qué crees que el vaso se “calentó” tanto?</p> <p>S5: El día domingo</p>				
---	--	--	--	--

<p>iremos de paseo ecológico en clase de Ciencias Naturales a las montañas (Cerro el volador), dentro de lo sugerido por el profesor, esta llevar líquidos, sombrero o gorra y “extrañamente” sugirió no llevar prendas de vestir de color negro, ya que se prevé un día muy soleado según fuentes climatológicas. Puedes explicar ¿Por qué no se puede llevar ropa negra?</p> <p>S6: Tenemos una esfera metálica totalmente hueca y le perforamos un pequeño orificio. Ahora exponemos la esfera a una fuente luminosa de modo que un pequeño haz o rayo de luz pase al interior de la esfera a través del</p>				
--	--	--	--	--

<p>pequeño orificio, “rebotando” en su interior hasta “perderse” completamente. ¿Qué sucedió con el rayo de luz? ¿Por qué el haz o rayo de luz no puede “salir” del interior de la esfera?</p>				
<p>S7: Imaginemos una habitación totalmente vacía y en el centro de ésta, se encuentra una lámpara o bombilla de alta potencia que alcanza a iluminar todo su interior. Ahora, introducimos una polilla en la habitación e instalamos una cámara fotográfica capaz de tomar una fotografía por segundo y la dejamos funcionar por un minuto. Cada foto nos mostrará la polilla en una posición diferente.</p>	<p>Probabilidad Incertidumbre Variables complementarias Velocidad Posición Orbital atómico o Nube Electrónica Electrón (partícula subatómica) Números cuánticos Niveles y subniveles de energía Configuración electrónica Función de Onda</p>	<p>1. No es posible determinar simultáneamente la posición y la velocidad del electrón dentro del orbital atómico. 2. Cuanto más exacto sea el cálculo y la certeza sobre una de las variables (posición y velocidad) mas inexacto será el cálculo y la certeza sobre la otra (complementariedad entre variables) 3. Los electrones se encuentran girando alrededor del núcleo a grandes velocidades en regiones definidas del</p>	<p>Terminología propia de las ciencias (lenguaje científico) Esquematizar la situación mediante el uso de modelos gráficos que les permita comprender la situación. Representación grafica de un orbital atómico. Principio de construcción, Regla de Hund, principio de exclusión de Pauli. Ecuación de la función de onda.</p>	<p>1. Comprender la situación relacionando los conceptos implícitos en la misma. 2. Formular hipótesis que busquen resolver la situación planteada. 3. Elaborar modelos que representen satisfactoriamente la situación. 4. Construir la configuración electrónica de un elemento ubicándolo en la tabla periódica. 5. Definir los números cuánticos para un electrón en cualquier nivel de energía.</p>

<p>Sabemos qué posición tiene la polilla cada segundo pero desconocemos cual fue su recorrido o trayectoria para llegar allí. Al cabo de un minuto y, superponiendo todas las fotos tomadas por la cámara obtenemos una imagen similar a la siguiente figura:</p> <p>Si comparamos nuestra habitación con el átomo y la polilla con el electrón ¿Es posible determinar su posición y su velocidad al mismo tiempo? ¿Podríamos asignar un valor numérico para describir tanto la posición como la velocidad del electrón dentro del átomo? ¿Qué relación encuentras entre nuestro ejemplo y los orbitales atómicos?</p>		<p>espacio llamadas orbitales atómicas o nubes electrónicas.</p> <p>4. Los orbitales atómicos o nubes electrónicas son aquellas regiones del espacio externas al núcleo, donde es muy probable encontrar al electrón.</p> <p>5. El comportamiento del electrón en el átomo (en este caso, la posición) puede ser descrito utilizando números.</p> <p>6. Los electrones giran alrededor del núcleo en niveles energéticos definidos (restringidos a ciertos niveles de energía)</p> <p>7. El modelo mecánico cuántico es un modelo netamente matemático, que describe la estructura del átomo por medio de ecuaciones.</p>		<p>6. Comprender la complementariedad entre las variables posición y velocidad.</p>
--	--	---	--	---

<p>S8: Consideremos a "Pérez", un pequeño ratón muy inquieto y escurridizo que puede moverse a lo largo de una caja cerrada. La situación inicial es esta: si abrimos la caja en cualquier instante de tiempo, hallaremos a "Pérez" dentro de la caja el 100% de las veces. $P = 1$ <i>(Probabilidad de encontrar a "Pérez")</i> Nuestra caja es muy especial ya que la podemos dividir en dos partes iguales cerrando una puerta intermedia. Se separa cada una de las cajas resultantes y se les entrega a dos estudiantes ¿Qué probabilidad tiene cada uno de encontrar a "Pérez" dentro de la caja? Asumamos ahora, que en</p>				
--	--	--	--	--

<p>vez de "Pérez" introduzco un electrón (partícula subatómica) dentro de la caja; la probabilidad de encontrarlo es igual a $1 = 100\%$.</p> <p>Si dividimos la caja en varias partes o regiones – digamos 4- ¿Qué probabilidad hay de encontrar el electrón en cada sección?</p> <p>Si suponemos que la caja es un "átomo"... ¿Puedes encontrar con certeza el electrón en un tiempo (t) determinado?</p>				
--	--	--	--	--

La investigación se realizó en dos fases, las cuales se describen a continuación:

5.3.3.1. Fase I.

Tanto el cuestionario de indagación de variantes operatorios, como el conjunto de situaciones serán descritos, analizados y evaluados ya que son herramientas que proveerán información interesante e importante para la pretención de este proceso de investigación, como lo es darle respuesta a la pregunta orientadora:

¿Cuales modificaciones son posibles identificar en la manera cómo un grupo de estudiantes del grado décimo de Educación Media, conceptualizan y representan el modelo atómico mecánico-cuántico durante un proceso de intervención didáctica, orientado al progresivo dominio conceptual de éste?

5.3.3.1.1. Cuestionario Inicial (Ver Anexo C2). Se recabó información mediante un cuestionario inicial, entendiéndolo como “un conjunto de preguntas respecto de una o más variables a medir” (Hernández, 2008, p. 310), Este cuestionario, presentaba seis (6) situaciones³ diferentes y una pregunta abierta para cada una de ellas, cuyo objetivo fundamental era indagar sobre los posibles invariantes operatorios que evocaban los estudiantes al enfrentarse a un determinado tipo de tarea. Cada una de las situaciones estaba referida a un concepto relevante para la comprensión del modelo atómico mecánico cuántico, conceptos como la naturaleza dual de la materia, el efecto fotoeléctrico, la naturaleza ondulatoria, la estructura general del átomo, entre otros.

³ Entendidas estas como tareas desde la teoría de campos conceptuales de Gerard Vergnaud

La primera tarea presentaba un gráfico que buscaba indagar los conocimientos presentados por los estudiantes antes del proceso de intervención didáctica, en esta tarea, se les solicitó que organizaran en un gráfico la estructura jerárquica del átomo a partir de las partículas subatómicas que lo constituyen.

La segunda y la cuarta tarea trataban de indagar sobre la naturaleza ondulatoria de la materia: La segunda planteaba un pequeño relato sobre los olores, el objetivo era determinar si los estudiantes proponían alguna idea de su composición y forma de desplazamiento. En la cuarta exponía algo similar pero con relación al sonido.

En la tercera tarea se presentó una analogía entre la “mancha o nube” dejada por la hélice de un helicóptero al girar a altas revoluciones y los orbitales atómicos, dicha analogía, tenía como objetivo identificar el conocimiento del estudiante sobre el principio de incertidumbre, es decir, sobre la complementariedad existente entre las variables velocidad y posición del electrón en el orbital.

La quinta situación mostraba una analogía entre la descripción del comportamiento de las ondas con base en números que representan la magnitud de las variables que determinan dicho comportamiento y la función de onda que poseen los electrones dentro de un átomo, el objetivo de esta tarea consistió en identificar los invariantes operatorios de los estudiantes con respecto a la función de onda y la probabilidad (incertidumbre).

En la sexta situación, los estudiantes fueron expuestos a un gráfico que mostraba una linterna encendida y una mano interponiéndose en la trayectoria del rayo de luz, por lo cual, se producía una sombra; con ésta, se deseaba indagar sobre la naturaleza dual de la materia –dualidad onda-partícula-

La última tarea tenía el objetivo de indagar sobre el concepto de átomo que presentaban los estudiantes, consistía en que los mismos dibujaran un átomo y señalaran las subpartículas, esta tarea complementa la primera pero en ella se le está preguntando de diferente manera para confirmar o descartar los invariantes operatorios presentados por los estudiantes durante su proceso educativo hasta el grado noveno (9°).

El instrumento evaluador de invariantes operatorios (cuestionario descrito anteriormente) con relación al Modelo atómico mecánico – cuántico, se constituyó como el punto de partida de la intervención didáctico – pedagógica, dicho cuestionario, se entregó a cada uno de los estudiantes pertenecientes a las instituciones educativas o centros de práctica bajo los siguientes parámetros:

* El tiempo para realizar dicha actividad fue de aproximadamente 55 a 60 minutos que dura una hora de clase.

* El docente en formación no podía resolver ninguna situación planteada para los estudiantes, solo podía resolver dudas con relación a la interpretación de los enunciados mas no de los conceptos relacionados en el.

* Se invitó y motivó a los estudiantes a ser generosos en la argumentación de cada una de las situaciones con el fin de obtener la mayor cantidad posible de información para ser analizada.

5.3.3.2. Fase II

Después de llevada a cabo la primera fase de la investigación, se procedió a la aplicación de la segunda fase; la cual tenía como finalidad indagar sobre la “evolución

conceptual” que han tenido los estudiantes con respecto a conceptos relevantes necesarios para comprender el MAMC y sus diversas aplicaciones tecnológicas en la cotidianidad actual. Para tal efecto, se plantearon ocho (8) situaciones diferentes que pretendían, de una u otra forma, que los estudiantes interpretaran dichas situaciones a la luz del MAMC, mediante la aplicación de fenómenos como el efecto fotoeléctrico, radiación del cuerpo negro y orbitales atómicos o nubes electrónicas; así como conceptos propios del mismo, tales como la incertidumbre, probabilidad, fotón, electrón, átomo, núcleo atómico, entre otros. Cabe anotar aquí, que estas situaciones se aplicaron después de llevada a cabo casi la totalidad, de la propuesta de intervención.

Para la aplicación de esta segunda serie de situaciones, éstas, se dividieron en dos grupos de cuatro situaciones cada uno, para que los estudiantes tuvieran más tiempo de responder y se enfocaran en dos, máximo tres fenómenos particulares; con la expectativa de obtener así, unos mejores resultados (respuestas) atendiendo a la complejidad que éstas situaciones planteaban.

El primer grupo de situaciones, aludía a fenómenos como el efecto fotoeléctrico y la naturaleza dual de la materia. La primera de éstas situaciones, planteaba el fenómeno que se lleva a cabo en un micrófono para la amplificación de las ondas sonoras, las cuales dan origen a una corriente eléctrica que puede ser amplificada y luego transmitida por medio de un altavoz; se pretendía que los estudiantes explicaran este fenómeno basados en la naturaleza onda-partícula de la materia y de una u otra forma el efecto fotoeléctrico. Una segunda situación, presentaba una analogía que relacionaba el efecto fotoeléctrico y el fenómeno observado al ver caer una lluvia sobre una calle polvorienta. La pretención con esta tarea era que los estudiantes reconocieran la naturaleza diferente de las partículas implicadas en el fenómeno (fotón y electrón), así como explicarlo, utilizando los conceptos propios del efecto fotoeléctrico. La tercera situación, describía la naturaleza del funcionamiento de un televisor clásico, pretendiendo así, que el estudiante explicara dicho funcionamiento utilizando los

conceptos propios del efecto fotoeléctrico y, la cuarta tarea planteada, presentaba una situación donde se le explicaba al estudiante el fenómeno que sucedía al introducir un vaso metálico a un microondas; el objeto de ésta, era que el estudiante relacionara el fenómeno descrito con la naturaleza onda - partícula de la materia, así como con el efecto fotoeléctrico.

El segundo grupo de situaciones hacía alusión a fenómenos como la radiación de cuerpo negro, orbitales atómicos o nubes electrónicas; así como a conceptos necesarios para darle explicación a dichos fenómenos tales como la incertidumbre, probabilidad, electrón, entre otros.

Una primera tarea planteaba una salida pedagógica a un lugar muy expuesto a las condiciones climáticas, en este caso las altas temperaturas y la intensidad de los rayos solares, dicha tarea tenía como objetivo indagar sobre el comportamiento de las ondas, radiaciones electromagnéticas y comportamiento de un cuerpo negro en cuanto a la absorción y emisión de energía. La segunda situación, presentaba una esfera metálica hueca a la cual se le había perforado un agujero, para formar un cuerpo negro ideal, esta tarea buscaba que los estudiantes explicaran sobre lo que es un cuerpo negro y su comportamiento, así como también trabajaran los conceptos de radiación, absorción y emitancia. En la tercera situación o tarea se presentaba un ratón encerrado en una caja, esta con propiedades especiales de poder ser dividida en varios compartimientos sin afectar la integridad del animal, esta tarea entonces, pretendía indagar en los estudiantes, sobre la probabilidad de encontrar el electrón representado por el ratón en el orbital representado por la caja, así como también sobre la posición. La siguiente situación, planteaba una habitación con una fuente luminosa, la cual va a ser detectada por una polilla, esta situación pregunta por la posición del insecto, si fuese posible fotografiarlo por una cámara de alta velocidad, ubicada también, dentro de la habitación. De igual manera se invita a los estudiantes a comparar esta situación con

un núcleo atómico representado por la bombilla y la posición del electrón representado por la polilla, de igual manera se pregunta por la probabilidad.

5.3.3.2.1. Modo de aplicación

Antes de entregar a los estudiantes este instrumento se procedió a explicarles las condiciones para resolver las situaciones problema:

1. Necesariamente individual.
2. Duración: Una hora por documento, quiere decir esto que las situaciones se dividieron en dos momentos ya que las situaciones presentadas requerían de una buena cantidad de tiempo para ser contestadas debido a los niveles de complejidad propuestos en cada una de ellas.
3. Solo se dieron explicaciones en forma grupal sin llegar a buscar una respuesta por parte de los docentes investigadores.
4. Las respuestas necesariamente no tenían que ser muy elaboradas ni dar cuenta precisamente del fenómeno sino mas bien, de los conceptos implicados en el mismo, se les pidió a los estudiantes ser bastante argumentativos y generosos a la hora de tratar de explicar.

5.3.3.2.2. Instrumentos.

5.3.3.2.2.1. Diario de Campo. Se considera pertinente la utilización del diario de campo como instrumento de recolección de información, debido a su carácter de registro

escrito diario que implica la observación directa del docente y la puesta en escena de sus percepciones acerca del desarrollo de las clase, así como su reflexión frente a los diferentes aspectos y situaciones que se presentan a lo largo de la ejecución de la propuesta de intervención.

5.3.3.2.2.2. Situaciones Problemáticas. Entendidas desde la teoría de Campos Conceptuales de Gerard Vergnaud como “tareas”; las situaciones serán la premisa o instrumento principal para la recolección de información. Éstas, han sido planteadas de forma jerárquica (desde la mirada de los investigadores), de manera que, su nivel de complejidad o, de mayor utilización de esquemas, permitieron medir los avances conceptuales durante el planteamiento de las cuatro series de actividades propuestas en el transcurso de la intervención didáctica.

5.3.3.2.2.3. Grabaciones de video. Estos instrumentos fueron una importante herramienta para la recolección de información, se aplicaron durante la gran mayoría de secciones de trabajo llevadas a cabo durante la propuesta –con al menos uno de los grupos- y permitieron observar de forma más detallada todos aquellos sucesos, acciones, actitudes, expresiones, intervenciones, en fin; analizar de forma más profunda y detenida al sujeto en acción.

CAPITULO VI

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.1. Organización de los datos e información:

Para organizar la información, lo primero que se tuvo en cuenta, fue que todo el material –evidencias y resultados de la aplicación de instrumentos- estuviera completo. Luego, se procedió a organizar todos los datos en una matriz, con las situaciones planteadas como punto de referencia para dicha organización, de cada situación, y para cada caso, se infirieron los conceptos en acción y los teoremas en acción utilizados por los estudiantes para darle solución a las diferentes tareas, las cuales relacionaban conceptos necesarios para la comprensión del MAC.

6.2. Análisis de la Fase I:

El análisis del cuestionario de invariantes operatorios se llevó a cabo desarrollando las siguientes etapas:

1. Lectura de los cuestionarios: Cada uno de los cuestionarios resueltos se leyó por parte de los docentes en formación de forma detallada.

2. Obtención de categorías: Luego de leer los cuestionarios, se comenzó el proceso de selección de casos, se tuvieron en cuenta inicialmente todos los estudiantes participantes, de ambas instituciones, se seleccionaron seis (6) casos definitivos, tres (3) por institución, atendiendo a los criterios expuestos anteriormente, cabe anotar que

no hubo discriminación de género. Al tener elegidos los casos, se dio comienzo a la categorización, a la luz del campo conceptual disciplinar referido al MAMC a enseñar (Ver tabla)

3. Se obtuvieron de cada caso los conceptos en acción y los teoremas en acción, presentados por cada estudiante, para facilitar este trabajo se construyó una matriz.

4. Se analizó la información teniendo especial énfasis en las dificultades conceptuales presentadas por los estudiantes (inconsistencias) y de igual manera en las filiaciones de los mismos con relación a los conceptos definidos en las categorías basados en la mecánica – cuántica. Las categorías tenidas en cuenta para el análisis del cuestionario de invariantes operatorio, se muestra a continuación:

Tabla 3. Categorización de las situaciones del cuestionario de Invariantes operatorios.

Categoría	Dominio Conceptual.
C1	Sustancias constituidas por partículas (átomos y / o moléculas). (Naturaleza Corpuscular)
C2	Complementariedad entre variables. (Principio de Incertidumbre)
C3	Las ondas mecánicas se desplazan a través del aire. (Naturaleza Ondulatoria)
C4	Cuando se asignan operadores a la ecuación de onda, proporciona información sobre el comportamiento del electrón. (Función de Onda y probabilidad electrónica)
C5	Los fotones se comportan como onda y como partícula (Dualidad Onda - Partícula)
C6	Representación del átomo

6.2.1. Análisis de los invariantes operatorios presentados por los estudiantes al inicio de la propuesta de intervención –Estado Inicial-

A continuación los conceptos en acción y los teoremas en acción inferidos para cada estudiante denominados E1, E2, E3,E4, E5,E6 según la codificación de cada categoría de análisis.

6.2.1.1. Caso E1 (Ver anexo A1)

C1: E1 No deja muy claro el concepto de “sustancia”. No se percibe si tiene claro si las “sustancias” están constituidas por partículas.

C2: Utiliza y relaciona de forma clara los conceptos de velocidad y posición, y los reconoce como variables complementarias. Tiene claro, de forma implícita, el principio de complementariedad entre variables. Además, presenta filiaciones entre los conceptos de electrón, velocidad, posición y orbital atómico, ya que los relaciona para describir este último.

C3: Relaciona el concepto de “sonido” con el concepto de “onda”. Además, relaciona estos dos últimos con el “medio” por el cual se deben desplazar las ondas sonoras para poder ser transmitidas.

C4: Afirma que los números pueden ser utilizados para determinar posiciones y distancias entre los electrones y el núcleo. No expresa nada con respecto a la probabilidad.

C5: Aunque el estudiante deja claro que la luz se desplaza por medio de “ondas lumínicas” y que el rayo de luz está constituido por partículas, no es muy clara la

relación Onda-Partícula en el teorema de E1. Este estudiante establece relaciones entre los conceptos de luz, ondas lumínicas, partículas y choques, con los cuales se apoyó para resolver la situación.

C6: Establece las siguientes filiaciones conceptuales:

a. Orbita con electrón

b. Núcleo con protones y neutrones

c. Relaciones de carga eléctrica de las partículas subatómicas así: PROTONES son positivos, NEUTRONES son neutros y ELECTRONES son negativos y, de estos últimos afirma que se encuentran girando alrededor del núcleo en orbitas circulares.

6.2.1.2. Caso E2 (Ver anexo A2)

C1: Al mencionar el concepto de “partícula” lo hace para referirse a los “componentes del aire”. No deja ver de forma clara y explícita si los olores están constituidos de partículas (átomos y/o moléculas). Al referirse a la constitución de los olores hace alusión al termino “componentes químicos” sin dejar muy claro cuáles son dichos componentes o a que se refiere con esto.

C2: Se evidencia una clara dificultad al relacionar los conceptos de “posición” y “velocidad”. El teorema en acción que utiliza para resolver la situación es confuso en cuanto afirma que “por más que sea su velocidad siempre estará en la misma posición”. A no ser que, con la expresión “la misma posición” se esté refiriendo al orbital atómico o región del espacio donde es seguro encontrar siempre al electrón. Por otro lado, tiene clara la relación electrón-orbital.

C3: En la relación de conceptos en esta situación, se evidencia también que no relaciona los conceptos de “sonido” y “onda”. Al parecer, el aire es quien está compuesto de ondas y el sonido viaja por dichas ondas del aire. Habla de las ondas como componentes del aire y no como aquella forma de transmisión o propagación de la energía (sonido)

C4: No deja ver muy claramente la relación o filiación entre los conceptos de “posición” y “velocidad” ya que a nuestro modo de ver, hace referencia a esta última con la expresión “constante movimiento”. Además, en el segundo de los teoremas en acción que utiliza se contradice con el primero ya que, si los electrones están en constante movimiento no se les puede determinar una posición exacta y, si están quietos tampoco”.

C5: E2, no menciona el mecanismo o forma como la luz se desplaza en el espacio y utiliza el concepto de “materiales” lo que hace difícil determinar a qué se refiere con dicho concepto (atendiendo a nuestra búsqueda de partículas). Por otro lado, hace uso del concepto de “fuerza” para explicar el hecho de que la luz o el rayo de luz no atraviese la mano y por ende se produzca una sombra.

C6: No tiene clara la estructura jerárquica mínima del átomo. En primer lugar, para E2, el átomo está formado por lo que parecen varias capas circulares (se aprecian en su esquema gráfico) y dentro del núcleo ubica tanto a los protones y neutrones como a los electrones. Se sigue evidenciando la contradicción en cuanto al movimiento y posición de los electrones dentro del átomo.

6.2.1.3. Caso E3 (Ver anexo A3)

C1: Es clara la filiación entre los “olores” y sus constituyentes “pequeñas partículas”. En cuanto al desplazamiento de los olores, E3 afirma que se desplazan a través o por medio del aire.

C2: Es evidente que maneja el principio de complementariedad entre las variables “posición” y “velocidad”. Además, encontramos implícito el concepto de “probabilidad” ya que afirma que “si determinamos su posición, determinar su velocidad sería casi imposible”. Por otro lado, también es evidenciable la relación electrón-orbital atómica; considerando a este último como el espacio el cual giran los electrones alrededor del núcleo.

C3: Presenta filiaciones claras entre los conceptos de “sonido” y “onda”, afirma que “el sonido es una onda” y que se desplaza a través de un medio elástico (agua o aire)

C4: Relaciona la función de onda (números) con la posición del electrón y tiene muy claro el concepto de “probabilidad” al hablar de dicha posición. De hecho, afirma que los números servirían para facilitar el estudio del átomo (los entendimos como una utilidad de la asignación y/o utilización de números para describir el comportamiento del electrón)

C5: No deja ver muy clara la relación o dualidad Onda-Partícula. Por un lado, afirma que la luz o el rayo de luz se desplaza por el espacio a través de ondas y, por el otro lado, afirma que la mano genera un obstáculo para el rayo de luz; lo que lleva a pensar que quizás, tenga implícito el concepto de “partícula de luz” en esta afirmación.

C6: Los ELECTRONES cargados negativamente giran alrededor del núcleo. En el núcleo, se encuentran los PROTONES, cargados positivamente, los NEUTRONES cargados neutralmente y los QUARKS. Cabe resaltar que E3, es el único estudiante

que utilizó los “quarks” en la elaboración de su representación gráfica del átomo ubicándolos dentro del núcleo.

7.2.1.4. Caso E4 (Ver anexo A4)

C1: La estudiante tiene una filiación con respecto al mecanismo mediante el cual el sentido del olfato es capaz de descifrar y diferenciar entre distintos tipos de olores. Por otra parte, la estudiante asocia las sustancias fuertes con malos olores y las esencias con olores agradables. Presenta inconsistencia con la categoría ya que no considera que los olores estén formados por partículas.

C2: La estudiante presenta filiación entre los conceptos velocidad y posición del electrón cuando afirma que hallar la posición exacta de los electrones es imposible ya que giran rápidamente, hace mucho énfasis en el concepto de posición. Con respecto al concepto de orbital atómico, lo considera ajeno o externo al átomo. Es necesario indagar con la estudiante ya que existe la posibilidad que este confundiendo el concepto de núcleo con el de átomo.

C3: La estudiante presenta una filiación ya que relaciona los conceptos de onda y sonido, no se evidencia en su invariante operatorio, el medio por el cual llegan esas ondas a su oído.

C4: Tiene claro el concepto de probabilidad con el cual se considera la posición del electrón utilizando un número, posee una ruptura en cuanto al número de electrones ya que considera que son “miles de millones de electrones”, concepto que está muy alejado de lo que es el número atómico (Z).

C5: No se evidencia dentro del invariante operatorio la dualidad onda – partícula, en ningún momento se mencionan conceptos como onda, partícula, desplazamiento.

Considera que la mano interfiere en la trayectoria del rayo de luz pero no logra explicar el porqué de ese fenómeno.

C6: Hay una filiación porque considera el átomo formado por las tres subpartículas básicas, La estudiante tendría que establecer una ruptura en cuanto a la posición ocupada por los neutrones ya que los ubica en orbitas alrededor del núcleo, el cual considera formado solo por protones

6.2.1.5. Caso E5 (Ver anexo A5)

C1: El estudiante afirma que los olores se encuentran dispersos en el aire. Hay una dificultad conceptual ya que no se evidencia la presencia de partículas en los olores, cuando habla de “esencias y pigmentos naturales”, es necesario entonces indagar sobre los significados atribuidos a estos términos.

C2: la estudiante considera que las variables de posición y velocidad variables se pueden determinar simultáneamente. Presenta una filiación ya que relaciona los conceptos de orbital atómico con el de electrón.

C3: Existe filiación con la categoría ya que considera los sonidos como ondas, las cuales se desplazan en el aire.

C4: La estudiante presenta una contradicción en sus teoremas en cuanto a que afirma que es posible determinar la posición, pero asocia ese número con la cantidad de electrones presentes en el átomo.

C5: Frente a esta categoría el estudiante tiene claro la parte macroscópica del fenómeno ya que afirma que “el rayo de luz choca con la mano produciendo cierta interferencia”, lo que no se evidencia es la constitución del rayo, ni el medio por el cual

éste llega a la mano (dualidad Onda – Partícula), hace falta indagar como concibe la naturaleza del rayo.

C6: E5 presenta filiación entre núcleo, protones y neutrones y entre orbitas circulares y electrones. Presenta una estructura jerárquica básica del átomo.

6.2.1.6. Caso E6 (Ver anexo A6)

C1: La estudiante establece relaciones entre los conceptos de partículas (moléculas) y sustancias; E6, presenta filiación de manera implícita¹ en cuanto a la constitución de los olores ya que los considera como una suma de sustancias y no como una de ellas.

C2: E6 tiene implícito el principio de complementariedad entre variables ya que afirma que no es posible conocer ambas variables de forma simultánea por el “constante movimiento de los electrones”. En el teorema en acción que utiliza para resolver la situación de orbital atómico presenta confusión de términos, ya que afirma que “el átomo está situado en una órbita que no permite que se salga”, es necesario indagar sobre el significado que E6 le atribuye al concepto de átomo.

C3: E6 relaciona los conceptos de “onda” y “sonido”, la omnipresencia de las ondas y el medio por el cual se desplazan.

C4: La estudiante relaciona los conceptos de número y posición del electrón, tiene implícito el concepto de probabilidad ya que afirma que “no es posible determinar su posición exacta”.

C5: Tiene claro el concepto de partículas

C6: Presenta una filiación ya que considera un núcleo dentro del átomo, pero presenta una confusión cuando plantea que dicho núcleo está formado por protones y electrones.

Las partículas que considera girando alrededor del núcleo en órbitas elípticas son los neutrones.

6.3. Análisis de la Fase II.

6.3.1. Análisis de la segunda y tercera serie de situaciones (intervención) (Ver anexo A7)

El siguiente cuadro de convenciones facilitará la lectura del análisis de las situaciones de la fase II:

Tabla 4. Categorización de las series de situaciones problemas.

Categoría	Comprende las situaciones	Dominio conceptual
C1	S1, S2, S3, S4	Naturaleza dual de la materia explicada a través del efecto fotoeléctrico.
C2	S5, S6	La radiación absorbida por un cuerpo negro es igual a la radiación emitida.
C3	S7, S8	Complementariedad entre variables (Principio de incertidumbre).

6.3.1.1. Caso E1

C1: S1, S2, S3, S4.

E1 logra relacionar las diferentes situaciones con el efecto fotoeléctrico. Muestra filiaciones conceptuales para explicar el fenómeno planteado en las diferentes

situaciones. En dos de sus teoremas en acción asocia, tanto la voz, como las microondas con los fotones; es decir, esta relacionando de forma errónea (en estos teoremas) la dualidad onda – partícula, ya que afirma que la voz y las microondas están constituidas por partículas (fotones). Además, asocia o relaciona la corriente eléctrica con flujo de electrones.

Por otra parte comprende de forma básica el efecto fotoeléctrico y utiliza varios conceptos para explicar las situaciones desde el fenómeno.

C2: S5, S6.

En términos generales, E1 maneja conceptos básicos o fundamentales para darle solución a las diferentes situaciones utilizando como referente conceptual el fenómeno de la radiación del cuerpo negro. Se evidencia que comprende el concepto de cuerpo negro de forma básica, filiendo diferentes conceptos para plantear sus teoremas en acción.

C3: S7, S8.

Los teoremas en acción utilizados por E1, dan cuenta de una clara filiación conceptual entre las variables complementarias (posición y velocidad), la probabilidad y la incertidumbre. Se evidencia además, la utilización clara del concepto de probabilidad para explicar (definir) el orbital atómico o la nube electrónica.

6.3.1.2. Caso E2

C1: S1, S2, S3, S4.

E2 presenta ciertas filiaciones conceptuales claras como la dualidad onda – partícula al explicar las diferentes situaciones tomando como referente conceptual el efecto fotoeléctrico. Por otro lado, presenta una filiación interesante ya que relaciona las ondas con transmisión de energía. E2 Tendría que establecer ruptura cognitiva con uno de sus teoremas en acción donde considera que los electrones que “de los electrones se generan los fotones” pareciese aseverar que un electrón da origen a un fotón.

C2: S5, S6.

Presenta una primera filiación interesante, y es que afirma que la luz está compuesta por fotones. Utiliza conceptos básicos y validos para darle solución a ambas situaciones, tomando como referente conceptual el fenómeno de la radiación de cuerpo negro.

C3: S7, S8.

Los teoremas en acción utilizados por E2 para resolver ambas situaciones presentan una filiación muy evidente entre las variables de posición y velocidad (complementariedad entre variables). Además utiliza el concepto de probabilidad para explicar el orbital atómico o nube electrónica.

Uno de sus teoremas en acción es que “no se puede asignar un valor numérico” para tener una base probabilística de la posición del electrón en el átomo, lo que la distancia de la conceptualización en el marco de la mecánica cuántica.

6.3.1.3. Caso E3

C1: S1, S2, S3, S4.

E3, utiliza el mayor número de conceptos para dar explicación y / o solución a las diferentes situaciones, son bastante evidentes las filiaciones conceptuales planteadas en sus teoremas en acción.

En primer lugar, tiene filiaciones interesantes y válidas para explicar la dualidad onda – partícula, otra filiación interesante es que E3 habla de partículas cargadas eléctricamente para referirse a los electrones. Tiene bastante claro el fenómeno del efecto fotoeléctrico y ha sido muy notoria la evolución conceptual debido a que ha modificado sus esquemas ampliando o enriqueciendo sus Invariantes operatorios.

C2: S5, S6.

Utiliza conceptos en acción para dar la explicación a las situaciones usando como referente conceptual el fenómeno de la radiación de cuerpo negro. Además un concepto bien interesante es el de “temperatura” utilizado para explicar la absorción de radiación electromagnética por el cuerpo negro.

C3: S7, S8.

Los teoremas en acción que E3 utiliza, presentan una clara filiación y comprensión de la complementariedad entre variables, utilizando el principio de incertidumbre para dar solución a las situaciones. Por otro lado y, con respecto al orbital atómico, E3 maneja de forma implícita el concepto de probabilidad para explicarlo, incluso, menciona la variable “tiempo” dentro de sus teoremas. Además, afirma que se pueden asignar valores numéricos para describir el comportamiento de un electrón dentro del átomo.

6.3.1.4. Caso E4

C1: S1, S2, S3, S4.

E4 presenta filiación cuando asimila de manera adecuada a la analogía la situación de la lluvia con el efecto fotoeléctrico, de hecho, compara los fotones con las gotas de lluvia y los electrones con las partículas de polvo, lo que evidencia un dominio básico del fenómeno del efecto fotoeléctrico. Afirma que “el efecto fotoeléctrico se basa en la producción de energía”, lo que evidencia una dificultad para relacionar dicha situación con el efecto fotoeléctrico. Se evidencia en una de las situaciones la mejora de invariantes operatorios al utilizar el concepto de “radiación electromagnética” de igual manera acierta en afirmar que el vaso es “un buen conductor de energía” por el hecho de ser metálico, pero esto no se relaciona con la situación presentada.

C2: S5, S6.

E4 muy implícitamente maneja la representación de un cuerpo negro, sin embargo no utiliza muchos conceptos propios para explicar el fenómeno de la radiación del cuerpo negro. Presenta una ruptura, cuando la estudiante afirma que “el rayo desaparece” hace pensar que el cuerpo negro absorbiera toda la radiación y se “quedara con ella”, lo cual va en contravía con la teoría que describe el cuerpo negro en este modelo atómico mecánico – cuántico.

C3: S7, S8.

En cuanto a esta categoría, E4 posee una filiación al afirmar que “No se podrá saber la ubicación exacta del electrón como de la polilla”, lo que evidencia implícitamente que la estudiante maneja el concepto de incertidumbre en la solución de la situación, además maneja el concepto de probabilidad.

7.3.1.5. Caso E5**C1: S1, S2, S3, S4.**

E5 presenta una filiación cuando afirma que el fenómeno de la voz se produce por ondas pero es un concepto que aún no relaciona eficientemente, ya que usa dos conceptos: Ondas de radiación y Ondas de radio, lo que es evidente E5 no puede explicar de manera cercana al campo disciplinar el fenómeno asignado en la situación.

Por otra parte, presenta una filiación en la situación S2 ya que asocia de buena manera los electrones con las partículas de polvo y las gotas de lluvia con los fotones, de igual manera no de forma muy clara trata de evidenciar la materialización de los fotones

cuando afirma que “entregan la energía”. Presenta una filiación no muy clara pero afirma que “el microondas posee ondas de energía” y que esas ondas le transmiten la energía a los electrones, utiliza un término muy escaso en otras estudiantes afirmando que el electrón “se mantiene en estado excitado pues absorbe energía”

C2: S5, S6.

Presenta una filiación muy implícita cuando afirma que “el color negro” absorbe los rayos solares, pero al mismo tiempo afirma que “no hay liberación de esta energía”, lo que va completamente en contravía del concepto de cuerpo negro, en el cual la tasa de absorción es igual a la tasa de emisión.

C3: S7, S8.

E5 presenta una filiación cuando es capaz de asociar cada uno de los elementos presentados por la situación S7 con los conceptos utilizados en teoría atómica, de igual manera afirma que es posible asignar números a la posición de un electrón indicando la NO exactitud, de hecho, habla de nivel y subnivel (números cuánticos) y que su velocidad no podría ser conocida. E5 en momentos interpreta la situación de acuerdo a la polilla y la cámara, es decir, requiere de la representación para poder explicar la situación, es evidente cuando afirma que “la posición de la polilla se puede descifrar por medio de las fotografías pero sin ser exacto y su velocidad no se descifra por el cambio de posición”. En S8 afirma que el electrón puede ser encontrado en un tiempo determinado pero no con exactitud.

7.3.1.6. Caso E6

C1: S1, S2, S3, S4.

E6 presenta una filiación donde es capaz de relacionar el fenómeno de la lluvia con el efecto fotoeléctrico, lo que evidencia un conocimiento básico del fenómeno, además, es importante cuando maneja el concepto de “energía umbral” y de manera implícita también afirma que cuando la energía aumenta, “los electrones adquieren una mayor velocidad”, lo cual nosotros podemos relacionarlo con la energía cinética. No presenta mucha claridad al explicar la situación del televisor, más bien parece que trató de explicar la situación con la información que suministró la misma, para rescatar en esta situación, el manejo de conceptos como fotón por ejemplo. Posee una filiación al afirmar que el vaso se calienta porque recibe la energía, pero le faltó argumentar el por qué de ese fenómeno, no habló de excitación de los electrones.

C2: S5, S6.

Posee filiación al explicar que la camisa de color negro absorbe los rayos del sol, pero también cuando afirma que “no devuelve dicha energía”. Posee también una ruptura en la situación de la esfera ya que afirma que el “haz de luz se pierde” lo cual no es consistente con el fenómeno del cuerpo negro.

C3: S7, S8.

E6 posee una filiación cuando afirma que el electrón se encuentra en constante movimiento ya que de igual manera no hay forma de definir donde se encuentra este con exactitud.

6.3.2. Análisis comparativo de los estados inicial y final de los invariantes operatorios

6.3.2.1. Caso E1 (Ver anexo A8)

C1: E1, en primer lugar, presenta una filiación entre el olor y el átomo (partículas) ya que pasó de afirmar que el olor estaba hecho de “sustancia” a decir que el olor esta hecho de “átomos”. Por otro lado, hay un obstáculo mental evidente ya que afirma que los olores “viajan en forma de onda”; no concibe el fenómeno de dispersión para la transmisión o propagación de los olores. Otorga comportamientos ondulatorios a un fenómeno que no los posee o presenta.

C2: Este estudiante cuando dio respuesta al primer cuestionario, lo hizo basándose en la información que la situación le proporcionó. Mientras que en el segundo cuestionario, dio solución a la situación, utilizando de forma explícita en el principio de incertidumbre; es decir, sus invariantes operatorios se han modificado notablemente, evocando su uso para dar solución a la situación propuesta.

C3: Las respuestas presentadas por E1 en ambos cuestionarios, siguen presentando un “núcleo” común, ya que en ambos casos afirma que el sonido se desplaza a través del aire por medio de ondas. De hecho, ofrece una explicación más completa en el primer cuestionario que en el segundo, lo cual evidencia una clara disminución de la disposición y de la motivación de E1

C4: En esta situación se nota una filiación entre los “números” –planteados en las situaciones- y la configuración electrónica. Otra de la filiaciones importantes que E1 presenta es que, de forma explícita relaciona estos “números” con la probabilidad o la exactitud, ya que “sabemos que el electrón esta en esa región, no su posición exacta”

C5: En ambos casos, considera a la luz como formada por partículas que viajan en forma de ondas, la filiación consiste en que en el segundo cuestionario, le da el nombre de “fotones” a dichas partículas, interpretando y utilizando de forma más adecuada el fenómeno de la naturaleza dual de la materia.

C6: En esta situación presenta un significativo progreso en cuanto a lo representacional, ya no esquematiza un modelo planetario simple, sino que esboza un modelo probabilístico con nubes electrónicas y niveles de energía, así como las partículas subatómicas básicas (quarks, protón, neutrón y electrón). En ambos cuestionarios, mostró exactamente el mismo nivel de jerarquización de las partículas subatómicas y del átomo como tal; siendo el Quark, la partícula más pequeña, apreciable como constituyente de neutrones y protones.

7.3.2.2. Caso E2 (ver anexo A9)

C1: En esta situación también es muy evidente la ruptura presentada por E2, ya que modifica totalmente sus invariantes operatorios. En el primer cuestionario, plantea el teorema en acción de que “los olores están hechos de varios componentes químicos”, mientras que en el segundo cuestionario, afirma que “los olores están hechos de átomos”

C2: Presenta un ruptura “negativa” en el primer cuestionario plantea que el si se podrían asignar números para determinar la posición del electrón y en el segundo cuestionario, afirma que no es posible asignar valores numéricos porque el electrón se encuentra en constante movimiento.

C3: Se presenta una ruptura interesante, ya que en el primer cuestionario afirma que las ondas son componentes del aire y que se encuentran en constante movimiento; mientras que en el segundo cuestionario afirma que “el sonido llega al oído en forma de

ondas que viajan a través del aire”, lo cual evidencia que ha modificado sus esquemas cognitivos.

C4: En la solución de esta situación, se presenta una ruptura entre el estado inicial y estado final de los invariantes operatorios que E2 utiliza ya que, en un primer momento afirma que no es posible asignar valores numéricos para describir la posición del electrón en un átomo y, en el segundo cuestionario, plantea que si es posible asignar los valores numéricos pero que éstos no serían exactos. Una cuestión en común es que, en ambos casos tuvo presente el constante movimiento de los electrones dentro del átomo.

C5: En la resolución de esta situación también se evidencia una ruptura ya que, en el primer cuestionario, no tenía muy clara cuál era la naturaleza dual la luz (rayo de luz emitido por la linterna) y en el segundo cuestionario hace explícita la idea de que “los fotones chocan con la mano”

C6: Las representaciones del átomo presentadas en ambos estados también ha sufrido modificación o evolución. En un primer momento representaba al átomo mediante un modelo planetario, ubicando protones, neutrones y electrones en el núcleo del mismo. En el segundo momento, elabora una representación la cual presenta una región central constituida por protones, neutrones y quarks (los cuales no los considera como constituyentes de otras partículas subatómicas), alrededor del núcleo, se encuentran los electrones el lo que al parecer son “orbitales tipo p”. Ha modificado notablemente sus invariantes operatorios en cuanto a la jerarquización interna del átomo. Una de las rupturas más claras es que en el primer cuestionario ubica los electrones dentro del núcleo y en el segundo cuestionario, los ubica girando alrededor del núcleo. Además, en su representación, se evidencia un núcleo atómico constituido por protones y neutrones y estos a su vez, constituidos por Quarks.

6.3.2.3. Caso E3 (Ver anexo A10)

C1: Conserva la idea de que los olores están hechos de partículas, sin embargo, es muy apreciable que no progresa en el sentido de que considera que los olores se desplazan como ondas, asociando de manera errónea el fenómeno planteado en la situación con la naturaleza o comportamiento dual de la materia.

C2: En esta situación se mantiene constante la filiación entre la velocidad y la posición del electrón (complementariedad entre variables). La ruptura cognitiva apreciable en E3, consiste en que, en el primer cuestionario, considera al orbital atómico como un “espacio que ocupan los electrones al girar alrededor del átomo” y, en el segundo cuestionario habla del “espacio donde podemos encontrar al electrón, no sabemos dónde exactamente pero ahí está”, lo cual demuestra que E3 utiliza el concepto en acción de probabilidad para conceptualizar el orbital atómico.

C3: Permanecen constantes sus invariantes operatorios en cuanto a que el sonido se desplaza por el aire en forma de ondas.

C4: Aquí se presentó una filiación interesante ya que asocia los valores numéricos con el orbital atómico y continúa utilizando conceptos como probabilidad y certeza para darle solución a la situación.

C5: La ruptura cognitiva más evidente consiste en que en el primer cuestionario no considera –o no de forma explícita- la naturaleza corpuscular de la luz y en el segundo cuestionario habla de fotones como partículas de luz. Por otro lado, mantiene constantes sus invariantes operatorios en cuanto al comportamiento ondulatorio de la luz, ya que en ambos cuestionarios afirma que el rayo de luz se desplaza en forma de ondas. Además, otra ruptura interesante es el hecho de que en el segundo cuestionario plantea la idea de que “los fotones se materializan al chocar con la mano”

C6: En cuanto a la representación del átomo, E3 presenta evolución ya que paso de representarlo mediante un modelo asociable al modelo planetario a representarlo utilizando un modelo de nubes de probabilidad –de manera implícita- en lo que parecen ser orbitales de tipo s y p. Se evidencia claramente que ha modificado sus esquemas en cuanto a la jerarquización y ubicación de las partículas subatómicas dentro del átomo. En un primer momento, ubicaba los Quarks dentro del núcleo como constituyentes de los neutrones; mientras que en el segundo momento, muestra a los Quarks como constituyentes tanto de neutrones como de protones, ubicándolos a su vez, en el núcleo atómico.

6.3.2.4. Caso E4 (Ver anexo A11)

C1: Con respecto al cuestionario aplicado antes de la intervención, la estudiante activa menos conceptos y en realidad no presentan mayores progresos en su conceptualización, ya que no explica ni siquiera la composición de olores ni el medio de propagación.

C2: La estudiante presenta filiación entre los conocimientos iniciales y finales ya que considera imposible hallar velocidad y posición de los electrones dentro de un átomo. Hay una filiación positiva en el concepto de orbital atómico ya que lo considera como ese espacio donde se encuentran los electrones.

C3: La estudiante presenta una filiación entre los conceptos en acción de onda y sonido en ambos cuestionarios, es de aclarar que en el cuestionario final, también considera menos conceptos que en el inicial.

C4: Esta estudiante cree posible la descripción de los electrones asignando números y aclara que esta no es exacta, que solo describe una zona de probabilidad, lo cual indica que hay una filiación positiva con respecto al dominio conceptual adquirido.

C5: No se evidencia dentro de los invariantes operatorios la dualidad onda – partícula, en ningún momento se mencionan conceptos como onda, partícula, desplazamiento.

Considera que la mano interfiere en la trayectoria (obstáculo) del rayo de luz pero no logra explicar el las razones de ese fenómeno, con respecto al cuestionario inicial, no hay cambio de conceptos ni del teorema en acción para explicar la situación.

C6: Hay una ruptura cognitiva porque ya no considera el átomo plano tipo Rutherford del cuestionario inicial sino que ya se evidencia por lo menos un modelo espacial en el que se muestran las partículas subatómicas aunque no están descritas, además presenta el problema de considerar a los protones en las supuestas orbitas.

6.3.2.5. Caso E5 (Ver anexo A12)

C1: Con respecto al cuestionario aplicado al inicio, hay una filiación considera los olores formados por pigmentos, también formados por partículas, además sigue considerando el aire como medio de propagación.

C2: En este cuestionario final se evidencia una ruptura ya que la estudiante consideraba que la posición y la velocidad de los electrones era fácil encontrarlas de forma simultánea, ahora sus teoremas en acción explican de mejor manera la incertidumbre Posición – velocidad, se considera que hubo ampliación de sus invariantes operatorios. En cuanto a los conceptos asociados con orbital atómico, solo señala que es una esfera cargada de energía, relacionándolo con el orbital de tipo s, lo que implica un obstáculo mental con lo que se debe establecer ruptura.

C3: E5 utiliza un teorema en acción que en realidad, ha sufrido muy poca modificación, hay una filiación ya que sigue considerado el medio o aire formado por partículas.

C4: La estudiante presenta una filiación ya que considera posible asignar números a la posición de los electrones, aunque afirma que no es exacta esa ubicación, lo cual es una base para acceder al conocimiento científico, además habla de dos conceptos que confirman su discurso, nivel y subnivel, los cuales son representados por símbolos, nivel de energía con números y subnivel de energía con letras.

C5: En esta ocasión menciona la dualidad de la luz (onda - partícula), no da explicación convincente y eficiente al fenómeno planteado en la situación.

C6: Hay una filiación con respecto al cuestionario inicial ya que se considera un átomo más espacial, lo que se considera un avance ya que pasó de la concepción del modelo de Rutherford a uno similar al de Bôrh.

6.3.2.6. Caso E6 (Ver anexo A13)

C1: En esta situación, la estudiante tiene filiación con respecto al primer cuestionario, ya que considera que los olores están formados por moléculas y partículas, en cuanto a la forma de cómo llegan a la nariz no hay un avance significativo porque no logra explicar el fenómeno eficientemente.

C2: E6 tiene implícito el principio de complementariedad entre variables ya que afirma que no es posible conocer ambas variables de forma simultánea por el “constante movimiento de los electrones”, utiliza más conceptos para tratar de explicar la situación. Asocia el orbital atómico con una vía, entendiéndolo como algo plano, fijo y estático y no como una nube de probabilidades como lo muestra el modelo actual del átomo.

C3: E6 presenta una filiación positiva ya que relaciona las ondas con el medio conductor, (el aire como conductor y transmisor de ondas, en este caso las sonoras).

C4: La estudiante presenta la filiación ya que relaciona los conceptos de número y posición del electrón, tiene implícito el concepto de probabilidad, ya que afirma que “no es posible determinar su posición exacta”.

C5: Presenta conceptos que asocian la luz a partículas no explica la situación de manera eficiente.

C6: Presenta una filiación positiva ya que considera las partículas subatómicas en el lugar correcto, en cuanto a los orbitales atómicos, aún no posee claridad de la función de estos en la mecánica cuántica.

6.3.3. Análisis comparativo de todos los casos (Estado Final)

Tabla 5. Análisis comparativo de todos los casos (Estado final)

Categoría	E1	E2	E3	E4	E5	E6	T.A	C.A	T.A	C.A	T.A	C.A
	T.A	C.A	T.A	C.A	T.A	C.A						
C1	“Los olores pueden llegar ya que viajan como partículas en forma de onda” “Los olores están hechos de átomos”	Olores. Partículas Onda. Átomos.	“Estos olores llegan por el aire, el aire se encarga de transportarlos por varios lugares” “Estos olores están hechos de átomos”	Olores Aire Transportar Átomos	“Los cuerpos u objetos desprenden en los olores, estos se desplazan como ondas hasta nuestra nariz donde los receptores los atrapan”. “Los olores están compuestos por partículas”.	Cuerpos u objetos. Olores. Desplazar. Ondas. Partículas.	“Se daría por las sustancias son percibidas por el sentido del olfato”	Sustancias. Producto de cambios	“En el aire se encuentran gran cantidad de partículas las cuales son absorbidas al respirar” “Estos olores están hechos de pigmentos y partículas fáciles de captar en el medio ambiente”	Aire (como medio). Partículas. Pigmentos.	“Los olores que emanan los objetos están compuestos por moléculas o partículas”	Moléculas. Partículas.
C2	“Ese es	Principio	“No se	Electro	“Si	Posición	“Es	Posición	“No es	Posición.	“No,	Continu

	<p>el principio de Incertidumbre que nos dice que si conocemos su posición no podemos saber a que velocidad va, y si sabemos su velocidad no conocemos su posición, si conocemos una variable no podemos conocer la otra".</p> <p>"Un orbital atómico es el espacio o región donde se encuentra el electrón girando alrededor del núcleo".</p>	<p>de incertidumbre. Posición. Velocidad. Variable. Orbital atómico Espacio o región Electrón Girando alrededor Núcleo</p>	<p>pueden asignar valores numéricos ya que el electrón se encuentra en constante movimiento"</p> <p>"Podría (aunque es muy difícil) determinar la velocidad pero no la posición exacta"</p> <p>Orbital atómico Constante movimiento Electrones</p>	<p>nes Constante movimiento Velocidad Posición exacta</p> <p>"Un orbital atómico es donde los electrones se encuentran en constante movimiento"</p>	<p>sabemos la posición no sabemos la velocidad, o si sabemos la velocidad no sabemos la posición, solo podemos saber una de las variables".</p> <p>"Es el espacio donde podemos encontrar al electrón en determinado átomo".</p> <p>"Es un espacio donde está el electrón, no sabemos dónde exactamente pero ahí está"</p>	<p>n. Velocidad. Variables.</p> <p>Espacio. Electrón. Átomo. Exactitud.</p>	<p>imposible hallar la posición y la velocidad, se podría conocer una ubicación posible o un lugar no determinado exactamente, la velocidad también aproximada"</p> <p>"El espacio o lugar en que se encuentra el electrón"</p>	<p>n. Velocidad. Ubicación. Exactitud.</p> <p>Orbital atómico. Rodea. Girar. Átomo. Espacio. Electrón.</p>	<p>posible, pues la posición y la velocidad no se pueden encontrar al mismo tiempo, la posición además no es exacta."</p> <p>"Esferas cargadas de energía donde se encuentran girando los electrones"</p>	<p>Velocidad. Exactitud.</p> <p>Energía. Electrones. Girando (Giro)</p>	<p>porque está en continuo movimiento, es imposible determinar exactamente la ubicación de este"</p> <p>"Son las "vías" por las que el electrón se puede mover o desplazarse"</p>	<p>o movimiento. Exactitud. Ubicación. Electrón. Probabilidad.</p> <p>Electrón. Desplazar. Mover.</p>
C3	<p>"La voz puede llegar al oído de mi amigo ya que podemos transmitir ondas sonoras que viajan en el aire".</p>	<p>Voz Ondas sonoras Viajan en el aire</p>	<p>"En forma de ondas que viajan a través del aire".</p>	<p>Ondas Viajan Aire</p>	<p>"Al hablar nuestro cuerpo produce vibraciones que se desplazan en forma de ondas hasta llegar al receptor".</p>	<p>Vibraciones. Desplazar. Ondas. Oído.</p>	<p>"La llegada del sonido a mis oídos se explicaría por las ondas"</p>	<p>Ondas. Fuerza.</p>	<p>"Al percibir un sonido captamos unas ondas sonoras que interactúan con las partículas del aire logrando desplazarse al oído"</p>	<p>Sonidos. Ondas sonoras. Partículas del aire.</p>	<p>"El sonido se transmite por las ondas sonoras... son conducidas gracias al aire ya que este transmite el sonido"</p>	<p>Sonido. Ondas sonoras. Conducidas. Aire. Transmisión.</p>
C4	<p>"Si se pueden asignar números y lo podemos constatar con la</p>	<p>Configuración electrónica Niveles de energía Electrón Región</p>	<p>"Es posible y no es exacto ya que los electrones se encuentran</p>	<p>No es exacto Electrones Constante movimiento Imposible</p>	<p>"Si es posible, el número representa un orbital atómico donde</p>	<p>Número. Orbital atómico. Electrón. Certeza.</p>	<p>"Si creo que sería posible aunque esta posición no sería exacta, solo se</p>	<p>Electrón. Exactitud. Posición. Átomo.</p>	<p>"Sería posible calcularlos con números pero teniendo en cuenta</p>	<p>Exactitud. Posible (probabilidad). Nivel. Subnivel. Ubicación.</p>	<p>"La ubicación y la posición exacta de un electrón es muy</p>	<p>Electrón. Posición. Probabilidad Exactitud. Número</p>

	configuración electrónica y Bohr fue el que empezó con los niveles de energía” “Sabemos que el electrón está en esa región no su posición exacta”.	Posición exacta	ran en constante movimiento, así que sería imposible”	ble	podemos estar seguros que el electrón está ahí”. “El número representa un orbital atómico, donde con certeza podemos decir que ahí está el electrón, mas no sabemos exactamente en qué lugar del orbital atómico está”.		sabría un lugar posible o la posible zona”		que el resultado no es exacto, se calcula mediante el nivel y el subnivel”		poco probable de encontrarla”	s.
C5	“El rayo de luz llega a la mano gracias a que los fotones son partículas que viajan como ondas”. “Al chocar con la mano los fotones se materializan y rebotan hacia otra parte por eso vemos la sombra y eso es el efecto fotoeléctrico”	Rayo de luz Fotones Partículas Ondas Chocar Materializan Rebotar Sombra Efecto fotoeléctrico	“No la puede atravesar porque al poner la mano chocan los fotones y no pueden seguir su camino”	Fotones Chocan Atravesar	“El rayo de luz no puede atravesar la mano ya que los fotones (partículas que componen la luz) son emitidos por la fuente luminosa, viajan como onda, pero al “chocar” con la mano se materializan, volviéndose una partícula la cual “rebota” en la mano y se dirige a otra lugar”. “El rayo de luz llega desplazándose como una onda”.	Rayo de luz. Atravesar. Fotones (partículas que componen la luz). Emisión. Fuente luminosa. Onda. Chocar. Materializar. Partícula. Rebota. Desplazar	“El rayo de luz solo es factor de luminosidad, y el cuerpo ejerce como un obstáculo”	Rayo de luz. Obstáculo. Iluminación.	“El rayo de luz se comporta como partícula logrando así reflejar un solo lado de la mano”	Energía. Onda – partícula (comportamiento dual). Reflejar. Potencia. Partículas. Onda. Transmisión. Sombra.	“La luz solo ilumina, no rompe y esta llega a la mano por medio de la energía, y los electrones que la conforman actúan como partículas ya que están dentro de un átomo”	Ondas. Electrón. Luz. Energía. Átomos.
C6	“El núcleo atómico está constituido	Niveles de energía Electrón Orbital	“El átomo presenta una parte	Neutrones Electrones Proton	“El núcleo atómico está constituido	Electrón Orbital atómico	“Considera un modelo atómico muy	Electrones. Protones. Núcleo	“Considera un átomo con un núcleo	Núcleo. Protones. Neutrón. Electrones.	Presenta un núcleo con protones	Orbitales. Electrones. Neutron

do por protones y neutrones, los cuales están formados por Quarks”	atómico Núcleo Protone s Neutron es Quarks	central done se encuent ran los protone s y los neutron es, al igual que los quarks”	es Quarks Átomo	do por protones y neutrones, los cuales están formados por Quarks”	Núcleo Proton es Neutron es Quarks	similar al modelo comercial del átomo donde se muestran las orbitas, sin decirlo en la representación, los electrones ubicados en ellas y un núcleo con unas subpartículas que no dijo que eran (paracen los neutrones). También considera que los protones se encuentran en las orbitas”	bien conformado con sus respectivas subpartículas (neutrones y protones), También considera unas orbitas ovoides en las cuales giran los electrones alrededor del núcleo”	Orbitas.	s y neutrones en su interior, además a las estructuras ovoides las denomina orbitales y dentro de ellos ubica a los electrones, ubica además los Quarks dentro del núcleo y la varilla de hierro de forma incorrecta.	es. Protone s. Quarks. Núcleo.
--	--	--	-----------------------	--	---	---	---	----------	---	--

C1:

E1, E2, E3 y E6 concluyen que los olores están formados por partículas, (átomos o moléculas), lo que implica que con respecto a la naturaleza corpuscular de la materia, se lograron establecer filiaciones conceptuales que pueden considerarse precursoras de conceptos científicos evidencian el mejoramiento de sus esquemas cognitivos, explicitados en el planteamiento de sus teoremas en acción y conceptos en acción. Es de aclarar que E4 y E5 no lograron establecer acercamiento. El caso E2 se presentó

como el más aproximado en su conceptualización a los teoremas propuestos desde la teoría o campo disciplinar.

C2:

Cinco de los seis casos (E1, E2, E3, E4 y E5) lograron establecer filiaciones conceptuales para explicar el comportamiento del electrón utilizando como premisa el principio de complementariedad entre variables, del cual se valían para argumentar la incertidumbre entre variables como la velocidad y la posición. Por su parte E6 en sus teoremas en acción, solo explicita lo referente a la ubicación o posición del electrón.

C3:

E1, E2, E5 y E6 logran establecer filiaciones conceptuales en sus teoremas en acción que se acercan a los teoremas propuestos desde la teoría disciplinar para explicar la naturaleza ondulatoria de la materia. Por su lado E3 y E4 consideraron que la voz se desplaza por medio de ondas pero no evidencian en sus teoremas en acción el medio de desplazamiento de las mismas.

C4:

Todos los casos lograron establecer filiaciones conceptuales para explicar el comportamiento del electrón dentro del orbital atómico asignando valores numéricos probabilísticos. Sin embargo, los casos que más se acercan a los teoremas propuestos desde la teoría disciplinar son E1, E3 y E5.

Es de resaltar también, que E1 y E5 logran relacionar estos valores numéricos con la configuración electrónica, en lo concerniente a los niveles (n) y subniveles (l) de energía.

C5:

E1 y E3 lograron mayores progresos en la conceptualización con respecto a la naturaleza dual de la materia, sus teoremas en acción se acercan de manera significativa a los conceptos y relaciones propuestos desde la teoría o campo disciplinar.

C6:

E1 y E3 logran alcanzar niveles muy significativos de conceptualización con respecto a la estructura interna del átomo, los conceptos en acción utilizados en sus teoremas en acción dan cuenta de un uso adecuado de la terminología propia de la mecánica cuántica. Es de resaltar además que E1, E2 y E3 utilizan el término "Quarks" en sus representaciones; siendo E1 y E3 los más significativos con respecto a su ubicación como constituyentes tanto de protones (p^+) como de neutrones (n^0)

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

La propuesta de intervención ejecutada con un grupo de estudiantes del grado décimo de Educación Media ha demostrado que, a pesar de la complejidad inherente a la temática o marco teórico disciplinar, en este caso, la mecánica cuántica; es posible que los estudiantes construyan o establezcan filiaciones y rupturas conceptuales⁴ que demuestran o evidencian la creación o estructuración de esquemas cognitivos más adecuados o pertinentes puestos en juego para darle solución a las diferentes situaciones planteadas. Por otro lado, no se puede pasar por alto, que no en todos los casos se evidenció ese mejoramiento o acercamiento conceptual.

A continuación se expondrán una serie de conclusiones que dejó este ejercicio investigativo, así como algunas recomendaciones y/o reflexiones de tipo pedagógico-didáctico tendientes al mejoramiento o implementación de nuevas estrategias de enseñanza que posibiliten mejores desempeños en los estudiantes, es decir, que permitan un mejor aprendizaje de dicha temática.

7.1 Conclusiones

Considerando la Teoría de los Campos Conceptuales como referente para el análisis de la información, se estudiaron los invariantes operatorios de los estudiantes del grado décimo de Educación Media al inicio y al final de la propuesta de intervención, encontrando resultados similares a los reportados en otra investigación (MAITE y otros, 206, p.239). El grupo de estudiantes con el que se llevó a cabo la investigación activó nuevos conceptos en acción y teoremas en acción, los cuales dependían en gran

⁴ Entendidas estas últimas como “superación” o estructuración de esquemas acercándose así a los conceptos y teoremas planteados desde la teoría disciplinar

medida de las características de las situaciones. La forma como cada estudiante entiende una situación, **depende del contexto en el cual está inmerso y del contexto en el cual adquirió y asimiló los diferentes invariantes operatorios**, de los cuales se vale ahora para interpretar y resolver las tareas propuestas.

La planificación, planteamiento y selección de las diferentes situaciones⁵ son un aspecto relevante en el proceso de conceptualización, debido por un lado, a las filiaciones o redes conceptuales que deben emplearse y los esquemas cognitivos que deben activarse para darles adecuada solución y, por el otro lado, al carácter representacional de las mismas. Las situaciones se convierten, desde la teoría de campos conceptuales de Gerard Vergnaud, en las formas utilizadas para representar un determinado fenómeno, son éstas quienes orientan la conceptualización por medio de la contextualización de los conceptos científicos, los cuales deben estar implícitos en la situación, mostrándose como útiles y/o aplicables en la cotidianidad del estudiante.

El “cambio representacional” claramente demarcado entre las perspectivas de la Física Clásica y las de la Física Cuántica es otro aspecto de interés que concierne a la enseñanza del MAMC, debido a que en ocasiones, los estudiantes pueden presentar dificultades al momento de asimilar conceptos de la Física Cuántica atendiendo a su alto nivel de abstracción y a la marcada diferencia en los modelos explicativos que presentan implícitos ambas teorías, ambas formas de interpretar la realidad atómica. Es evidente la variación o “evolución representacional” entre ambas perspectivas y, para ello se citarán algunos casos concretos; mientras que en la Física Clásica se considera al electrón como una partícula, en la Física Cuántica es considerado como una dualidad onda-partícula; mientras que en la Física Clásica los electrones giran alrededor del núcleo en orbitas estacionarias y definidas, en la Física Cuántica el electrón puede encontrarse con cierto nivel de certeza en una determinada región del espacio, cercana

⁵ Consideradas en este ejercicio investigativo como una de las principales estrategias metodológicas implementadas para la recolección de información y para la evaluación de los procesos de enseñanza; en particular, con la evaluación del proceso de conceptualización.

al núcleo atómico, llamada orbital atómico o nube electrónica de probabilidad; mientras que la Física Clásica propone modelos concretos sobre la posible estructura del átomo, la Física Cuántica se basa en modelos abstractos con alto contenido matemático y estadístico (en términos de la probabilidad y la incertidumbre) para describir esa probable estructura atómica.

El manejo del lenguaje en cada una de las situaciones propuestas fue determinante para la interpretación, comprensión y solución de las mismas. La comprensión de lectura se evidenció como un factor determinante al momento de abordar y solucionar las diferentes situaciones. Cuando un estudiante presenta niveles bajos de comprensión lectora su desempeño se ve significativamente afectado y, por ende, la respuesta o solución entregada por los estudiantes no es la más adecuada -atendiendo a lo que se espera-, ya que presentan dificultades debido al carácter representacional del lenguaje; entendido por Henao (2010) quien retoma a Eisenk y Keane (1994) como una representación externa de tipo lingüístico debido a que requieren de la utilización de símbolos explícitos y obedecen a un conjunto de reglas que los estudiantes deben dominar o manejar.

El concepto con mejores niveles de conceptualización, atendiendo a su acercamiento al campo disciplinar de la mecánica-cuántica fue el “principio de incertidumbre”, abordado desde la complementariedad entre variables (posición y velocidad) que describen el comportamiento cinemático del electrón dentro del orbital atómico o nube de probabilidad. En todos los casos se logró evidenciar la comprensión y explicación del principio de incertidumbre a partir de la complementariedad existente entre las variables posición y velocidad. Por otra parte, para la explicación de este concepto, todos los casos utilizaron filiaciones conceptuales entre los conceptos de posición, velocidad, electrones y probabilidad.

Durante el desarrollo de la propuesta de intervención y, tomando como referencia algunos registros audiovisuales y las reflexiones que los docentes investigadores consignaron en su diario pedagógico, se evidenció el concepto de “cuerpo negro” como aquel que suscito mayor complejidad y/o dificultad para los estudiantes a la hora de lograr un nivel básico o mínimo de conceptualización; así como la dificultad por parte de los docentes investigadores para realizar una adecuada o pertinente transposición didáctica, debido a que se requiere cierto grado de conocimiento sobre termodinámica, espectros de absorción y emisión, radiación electromagnética, cuantización de la energía, entre otros; los cuales son “requisitos conceptuales” para una adecuada comprensión del fenómeno que se pretende representar.

En lo concerniente a la evolución de las representaciones semióticas externas de tipo pictórico en relación a la estructura y jerarquización del átomo por parte de los estudiantes, tres de los seis casos analizados (E1, E2 y E3), mostraron cierto grado de acercamiento a las representaciones o modelos planteados desde el campo conceptual de la mecánica-cuántica (nubes electrónicas de probabilidad y posibles representaciones de orbitales s y p); evidenciando una clara ruptura en sus esquemas representacionales sobre el átomo. De otro lado, los tres casos restantes (E4, E5 y E6), mantuvieron una representación del átomo que se acerca más al modelo atómico planetario, propuesto por Rutherford.

7.2 Recomendaciones

La implementación de estrategias metodológicas novedosas – o por lo menos, diferentes-, como los applets y/o laboratorios virtuales, se ha convertido en una de las herramientas mas útiles y prácticas para la enseñanza de los conceptos científicos debido a su carácter representacional, ya que en ellos se puede encontrar alto contenido gráfico, simbólico y técnico (referido este último a la terminología propia de

las disciplinas científicas). Los applets se han constituido como una forma para representar realidades abstractas, como las de la mecánica cuántica, ya que mediante éstos, se les posibilita una “interacción simulada” con el fenómeno y con las variables que pueden intervenir o influir en el comportamiento del mismo. De esta manera, el estudiante puede visualizar virtualmente el fenómeno, interpretarlo, modificar sus variables, verificar hipótesis, observar la variabilidad de su comportamiento atendiendo a condiciones determinadas, comprender sus limitantes, etc.; lo cual desembocará en la activación de diferentes esquemas y a la modificación y/o construcción de invariantes operatorios que le permitan avanzar en el proceso de conceptualización, acercándose de manera significativa al dominio conceptual propio de las disciplinas científicas.

Una buena intervención didáctica es aquella que tiene en cuenta los diferentes estilos de aprendizaje de los estudiantes para la selección y planteamiento de las diferentes actividades, las cuales deben estar enfocadas a estimular cada estilo de aprendizaje propiciando así estándares básicos o altos de desempeño y niveles significativos de conceptualización. La diversidad de estrategias implementadas contribuirá a una mayor “cobertura” o atención estudiantil, permitiendo de este modo que una mayor cantidad de estudiantes alcancen aprendizajes más significativos.

El aumento progresivo en la complejidad de las situaciones, posibilita la creación de filiaciones conceptuales a medida que se modifican, amplían y/o estructuran nuevos esquemas cognitivos. Cada vez que una situación le plantea un nivel más de dificultad al estudiante, éste se verá obligado a evocar más esquemas, utilizando así, mayor cantidad de conceptos en acción y teoremas en acción, movilizándolo su estructura cognitiva de tal forma que el proceso de conceptualización será direccionado y complejizado intencionalmente por medio de las situaciones o tareas que se le propongan a los estudiantes.

La disposición y motivación para afrontar las diferentes situaciones propuestas, para realizar o ejecutar las diversas actividades lúdicas y virtuales, para atender y participar de las secciones de clase, son factores que influyen de manera significativa en el proceso de conceptualización y por ende, en el proceso de aprendizaje, debido al papel activo que se le pretendió otorgar a los estudiantes durante el desarrollo de esta propuesta de intervención. Tanto la disposición por parte de los estudiantes, como la motivación generada por el docente, fueron, son y serán factores determinantes en todo proceso de enseñanza-aprendizaje. Es aquí donde el docente desempeña una indispensable función en dichos procesos de conceptualización debido a tres roles fundamentales, que indiscutiblemente, debe asumir: ser un mediador entre el conocimiento y el estudiante, ser un didactizador del conocimiento científico y posibilitar la construcción o ampliación de esquemas cognitivos a partir de la puesta en escena del conocimiento.

BIBLIOGRAFÍA

Ballesteros F, J. H. *Física moderna*. Universidad de Antioquia. Manual de Seminario de Física Moderna.

Barrantes, H. 2006. *La teoría de los campos conceptuales de Gerard Vergnaud*. Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática. Año 1. Numero 2. p 2.

Bellama, J. M. y Umland, J. B. 2000. *Química general*. Tercera Edición. International Thompson Editores S.A. Capitulo 7. México.

Buddle, M.; Niedderer, H.; Scott P. y Leach John. 2002. "*Electronium*": A Quantum Atomic Teaching Model. Physics Education. En línea: www.idn.uni-bremen.de/puhs/niedderer/2002 Tomado el 15 de Abril de 2010.

Capuano, V.; DIMA, G. y otros. Una experiencia de aula para la enseñanza del concepto de modelo atómico en 8° de EGB. *Revista Iberoamericana de Educación*. N° 44/2. 2007. p. 2. En línea: www.rieoei.org/expe/1837DimaV2.pdf Tomado el 24 de Marzo de 2010.

Cuellar López, Z. Las concepciones alternativas de los estudiantes sobre la naturaleza de la materia. *Revista Iberoamericana de educación*. N°50/2. 2009. En línea: www.rieoei.org Tomado el 24 de Marzo de 2010.

Cruz-Garriz, D. Chamizo, J. A. y Garriz, A. 1991. *Estructura atómica. Un enfoque químico*. Capítulos 3, 5 y 6. México: Addison Wesley Iberoamericana, S.A.

De La Fuente, A. M.; Perrotta, M. T.; Dima, G.; Gutiérrez, E.; Capuano, V. y Follari, B. Estructura atómica: análisis y estudio de las ideas de los estudiantes (8° DE EGB). *Revista enseñanza de las ciencias*. Investigación didáctica. Vol. 21(1).2003. Págs. 123-134. En línea: Tomado el 24 de Marzo de 2010.

Fanaro, M. y Otero M. R. Teoremas en acto y situaciones de mecánica cuántica en la escuela media. *Revista Journal latinoamericana de la educación en física*. Volumen 3. Numero 2. Mayo de 2009. Pág. 308.

Gribbin, J. 1986. *En busca del gota de Schrodinger. La fascinante historia de la mecánica cuántica*. Biblioteca científica Salvat. Barcelona: Salvat Editores. S.A.

Henao Sierra, B. L. 2010. *Hacia la construcción de una ecología representacional: aproximación al aprendizaje como argumentación, desde la perspectiva de Sthepen Toulmin*. Tesis Doctoral Universidad de Burgos. Programa Internacional de doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Burgos. Pág. 32.

Hernández Sampieri, R. y otros. 2008. *Metodología de la investigación*. 6ª Edición. México: Mc Graw Hill.

Maite Andres, M.; Pesa, M. A. y Meneses V. J. 2006. Conceptos en acción y teoremas en acción de estudiantes del profesorado de física. Ondas Mecánicas. *Revista de Investigación* N° 9. Pág. 239.

Moledo, L. y Magnani, E. 2008. *Así se creó la ciencia*. Sección 2, capítulo 5. Barcelona: Ediciones Robinbook.

Moreira, M. A. 2002. *La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área*. Publicado en *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*. 7(1). Pág. 2. En línea: www.if.ufrgs.br/~Moreira/obstaculosrepresentacionales.pdf Tomado el 15 de Junio de 2010.

Moreira, M. A. y Greca, I. M. 2004. *Obstáculos representacionales mentales en el aprendizaje de conceptos cuánticos*. Porto Alegre. p. 1. En línea: www.if.ufrgs.br/~Moreira/obstaculosrepresentacionales.pdf Tomado el 25 de Mayo de 2010.

Muñiz Rigel, S. *construcción de modelos atómicos por estudiantes de bachillerato. influencia de la imagen preconcebida del átomo*. Cartel publicado en el X Congreso Nacional de Investigación Educativa. México. 2008-2009. p. 6. En línea: www.comie.org.mx/congreso/memoria Tomado el 24 de Marzo de 2010.

Ortoli, S. y Pharabod, J. P. 1997. *El cantico de la cuántica. ¿Existe el mundo?* Editorial Gedisa. Barcelona,

Serap, C.; Gamze Sezgin, S. y Erol, M. «Student understanding of some quantum physical concepts». *Journal of Physic Education*. Vol. 3. N° 2. Mayo de 2009. Pág. 205. En línea: www.journal.lapen.org.mx. Tomado el 15 de Septiembre de 2010.

Thesaparis, G. and Papaphotis, G. 2002. “*Quantum – chemical concepts: are they suitable for secondary students*”. *Chemistry Education: Research and practice in Europe*. Vol. 3 N° 2. Pág. 129 – 144. En línea: www.uoi.gr/cerp/2002.May/pdf Tomado el 15 de Mayo de 2010 de:

Trefil, J. S. *De los átomos a los quarks*. Biblioteca Científica Salvat. Salvat Editores S.A. Barcelona. 1985

Trinidad Velasco, R. y Garritz, A. 2003. Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia. *Revista de Investigación Educativa. Educación Química* 14 (2). p. 94. En línea: www.garritz.com/andoni_garritz_ruiz/documentos/trinidad-garrit.pdf Tomado el 22 de Abril de 2010.

Villaveces Cardoso, J. L. La enseñanza de la estructura de los átomos y las moléculas. Grupo de Química teórica universidad Nacional de Colombia. Digitalizado por Red académica. Universidad pedagógica Nacional. En línea: www.redemprendedoresbavaria.net/action/file/download?file Tomado el 24 de Marzo de 2010.

ANEXOS

Anexo A. Tablas

Matriz de los invariantes operatorios del cuestionario Inicial para E1

CASO	CATEGORIA	CODIGO	CONCEPTOS EN ACCION	TEOREMAS EN ACCION.
E1	Sustancias constituidas por partículas (átomos y / o moléculas). (Naturaleza Corpuscular)	C1	* Sustancia. * Corrientes de aire	“Los olores están hechos de sustancias” “Los olores se desplazan por el aire”.
	Complementariedad entre variables. (Principio de Incertidumbre)	C2	* Posición. * Velocidad. * Variable.	“Si determinamos la posición no podríamos determinar a qué velocidad se encuentra viajando”. “Si reconocemos una variable no podemos reconocer la otra”.
			* Orbital atómico. * Espacio. * Electrones. * Movimiento.	“Un orbital atómico es el espacio donde están en constante movimiento los electrones”.
	Las ondas mecánicas se desplazan a través del aire. (Naturaleza Ondulatoria)	C3	* Ondas sonoras. * Onda. * Medio. * Sonido.	“El sonido que emiten las cosas puede ser transmitido gracias a las ondas sonoras”. “Cuando suena algo emite una onda que tiene que tener un medio para poder ser transmitido”.
	Cuando se asignan operadores a la ecuación de onda, proporciona información sobre el comportamiento del electrón (Función de Onda y probabilidad electrónica)	C4	* Espacio. * Distancia. * Núcleo. * Posición. * Electrón.	“Los números pueden ser asignados”. “Se podría saber en qué espacio y a qué distancia del núcleo se encuentra”.
Los fotones se	C5	* Luz.	“La luz llega gracias a	

comportan como onda y como partícula (Dualidad Onda - Partícula)		<ul style="list-style-type: none"> * Ondas lumínicas. * Partículas. * Choques. 	<p>las ondas lumínicas”.</p> <p>“No pueden atravesar la mano ya que las partículas chocan con la mano”.</p>
Representación del átomo	C6	<ul style="list-style-type: none"> * Núcleo. * Protón. * Neutrón. * Electrón. 	<p>“ Los electrones giran en orbitas circulares alrededor del núcleo”</p> <p>“El núcleo está constituido por protones y neutrones”.</p> <p>“Los protones son positivos y los neutrones negativos”.</p>

Matriz de los invariantes operatorios del cuestionario inicial para E2

CASO	CATEGORIA	CODIGO	CONCEPTOS EN ACCION	TEOREMAS EN ACCION.
E2	Sustancias constituidas por partículas (átomos y / o moléculas). (Naturaleza Corpuscular)	C1	* Componentes del aire. * Partículas. * Componentes químicos.	“Los olores se mezclan con los componentes del aire, con cada una de las partículas”. “Los olores están hechos de varios componentes químicos”.
	Complementariedad entre variables. (Principio de Incertidumbre)	C2	* Electrón. * Átomo. * Posición. * Velocidad.	“El electrón dentro del átomo por más que sea su velocidad, siempre estará en la misma posición”.
			* Orbital atómico. * Espacio. * Electrones. * Movimiento.	“Un orbital atómico es el espacio donde están en constante movimiento los electrones”.
	Las ondas mecánicas se desplazan a través del aire. (Naturaleza Ondulatoria)	C3	* Ondas (componentes del aire) * Movimiento constante. * Sonido. * Transportar. * Espacio.	“El espacio tiene ondas (componentes del aire) y, estas ondas están en constante movimiento”. “El sonido se transporta por estas ondas” (ondas como componentes del aire).
	Cuando se asignan operadores a la ecuación de onda, proporciona información sobre el	C4	* Átomo. * Electrón. * Posición. * Exactitud (Certeza).	“No sería posible porque un electrón no tiene una posición exacta ya que pueden estar

	comportamiento del electrón (Función de Onda y probabilidad electrónica)		* Movimiento constante	en constante movimiento”. “Si fueran quietos (electrones) sería imposible darle una posición exacta”.
	Los fotones se comportan como onda y como partícula (Dualidad Onda - Partícula)	C5	* Luz. * Fuerza. * Materiales.	“Los componentes de la luz jamás podrían ser mas “fuertes que los componentes de la mano” “La mano está compuesta por varias capas de varios materiales”.
	Representación del átomo	C6	* Núcleo. * Protón. * Neutrón. * Electrón. * Átomo.	“El átomo está formado por varias capas circulares” “El núcleo está constituido por electrones, protones y neutrones”

Matriz de los invariantes operatorios del cuestionario inicial para E3

CASO	CATEGORIA	CODIGO	CONCEPTOS EN ACCION	TEOREMAS EN ACCION
E3	Sustancias constituidas por partículas (átomos y / o moléculas). (Naturaleza Corpuscular)	C1	* Aire. * Pequeñas partículas indivisibles	“Los olores viajan a través del aire” “Los olores están hechos de pequeñas partículas indivisibles (que son átomos)”.
	Complementariedad entre variables. (Principio de Incertidumbre)	C2	* Posición. * Velocidad.	“Si podemos calcular su velocidad, calcular su lugar (donde se encuentra) sería difícil o casi imposible”.
				“El espacio que ocupan los electrones al girar alrededor del núcleo”
	Las ondas mecánicas se desplazan a través del aire. (Naturaleza Ondulatoria)	C3	* Sonido. * Ondas. * Medio elástico. * Aire. * Vibración.	“El sonido son ondas que vibran a través de un medio elástico”. “Las ondas viajan a través del aire”.
	Cuando se asignan operadores a la ecuación de onda, proporciona información sobre el comportamiento del electrón (Función de Onda y probabilidad electrónica)	C4	* Electrón. * Átomo. * Posición. * Probabilidad.	“Sería posible asignar números ya que podríamos saber a cuanto se encuentra del núcleo”. “Su posición no sería exacta, sabríamos que está allí pero no en qué lugar específico”.
Los fotones se comportan como onda y como partícula (Dualidad Onda - Partícula)	C5	* Rayo de luz. * Solido, macizo, sin espacios. * Ondas luminosas. * Aire.	“Mi mano frente al rayo genera un obstáculo para el rayo”. “La mano es solida, maciza, sin espacios”.	

			“Mediante ondas luminosas que viajan mediante el aire”.
Representación del átomo	C6	<ul style="list-style-type: none"> * Núcleo. * Protones. * Neutrón. * Electrones. * Quarks. * Carga. 	<p>“Electrones se encuentran girando alrededor del núcleo; carga negativa”.</p> <p>“Protones se encuentran adentro del núcleo, carga positiva”.</p> <p>“Neutrón se encuentra en el núcleo; carga neutra”.</p> <p>“Los quarks se encuentran dentro del núcleo”.</p>

Matriz de los invariantes operatorios del cuestionario inicial para E4

CASO	CATEGORIA	CODIGO	CONCEPTOS EN ACCION	TEOREMAS EN ACCION.
E4	Sustancias constituidas por partículas (átomos y / o moléculas). (Naturaleza Corpuscular)	C1	* Sustancias fuertes. * Esencias. * Reacciones.	“Los olores son sustancias fuertes o esencias que originan en el olfato diferentes reacciones ya sean de gusto o desagrado”.
	Complementariedad entre variables. (Principio de Incertidumbre)	C2	* Electrones. * Giran. * Posición. * Átomo. .	“Exactamente es imposible pues los electrones, estos giran rápidamente”. “Su posición varia ya que se encuentran en distintos lugares del átomo”.
			* Orbital atómico. * Rodea. * Girar. * Átomo.	“Orbital atómico debe ser entonces, lo que rodea al átomo y gira en torno a este”
	Las ondas mecánicas se desplazan a través del aire. (Naturaleza Ondulatoria)	C3	* Sonido. * Ondas fuertes. * Desplazan. * Fuerzas.	“El sonido serian ondas fuertes que se desplazan hacia la escucha (el oído)”.
	Cuando se asignan operadores a la ecuación de onda, proporciona información sobre el comportamiento del electrón (Función de Onda y probabilidad electrónica)	C4	* Aproximar (probabilidad) * Electrones. * Posición.	“Si sería posible describirlo pero no precisamente ni exactamente, pero si aproximadamente”. “Digo que no exactamente porque son miles de millones de electrones como dar una posición especifica”.
	Los fotones se comportan como onda y como partícula (Dualidad Onda - Partícula)	C5	* Rayo de luz. * Intensidad. * Luminosidad. * Reflejo.	“Un rayo de luz a la mano es gracias a la intensidad y luminosidad, es entonces un reflejo que se observa en la mano”.
Representación del átomo	C6	* Átomo. * Núcleo.	“Considera un núcleo constituido por	

			<ul style="list-style-type: none"> * Protones. * Neutrones. * Electrones. 	<p>protones”.</p> <p>“Los electrones y los neutrones están pos fuera del núcleo en orbitas separadas”.</p> <p>“Todo esto constituye un átomo”.</p>
--	--	--	--	--

Matriz de los invariantes operatorios del cuestionario inicial para E5

CASO	CATEGORIA	CODIGO	CONCEPTOS EN ACCION	TEOREMAS EN ACCION.
E5	Sustancias constituidas por partículas (átomos y / o moléculas). (Naturaleza Corpuscular)	C1	<ul style="list-style-type: none"> * Dispersos en el aire. * Esencias. * Pigmentos naturales. * Aromas. 	<p>“Los olores están dispersos en el aire”.</p> <p>“Los olores están formados por esencias y pigmentos naturales; extraídos de alimentos, flores, frutas y aromas”.</p>
	Complementariedad entre variables. (Principio de Incertidumbre)	C2	<ul style="list-style-type: none"> * Posición. * Probabilidad. * Velocidad. * Electrones. * Orbitas. * Configuración electrónica. 	“Si es probable encontrar su posición y velocidad, ya que los electrones poseen diferentes posiciones en las orbitas, cumpliendo la función de la configuración electrónica”.
			<ul style="list-style-type: none"> * Orbital atómico. * Espacio. * Electrones. * Ubicación. 	“Orbital atómico: espacio donde se ubican los electrones”.
	Las ondas mecánicas se desplazan a través del aire. (Naturaleza Ondulatoria)	C3	<ul style="list-style-type: none"> * Sonidos. * Ondas sonoras. * Desplazan en el aire. 	“Estos sonidos cotidianos llegan a nuestros oídos por medio de las ondas sonoras, que se desplazan en el aire”.
	Cuando se asignan operadores a la ecuación de onda, proporciona información sobre el comportamiento del electrón (Función de Onda y probabilidad electrónica)	C4	<ul style="list-style-type: none"> * Posición. * Posible (probabilidad). * Numero. * Cantidad de electrones. * Orbita. 	<p>“Si es posible describir la posición, porque el numero nos a conocer la cantidad de electrones que posee”.</p> <p>“Si, porque cada numero de electrones se ubicarían en un lugar correspondiente de la órbita”.</p>
Los fotones se comportan como onda y como partícula (Dualidad Onda - Partícula)	C5	<ul style="list-style-type: none"> * Rayo de luz. * Fuente luminosa. * Producción. * Obstáculo. * Choque. * Interferencia. 	“Porque el rayo de luz, no es una fuente luminosa sino una producción de esta, obstaculizada por la mano”.	

			“El rayo de luz choca con la mano produciendo cierta interferencia mediante el objeto”.
Representación del átomo	C6	<ul style="list-style-type: none"> * Núcleo. * Protones. * Neutrón. * Electrones. * Orbitas. 	<p>“Núcleo formado por protones + neutrones”.</p> <p>“Orbitas circulares en las cuales se encuentran los electrones”.</p>

Matriz de los invariantes operatorios del cuestionario inicial para E6

CASO	CATEGORIA	CODIGO	CONCEPTOS EN ACCION	TEOREMAS EN ACCION.
E6	Sustancias constituidas por partículas (átomos y / o moléculas). (Naturaleza Corpuscular)	C1	* Sustancias. * Líquidos. * Moléculas. * Olor.	“Están hechos de sustancias o líquidos”. “Cuando en las moléculas de estos se juntan crean sustancias que juntas forman un olor característico”.
	Complementariedad entre variables. (Principio de Incertidumbre)	C2	* Electrones. * Constante movimiento.	“Creo que no porque los electrones están en constante movimiento”.
			* Átomo. * Orbita.	“Que el átomo está situado en una órbita que no permite que se “salga” por así decirlo”.
	Las ondas mecánicas se desplazan a través del aire. (Naturaleza Ondulatoria)	C3	* Sonido. * Ondas. * Aire. * Todas las direcciones.	“El sonido llega a través de ondas que van hasta todas las direcciones”. “Las ondas claro ayudadas por el aire”.
	Cuando se asignan operadores a la ecuación de onda, proporciona información sobre el comportamiento del electrón (Función de Onda y probabilidad electrónica)	C4	* Electrón. * Posición específica.	“Un electrón no se le puede encontrar una posición específica”. “Si el cálculo con los números “podiera” encontrar la posición “exacta” del electrón no lo creería”.
Los fotones se comportan como onda y como partícula (Dualidad Onda - Partícula)	C5	* Luz. * Átomos o moléculas. * Potentes (Fuerza). * Proyectar. * Sombra	“La luz a los átomos o moléculas que posee la luz no son tan potentes como para atravesar nuestra mano”.	

		* Reflejo. .	“Proyecta la sombra porque es el reflejo de la mano”. “Luz + reflejo = sombra”.
Representación del átomo	C6	* Núcleo. * Protones. * Neutrón. * Electrones. * Orbitas.	“Núcleo formado por protones y electrones”. “Orbitas elípticas donde están ubicados los neutrones”.

Matriz de invariantes operatorios evidenciados durante el desarrollo de la propuesta de intervención

CASO	CATEGORIA	CODIGO	CONCEPTOS EN ACCION	TEOREMAS EN ACCION
E1	Naturaleza dual de la materia explicada a través del efecto fotoeléctrico. Situaciones: S1, S2, S3, S4	C1	<ul style="list-style-type: none"> • Fotones. • Metal. • Electrón. • Desprendimiento de electrones. • Choques. • Flujo de fotones. • Corriente. • Luz o calor. • Intensidad, • Energía. • Repulsión. • Efecto fotoeléctrico. • Emisión. 	<p>“Nuestra voz son los fotones que viajan contra un metal que es el micrófono y al chocar con él, se amplifican o en el caso del efecto fotoeléctrico desprende electrones”.</p> <p>“La lluvia son los fotones y la calle es un tipo de metal y el polvo son los electrones que desprende cuando la lluvia choca con la calle”.</p> <p>“Entre mayor numero de fotones choque contra un metal, mayor electrones se desprenderán de él”.</p> <p>“La corriente al emitir cualquier cantidad flujo de fotones choca con la pantalla haciendo que los electrones produzcan cierta luz o calor según su intensidad”.</p> <p>“Efecto fotoeléctrico que los fotones van chocan y desprenden electrones”.</p> <p>“El horno microondas emite fotones pero al encontrarse con un recipiente metálico hace que repela electrones contra el haciéndolo dañar”.</p> <p>“El vaso se calienta ya que el fotón al chocar con el vaso emite cierta energía para poder desprender el electrón”.</p>
	La radiación absorbida por un cuerpo negro es igual	C2	<ul style="list-style-type: none"> • Cuerpo negro. • Absorción. • Radiación. • Repeler (Repulsión). 	<p>“Ropa negra es el “cuerpo negro”, el cuerpo negro absorbe la radiación haciendo que</p>

	a la radiación emitida. Situaciones: S5, S6		<ul style="list-style-type: none"> • Luz. • Emisión. 	<p>nos calentemos y repele igual radiación que absorbida”.</p> <p>“Al entrar la luz que es la radiación por el orificio del cuerpo negro é ésta se va absorbiendo al rebotar pero puede salir ya que el cuerpo negro emite lo mismo que absorbe”.</p>
	Complementariedad entre variables de (Principio de incertidumbre). Situaciones: S7, S8	C3	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad. • Posición. • Región. • Valores numéricos. • Probabilidad. • Electrón. 	<p>“Si conocemos su velocidad no podemos conocer su posición y si conocemos su posición no podemos conocer su velocidad”.</p> <p>“Asignar valores numéricos pero eso solo nos determina la región en que está, no la posición exacta”.</p> <p>“Podemos saber en qué región está el electrón pero no su posición exacta”.</p>
E2	Naturaleza dual de la materia explicada a través del efecto fotoeléctrico. Situaciones: S1, S2, S3, S4	C1	<ul style="list-style-type: none"> • Ondas. • Electrón. • Fotones. • Superficie metálica. • Energía del fotón. • Partículas. 	<p>“La voz se convierte en electrones y allí se escucha la voz en el altavoz que llegan hasta nosotros a través de las ondas”.</p> <p>“Los fotones al chocar la superficie metálica desprenden electrones”.</p> <p>“El desprendimiento de electrones aumenta depende de la intensidad en que choca el fotón”.</p> <p>“Al conectar el tv se genera energía que genera los electrones y de los electrones se generan los fotones que son los que nos dan la imagen”.</p> <p>“Este electrodoméstico genera una cantidad de energía (microondas)</p>

				que al tener contacto con el aluminio genera electrones”.
La radiación absorbida por un cuerpo negro es igual a la radiación emitida. Situaciones: S5, S6	C2		<ul style="list-style-type: none"> • Absorción. • Radiación. • Energía solar. • Fotones. • Luz. • Emisión. • Energía. 	<p>“El cuerpo negro absorbe radiación y emite la misma cantidad”.</p> <p>“Los fotones por los que la luz está compuesta, ésta al entrar en la cavidad oscura absorbe los fotones haciendo que se emite la misma “cantidad” de luz que ya había entrado”.</p>
Complementariedad entre variables (Principio de incertidumbre). Situaciones: S7, S8	C3 C3.1.		<ul style="list-style-type: none"> • Posición. • Velocidad. • Valor numérico. • Electrones. • Orbitales. • Alrededor. • Girar. • Núcleo. • Improbable. • Movimiento. 	<p>“Si se tiene la posición pero no la velocidad no se le puede asignar un valor numérico”.</p> <p>“El electrón siempre está en movimiento, es muy improbable saber donde esta”.</p>
Naturaleza dual de la materia explicada a través del efecto fotoeléctrico. Situaciones: S1, S2, S3, S4	C1		<ul style="list-style-type: none"> • Efecto fotoeléctrico. • Ondas. • Choca (Choque). • Partículas cargadas electricamente. • Naturaleza dual. • Partículas. • Metal. • Fotones. • Desprendimiento de electrons. • Chorros de Luz. • Electrón. • Absorción. • Corriente eléctrica. • Intercambio de Energía. • Calor. • Energía. • Átomos. • Excitación. 	<p>“Se relaciona con el efecto fotoeléctrico ya que la voz sale como Ondas choca con el micrófono y se convierte en partículas cargadas eléctricamente”</p> <p>“Naturaleza dual ya que dice que las ondas se comportan como partículas y las ondas como partículas”.</p> <p>“Cuando la lluvia cae sobre la calle produce un desprendimiento de partículas, lo mismo que ocurre cuando un fotón choca con determinado metal y produce un desprendimiento de electrones”.</p> <p>“Los electrones provenientes de la corriente eléctrica chocan contra la célula</p>

E3				<p>fotoeléctrica y según la intensidad de los electrones se proyecta la imagen”.</p> <p>“Los electrones al chocar con la célula fotoeléctrica generan los colores que vemos o mejor la imagen”.</p> <p>“Lo que pasa cuando los fotones chocan contra el metal es que se produce un desprendimiento de electrones (partículas), lo que vemos como “los chispazos”.”.</p> <p>“El fenómeno se puede explicar, los fotones viajan como ondas hacia el metal, cuando hacen contacto con el desprenden electrones q se ven como partículas (chispazos).”.</p>
	<p>La radiación absorbida por un cuerpo negro es igual a la radiación emitida.</p> <p>Situaciones: S5, S6</p>	C2	<ul style="list-style-type: none"> • Cuerpo negro. • Absorción. • Radiación electromagnética. • Temperatura. • Rayo de luz. • Emisión. 	<p>“La camisa se comportaría como un cuerpo negro que absorbe toda la radiación electromagnética generando mucha temperatura en mi cuerpo y en la camisa”.</p> <p>“El rayo de luz entra y el cuerpo negro absorbe toda la luz”.</p> <p>“El rayo de luz es absorbido por el cuerpo, pero también se emite, el rayo de luz si saldría pero no lo percibimos”.</p>
	<p>Complementariedad entre variables de (Principio de incertidumbre).</p> <p>Situaciones: S7, S8</p>	C3	<ul style="list-style-type: none"> • Posición. • Velocidad. • Valores numéricos. • Orbital. • Probabilidad. • Región. • Lugar. • Tiempo. 	<p>“Si sabemos su posición no podemos saber su velocidad”.</p> <p>“Se podrían asignar valores numéricos para posición y velocidad”.</p> <p>“Podemos saber en qué región está pero no su lugar y tiempo exacto”.</p>

E4	Naturaleza dual de la materia explicada a través del efecto fotoeléctrico. Situaciones: S1, S2, S3, S4	C1	<ul style="list-style-type: none"> • Fotones. • Electrones. • Intensidad. • Efecto fotoeléctrico. • Energía. • Emitir (emisión). • Radiación electromagnética. • Temperatura. • Metálico. • Conductor de energía. • Reacción. • Impacto. • Angulo. 	<p>Me falta S1.</p> <p>“Las gotas de lluvia pueden ser reemplazadas con los fotones y la calle y polvo con los electrones al aumentar o cuando sea más intensa la lluvia se va a esparcir el polvo o los electrones”.</p> <p>“El efecto fotoeléctrico se basa en la producción de energía, y este televisor produce y necesita electrones de gran intensidad para ser proyectados al pasar por una placa dependerá de esta emitir o no electrones”.</p> <p>“El microondas es un aparato que emite una radiación electromagnética, al introducir un vaso en este aparato, este tiende a aumentar su temperatura pues el vaso metálico es un conductor de energía”.</p>
	La radiación absorbida por un cuerpo negro es igual a la radiación emitida. Situaciones: S5, S6	C2	<ul style="list-style-type: none"> • Atraen (atracción). • Calor. • Metálica. • Luminosidad. • Expande. • Rayo de luz. 	<p>“Las prendas oscuras (negras) atraen o dan a la persona más calor”.</p> <p>“Desaparece el rayo de luz por dentro de la esfera”.</p>
	Complementariedad entre variables (Principio de incertidumbre). Situaciones: S7, S8	C3	<ul style="list-style-type: none"> • Movimiento. • Electrón. • Emite (emisión). • Energía. • Ubicación exacta. • Probabilidad. • Velocidad. • Exactitud. • Tiempo. • Ubicación. 	<p>“No se podrá saber la ubicación exacta del electrón como de la polilla, pero si se podrá tener una idea y probabilidad de donde esta se podría encontrar”.</p> <p>Me falta S8.</p>
	Naturaleza dual de la materia explicada a través del efecto fotoeléctrico.	C1	<ul style="list-style-type: none"> • Ondas de Radiación. • Electrónicos. • Ondas de radio. 	<p>“Se da mediante las ondas de radiación, contenidos en los elementos electrónicos”.</p>

	<p>Situaciones: S1, S2, S3, S4</p>			Faltan S2, S3, S4.
E5	<p>La radiación absorbida por un cuerpo negro es igual a la radiación emitida.</p> <p>Situaciones: S5, S6</p>	C2	<ul style="list-style-type: none"> • Absorbe (absorción). • Rayos solares. • Libera. • Temperatura. • Calor. • Energía. • Electrolitos. • Metálico. • Haz de Luz. • Reflejos. • Luminosidad. 	<p>“Es un color que absorbe los rayos solares y no los libera”.</p> <p>“Al entrar el haz de luz y rebotar genera reflejos en aquellas paredes o al interior de esta, aumentando la luminosidad del elemento”.</p>
	<p>Complementariedad entre variables (Principio de incertidumbre).</p> <p>Situaciones: S7, S8</p>	C3	<ul style="list-style-type: none"> • Núcleo. • Velocidad. • Trayectoria. • Posición. • Nivel. • Subnivel. • Exacto (exactitud). • Probabilidad. 	<p>“Habitación – átomo”</p> <p>“Bombilla – núcleo”</p> <p>“Polilla – electrón”</p> <p>“No es posible determinar su posición y su velocidad”</p> <p>“Se puede asignar su posición por medio de un nivel y subnivel pero su resultado no es exacto y la velocidad no se podría asignar en un tiempo determinado”</p> <p>“la posición de la polilla se puede descifrar por medio de fotografías pero sin ser exacto”</p> <p>“Si se puede encontrar el electrón en un tiempo determinado pero su resultado no será exacto”</p>
E6	<p>Naturaleza dual de la materia explicada a través del efecto fotoeléctrico.</p> <p>Situaciones: S1, S2, S3, S4</p>	C1	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente eléctrica. • Propaga (Propagación). • Ondas de radio. • Fotones. • Energía umbral. • Electrones. • Velocidad. • Metales. • Efecto fotoeléctrico. • Choque. • Rayos de Luz. 	<p>“Cuando la corriente eléctrica es el medio por el cual se habla, se propaga la voz, por las ondas de radio con el micrófono aumenta el volumen”.</p> <p>“La lluvia son los fotones y los electrones el polvo que se soltaba”.</p> <p>“El efecto fotoeléctrico vendría a actuar que los electrones y el choque de estos formaran la imagen que se muestra, siendo que los electrones la</p>

				<p>transmisión de la imagen y las células fotoeléctricas los fotones”.</p> <p>“Porque los microondas actúan como espejos, cuando un rayo de luz golpea contra un objeto de metal rebota”.</p> <p>“y se calentó mucho porque toda esa energía la recibió el vaso”.</p>
	<p>La radiación absorbida por un cuerpo negro es igual a la radiación emitida.</p> <p>Situaciones: S5, S6</p>	C2	<ul style="list-style-type: none"> • Atrae. • Rayos del sol. • Temperatura. 	<p>“Porque el color negro es un color oscuro que atrae con más fuerza los rayos del sol y no los devuelve ni rebotan en uno si no que se adhieren a ella”</p> <p>“Se perdió porque los metales la mayoría de ellos brillan y la luz que entro por el orificio se confunde a se junta con ellos”.</p>
	<p>Complementariedad entre variables (Principio de incertidumbre).</p> <p>Situaciones: S7, S8</p>	C3	<ul style="list-style-type: none"> • Orbitas. • Átomo. • Electrones. • Exacto (exactitud). • Probabilidad. 	<p>“La polilla siempre se encontraba alrededor de la lámpara dando vueltas y vueltas alrededor de ella, así mismo son las orbitas del átomo dejan que los electrones giren y giren alrededor de él”.</p> <p>“No porque el electrón se mantiene en constante movimiento, no hay tiempo exacto para definir en donde está y en qué tiempo esta exactamente”.</p>

Matriz de los invariantes operatorios en la etapa final de la propuesta de intervención para el caso E1

CASO	CATEGORIA	CÓDIGO	CONCEPTOS EN ACCIÓN	TEOREMAS EN ACCIÓN
E1	Sustancias constituidas por partículas (átomos y / o moléculas). (Naturaleza Corpuscular) SITUACIÓN S2	C1	<ul style="list-style-type: none"> • Olores • Partículas • Onda • Átomos 	<p>“Los olores pueden llegar ya que viajan como partículas en forma de onda”</p> <p>“Los olores están hechos de átomos”</p>
	Complementariedad entre variables. (Principio de Incertidumbre) SITUACIÓN S3	C2	<ul style="list-style-type: none"> • Principio de Incertidumbre • Posición • Velocidad • Variable 	<p>“Ese es el principio de Incertidumbre que nos dice que si conocemos su posición no podemos saber a qué velocidad va, y si sabemos su velocidad no conocemos su posición, si conocemos una variable no podemos conocer la otra”.</p>
			<ul style="list-style-type: none"> • Orbital atómico • Espacio o región • Electrón • Girando alrededor • Núcleo 	<p>“Un orbital atómico es el espacio o región donde se encuentra el electrón girando alrededor del núcleo”.</p>
	Las ondas mecánicas se desplazan a través del aire. (Naturaleza Ondulatoria) SITUACIÓN S4	C3	<ul style="list-style-type: none"> • Voz • Ondas sonoras • Viajan en el aire 	<p>“La voz puede llegar al oído de mi amigo ya que podemos transmitir ondas sonoras que viajan en el aire”.</p>
	Cuando se asignan operadores a la ecuación de onda, proporciona información sobre el comportamiento del electrón (Función de Onda y probabilidad)	C4	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración electrónica • Niveles de energía • Electrón • Región 	<p>”Si se pueden asignar números y lo podemos constatar con la configuración electrónica y Bohr fue el que empezó con los niveles de energía”</p>

	<p>electrónica)</p> <p>SITUACIÓN S5</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Posición exacta 	<p>“Sabemos que el electrón está en esa región no su posición exacta”.</p>
	<p>Los fotones se comportan como onda y como partícula (Dualidad Onda - Partícula)</p> <p>SITUACIÓN S6</p>	C5	<ul style="list-style-type: none"> • Rayo de luz • Fotones • Partículas • Ondas • Chocar • Materializan • Rebotar • Sombra • Efecto fotoeléctrico 	<p>“El rayo de luz llega a la mano gracias a que los fotones son partículas que viajan como ondas”.</p> <p>“Al chocar con la mano los fotones se materializan y rebotan hacia otra parte por eso vemos la sombra y eso es el efecto fotoeléctrico”</p>
	<p>Representación del átomo</p> <p>SITUACIONES S7 Y S1</p>	C6	<ul style="list-style-type: none"> • Niveles de energía • Electrón • Orbital atómico • Núcleo • Protones • Neutrones • Quarks 	<p>“El núcleo atómico está constituido por protones y neutrones, los cuales están formados por Quarks”</p> <p>“Los niveles de energía aumentan a medida que nos alejamos del núcleo. La energía en el átomo esta cuantizada con valores numéricos enteros”</p> <p>“El orbital atómico es representado como una nube electrónica</p> <p>“Los protones son positivos y los neutrones negativos”.</p>

Matriz de los invariantes operatorios en la etapa final de la propuesta de intervención para el caso E2

CASO	CATEGORIA	CODIGO	CONCEPTOS EN ACCIÓN	TEOREMAS EN ACCIÓN
E2	Sustancias constituidas por partículas (átomos y / o moléculas). (Naturaleza Corpuscular) SITUACIÓN S2	C1	<ul style="list-style-type: none"> • Olores • Aire • Transportar • Átomos 	<p>“Estos olores llegan por el aire, el aire se encarga de transportarlos por varios lugares”</p> <p>“Estos olores están hechos de átomos”</p>
	Complementariedad entre variables. (Principio de Incertidumbre) SITUACIÓN S3	C2	<ul style="list-style-type: none"> • Electrones • Constante movimiento • Velocidad • Posición exacta • 	<p>“No se pueden asignar valores numéricos ya que el electrón se encuentra en constante movimiento”</p> <p>“Podría (aunque es muy difícil) determinar la velocidad pero no la posición exacta”</p>
			<ul style="list-style-type: none"> • Orbital atómico • Constante movimiento • Electrones 	“Un orbital atómico es donde los electrones se encuentran en constante movimiento”
	Las ondas mecánicas se desplazan a través del aire. (Naturaleza Ondulatoria) SITUACIÓN S4	C3	<ul style="list-style-type: none"> • Ondas • Viajan • Aire 	“En forma de ondas que viajan a través del aire”.
	Cuando se asignan operadores a la ecuación de onda, proporciona información sobre el comportamiento del electrón (Función de Onda y probabilidad electrónica) SITUACIÓN S5	C4	<ul style="list-style-type: none"> • No es exacto • Electrones • Constante movimiento • Imposible 	”Es posible y no es exacto ya que los electrones se encuentran en constante movimiento, así que sería imposible”
Los fotones se comportan como onda y como partícula		C5	<ul style="list-style-type: none"> • Fotones • Chocan 	“No la puede atravesar porque al poner la mano

<p>(Dualidad Onda - Partícula)</p> <p>SITUACIÓN S6</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Atravesar 	<p>chocan los fotones y no pueden seguir su camino”</p>
<p>Representación del átomo</p> <p>SITUACIONES S7 Y S1</p>	<p>C6</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Neutrones • Electrones • Protones • Quarks • Átomo 	<p>“El átomo presenta una parte central donde se encuentran los protones y los neutrones, al igual que los quarks”</p> <p>“Alrededor de la zona central del átomo se encuentran los electrones”</p>

Matriz de los invariantes operatorios en la etapa final de la propuesta de intervención para el caso E3

CASO	CATEGORIA	CODIGO	CONCEPTOS EN ACCIÓN	TEOREMAS EN ACCIÓN
E3	Sustancias constituidas por partículas (átomos y / o moléculas). (Naturaleza Corpuscular) SITUACIÓN S2	C1	<ul style="list-style-type: none"> • Cuerpos u objetos. • Olores. • Desplazar. • Ondas. • Partículas. 	<p>“Los cuerpos u objetos desprenden los olores, estos se desplazan como ondas hasta nuestra nariz donde los receptores los atrapan”.</p> <p>“Los olores están compuestos por partículas”.</p>
	Complementariedad entre variables. (Principio de Incertidumbre) SITUACIÓN S3	C2	<ul style="list-style-type: none"> • Posición. • Velocidad. • Variables. 	<p>“Si sabemos la posición no sabemos la velocidad, o si sabemos la velocidad no sabemos la posición, solo podemos saber una de las variables”.</p>
			<ul style="list-style-type: none"> • Espacio. • Electrón. • Átomo. • Exactitud. 	<p>“Es el espacio donde podemos encontrar al electrón en determinado átomo”.</p> <p>“Es un espacio donde está el electrón, no sabemos dónde exactamente pero ahí está”</p>
	Las ondas mecánicas se desplazan a través del aire. (Naturaleza Ondulatoria) SITUACIÓN S4	C3	<ul style="list-style-type: none"> • Vibraciones. • Desplazar. • Ondas. • Oído. 	<p>“Al hablar nuestro cuerpo produce vibraciones que se desplazan en forma de ondas hasta llegar al receptor”.</p>
	Cuando se asignan operadores a la ecuación de onda, proporciona información sobre el comportamiento del electrón (Función de Onda y	C4	<ul style="list-style-type: none"> • Numero. • Orbital atómico. • Electrón. • Certeza. 	<p>“Si es posible, el número representa un orbital atómico donde podemos estar seguros que el electrón está ahí”.</p> <p>“El numero representa un orbital atómico, donde</p>

	probabilidad electrónica) SITUACIÓN S5			con certeza podemos decir que ahí está el electrón, mas no sabemos exactamente en qué lugar del orbital atómico esta".
	Los fotones se comportan como onda y como partícula (Dualidad Onda - Partícula) SITUACIÓN S6	C5	<ul style="list-style-type: none"> • Rayo de luz. • Atravesar. • Fotones (partículas que componen la luz). • Emisión. • Fuente luminosa. • Onda. • Chocar. • Materializar. • Partícula. • Rebota. • Desplazar. 	"El rayo de luz no puede atravesar la mano ya que los fotones (partículas que componen la luz) son emitidos por la fuente luminosa, viajan como onda, pero al "chocar" con la mano se materializan, volviéndose una partícula la cual "rebota" en la mano y se dirige a otra lugar". "El rayo de luz llega desplazándose como una onda".
	Representación del átomo SITUACIONES S7 Y S1	C6	<ul style="list-style-type: none"> • Electrón • Orbital atómico • Núcleo • Protones • Neutrones • Quarks 	"El núcleo atómico está constituido por protones y neutrones, los cuales están formados por Quarks" Plantea unas regiones o espacios extra nucleares a los cuales llama "orbitales atómicos" dentro de los cuales ubica al electrón.

Matriz de los invariantes operatorios en la etapa final de la propuesta de intervención para el caso E4

CASO	CATEGORIA	CODIGO	CONCEPTOS EN ACCION	TEOREMAS EN ACCION.
E4	Sustancias constituidas por partículas (átomos y / o moléculas). (Naturaleza Corpuscular) SITUACIÓN S2	C1	* Sustancias. * Producto de cambios	“Se daría por las sustancias son percibidas por el sensible sentido del olfato”
	Complementariedad entre variables. (Principio de Incertidumbre) SITUACIÓN S3	C2	* Posición. * Velocidad. * Ubicación. * Exactitud.	“Es imposible hallar la posición y la velocidad, se podría conocer una ubicación posible o un lugar no determinado exactamente, la velocidad es también aproximada”
			* Orbital atómico. * Rodea. * Girar. * Átomo. * Espacio. * Electrón.	“El espacio o lugar en que se encuentra el electrón”
	Las ondas mecánicas se desplazan a través del aire. (Naturaleza Ondulatoria) SITUACIÓN S4	C3	* Ondas. * Fuerza.	“La llegada del sonido a mis oídos se explicaría por las ondas”
	Cuando se asignan operadores a la ecuación de onda, proporciona información sobre el comportamiento del electrón (Función de Onda y probabilidad electrónica) SITUACIÓN S5	C4	* Electrón. * Exactitud. * Posición. * Átomo.	“Si creo que sería posible aunque esta posición no sería exacta, solo se sabría un lugar posible o la posible zona”
Los fotones se comportan como onda y como partícula (Dualidad Onda -	C5	* Rayo de luz. * Obstáculo. * Iluminación.	“El rayo de luz solo es factor de luminosidad, y el cuerpo ejerce como un obstáculo”	

Partícula)			
SITUACIÓN S6			
Representación del átomo	C6	<ul style="list-style-type: none"> * Electrones. * Protones. * Núcleo. 	<p>“Considera un modelo atómico muy similar al modelo comercial del átomo donde se muestran las orbitas, sin decirlo en la representación, los electrones ubicados en ellas y un núcleo con unas subpartículas que no dijo que eran (parecen los neutrones). También considera que los protones se encuentran en las orbitas”</p>
SITUACIONES S7 Y S1			

Matriz de los invariantes operatorios en la etapa final de la propuesta de intervención para el caso E5

CASO	CATEGORIA	CODIGO	CONCEPTOS EN ACCION	TEOREMAS EN ACCION.
E5	Sustancias constituidas por partículas (átomos y / o moléculas). (Naturaleza Corpuscular) SITUACIÓN S2	C1	* Aire (como medio). * Partículas. * Pigmentos.	“En el aire se encuentran gran cantidad de partículas las cuales son absorbidas al respirar” “Estos olores están hechos de pigmentos y partículas fáciles de captar en el medio ambiente”
	Complementariedad entre variables. (Principio de Incertidumbre) SITUACIÓN S3	C2	* Posición. * Velocidad. * Exactitud.	“No es posible, pues la posición y la velocidad no se pueden encontrar al mismo tiempo, la posición además no es exacta.”
			* Energía. * Electrones. * Girando (Giro)	“Esferas cargadas de energía donde se encuentran girando los electrones”
	Las ondas mecánicas se desplazan a través del aire. (Naturaleza Ondulatoria) SITUACIÓN S4	C3	* Sonidos. * Ondas sonoras. * Partículas del aire.	“Al percibir un sonido captamos unas ondas sonoras que interactúan con las partículas del aire logrando desplazarse al oído”
	Cuando se asignan operadores a la ecuación de onda, proporciona información sobre el comportamiento del electrón (Función de Onda y probabilidad electrónica) SITUACIÓN S5	C4	* Exactitud. * Posible (probabilidad). * Nivel. * Subnivel. * Ubicación.	“Sería posible calcularlos con números pero teniendo en cuenta que el resultado no es exacto, se calcula mediante el nivel y el subnivel”

<p>Los fotones se comportan como onda y como partícula (Dualidad Onda - Partícula)</p> <p>SITUACIÓN S6</p>	<p>C5</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Energía. * Onda – partícula (comportamiento dual). * Reflejar. * Potencia. * Partículas. * Onda. * Transmisión. * Sombra. 	<p>“El rayo de luz se comporta como partícula logrando así reflejar un solo lado de la mano”</p>
<p>Representación del átomo</p> <p>SITUACIONES S7 Y S1</p>	<p>C6</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Núcleo. * Protones. * Neutrón. * Electrones. * Orbitas. 	<p>“Considera un átomo con un núcleo bien conformado con sus respectivas subpartículas (neutrones y protones), También considera unas orbitas ovoides en las cuales giran los electrones alrededor del núcleo”</p>

Matriz de los invariantes operatorios en la etapa final de la propuesta de intervención para el caso E6

CASO	CATEGORIA	CODIGO	CONCEPTOS EN ACCION	TEOREMAS EN ACCION.
E6	Sustancias constituidas por partículas (átomos y / o moléculas). (Naturaleza Corpuscular) SITUACIÓN S2	C1	* Moléculas. * Partículas.	“Los olores que emanan los objetos están compuestos por moléculas o partículas”
	Complementariedad entre variables. (Principio de Incertidumbre) SITUACIÓN S3	C2	* Continuo movimiento. * Exactitud. * Ubicación. * Electrón. * Probabilidad.	“No, porque está en continuo movimiento, es imposible determinar exactamente la ubicación de este”
			* Electrón. * Desplazar. * Mover.	“Son las “vías” por las que el electrón se puede mover o desplazar”
	Las ondas mecánicas se desplazan a través del aire. (Naturaleza Ondulatoria) SITUACIÓN S4	C3	* Sonido. * Ondas sonoras. * Conducidas. * Aire. * Transmisión.	“El sonido se transmite por las ondas sonoras... son conducidas gracias al aire ya que este transmite el sonido”
	Cuando se asignan operadores a la ecuación de onda, proporciona información sobre el comportamiento del electrón (Función de Onda y probabilidad electrónica) SITUACIÓN S5	C4	* Electrón. * Posición. * Probabilidad. * Exactitud. * Números.	“La ubicación y la posición exacta de un electrón es muy poco probable de encontrarla”
Los fotones se comportan como onda y como partícula (Dualidad Onda - Partícula) SITUACIÓN S6	C5	* Ondas. * Electrón. * Luz. * Energía. * Átomos.	“La luz solo ilumina, no rompe y esta llega a la mano por medio de la energía, y los electrones que la conforman actúan como partículas ya que están dentro de	

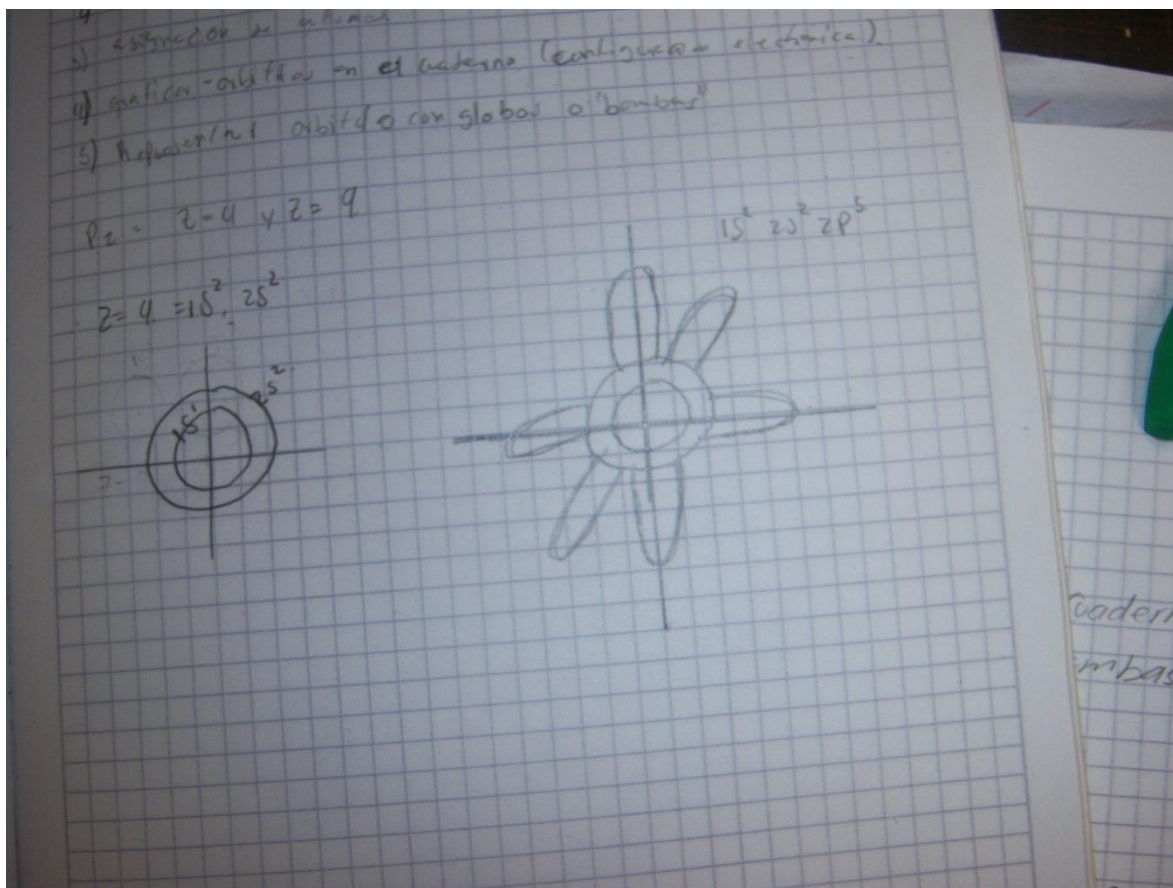
			un átomo”
Representación del átomo SITUACIONES S7 Y S1	C6	<ul style="list-style-type: none"> * Orbitales. * Electrones. * Neutrones. * Protones. * Quarks. * Núcleo. 	Presenta un núcleo con protones y neutrones en su interior, además a las estructuras ovoides las denomina orbitales y dentro de ellos ubica a los electrones, ubica además los Quarks dentro del núcleo y la varilla de hierro de forma incorrecta.

Anexo B. Evidencias fotográficas

Estudiantes del grado décimo de Educación Media pertenecientes al Colegio Campestre El Remanso contestando el cuestionario inicial para la indagación de los invariantes operatorios iniciales



Representación construida por los estudiantes del grado décimo de Educación Media sobre las posibles formas de los átomos $Z = 4$ y $Z = 9$, atendiendo a las posibles formas de los orbitales atómicos o nubes electrónicas



Anexo C. Lectura: La Teoría atómica y la estructura de la materia: Evolución de los modelos atómicos

El hombre, siempre se ha cuestionado sobre el mundo que lo rodea, ha diseñado, enunciado y reevaluado teorías y modelos explicativos que pretenden representar de una manera coherente y lógica los diversos fenómenos naturales con los cuales convive a diario. Una de las preguntas más importantes que se ha planteado el conocimiento científico a través de la historia ha sido ¿Cómo está constituida la materia internamente? ¿De qué está hecho todo lo que nos rodea?

Aproximadamente cinco siglos antes de Cristo (siglo V a de C) los filósofos griegos ya se habían formulado estas preguntas y habían propuesto una respuesta. Demócrito de Abdera y Leucipo de Mileto, sostuvieron que *“todo lo que existe está compuesto por átomos, minúsculas partículas indivisibles”*. Cada sustancia no es más que un conjunto de átomos, pequeñas partículas macizas, indivisibles y específicas de esa sustancia. Los atomistas (corriente filosófica que apoyaba estas ideas) (Moledo y Manani, 2008, p.101).

No fue hasta 1808 que se propusieron nuevas ideas sobre la estructura interna de la materia. John Dalton, sostuvo que *“el átomo era una diminuta partícula –como una minúscula esfera- indivisible y homogénea”*. Dalton dio a conocer estas ideas basándose en un nutrido aporte de hechos experimentales y cinco supuestos:

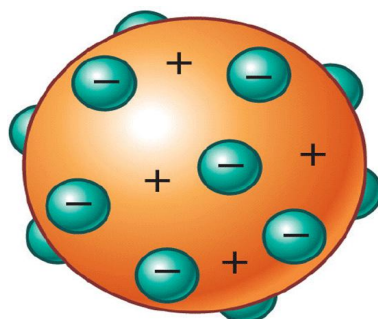
1. Toda la materia esta compuestas de átomos sólidos, indivisibles y completamente homogéneos, es decir, sin huecos en su interior.
2. Los átomos son indestructibles y conservan su identidad en todas las reacciones químicas: no pueden descomponerse para formar otros átomos.

3. Los átomos de un elemento son idénticos en sus propiedades. Cada átomo está asociado con una magnitud propia que lo caracteriza, el peso atómico.
4. Los compuestos químicos se forman de la combinación de átomos de dos o más elementos, en un átomo compuesto (lo que conocemos actualmente como molécula)
5. En cualquier reacción química, los átomos se combinan en proporciones numéricas simples.⁶



En la segunda mitad del siglo XVIII, los físicos estudiaban los efectos de la electricidad al hacerla atravesar por un tubo de vacío: en el electrodo positivo (ánodo) aparecía un resplandor verdoso; era lógico pensar que se debía a algún tipo de radiación que salía del cátodo (electrodo negativo), y a la que, previsiblemente se le llamó “radiación catódica”, lo que no estaba nada claro era la naturaleza de esos rayos catódicos. En 1897, Joseph John Thompson, demostró categóricamente que se trataba de partículas ya que eran desviadas por campos eléctricos y magnéticos). En 1902 William Kelvin y J. J. Thompson, proponen un modelo atómico, donde el “átomo estaba constituido de una esfera de una sustancia con carga uniforme dentro de la cual se encontraban inmersos los electrones, de tal forma que el átomo, como un todo, era eléctricamente neutro” (Cruz y otros, 1991, p. 124). Este modelo se conoció como el “pudding de pasas” y fue considerado por la comunidad científica de la época como el más adecuado.

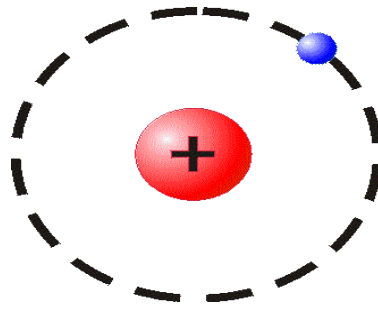
⁶ Supuestos extraídos de MOLEDO LEONARDO y MAGNANI ESTEBAN. Así se creó la ciencia. Ediciones Robinbook. Barcelona. 2008. Pág. 104 y CRUZ-GARRITZ DIANA, CHAMIZO, JORGE y GARRITZ ANDONI. Estructura atómica. Un enfoque Químico. Adisson-Wesley Iberoamericana. 1991. Pág. 4.



A pesar de la aceptación del modelo del pudín de pasas, en 1898 Ernest Rutherford, quien trabajó junto a Thompson, comprobó que los elementos radioactivos emitían al menos dos clases de rayos diferentes, unos a los que llamó alfa, cargados positivamente y otros más penetrantes y cargados negativamente, que llamó beta. En 1908, Rutherford para ver cómo estaban distribuidos los electrones del pudín de pasas de Thompson, lanzó partículas alfa contra una lámina de oro extremadamente delgada y observó que la mayoría de las partículas atravesaban la lámina sin sufrir ningún tipo de desviación en su dirección y, de vez en cuando, algunas partículas se desviaban en ángulos enormes y faltaban aquellas que se devolvían como si se hubiesen chocado contra algún obstáculo sólido y pesado. ¡Era sorprendente! Porque Rutherford, al igual que todos los científicos, tenía en la cabeza el modelo de Thompson; pero el resultado de su experimento contradecía esa imagen ya que si algunas partículas eran desviadas violentamente, en alguna parte del átomo tenía que haber algo duro y macizo.

Rutherford infirió que toda o casi toda la masa del átomo estaba concentrada en un espacio muy reducido en su centro, el núcleo, y era ese núcleo contra el que habían chocado las partículas alfa. De acuerdo a sus observaciones y deducciones, Rutherford propuso en 1911, un nuevo modelo donde “el átomo estaba constituido por un centro (el núcleo) compuesto de partículas a las cuales llamó “protones”, a cuyo alrededor giraban los electrones, muy lejos, ya que el 99.99% del átomo es espacio vacío”. Este modelo se conoció como el “modelo planetario” debido a su similitud con el sistema solar.⁷

⁷ Fragmento adaptado de MOLEDO LEONARDO y MAGNANI ESTEBAN. Así se creó la ciencia. Ediciones Robinbook. Barcelona. 2008. Págs. 109, 110 y 111.



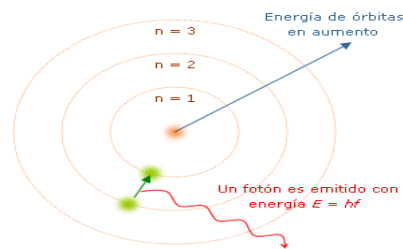
Sin embargo, el átomo de Rutherford, a pesar de su indudable atractivo, tenía un grave defecto. Según las leyes del electromagnetismo, cuando una carga eléctrica gira, como los electrones alrededor del núcleo, emite ondas electromagnéticas y, en consecuencia, pierde energía, que pronto no le permite estar en órbita, por lo que cae irremediabilmente al centro, lo que conllevaría al colapso del átomo.

Fue así como en 1913, Niels Bôhr (físico danés), siguiendo las ideas de Marx Plank y Albert Einstein, elaboró una teoría del átomo completamente novedosa. Puesto que los electrones, mientras giran en sus orbitas, irradian, pierden energía y caen al núcleo, decidió que los electrones, mientras giran en sus orbitas, no irradian. Además decidió que los electrones no pueden girar en cualquier lugar, sino en ciertas orbitas absolutamente prefijadas a las que llamó "orbitas estacionarias", las cuales describían una trayectoria circular alrededor del núcleo. Así, sostuvo Bôhr, "hay una primera capa donde giran los electrones de menor energía, una segunda capa más energética donde giran electrones de mayor energía y así sucesivamente. Cada nivel energético corresponde a cierta cantidad fija de cuantos o paquetes energéticos y no hay orbitas intermedias. Los electrones no irradian mientras se mueven en sus orbitas: solo lo hacen cuando saltan de una órbita mas energética a una menos energética" (Moledo y Manani, 2008, pp.113-114).

El esquema de Bôhr explicaba la estructura obsesiva y repetitiva de la tabla periódica: a medida que los niveles se van llenando, los electrones no tienen más remedio que circular por los niveles más alejados del núcleo e ir ocupando los niveles subsiguientes.

Es el número de electrones en el último nivel de energía el que determina las propiedades químicas, ya que es esa última capa la que interactúa con el resto de los átomos.

Era un paso peligroso. Es verdad que se mantenía la placida imagen de un minúsculo sistema solar, pero a costa de violar las leyes clásicas de la física. Y era peligroso porque marcaba un límite entre el macrocosmos y el microcosmos: las leyes del electromagnetismo –las cuales establecían claramente que el electrón debe emitir- no eran aplicables en el mundo del átomo. Y es que las cosas son así, la ciencia avanza dando palos de ciego con audacia e irresponsabilidad y, a veces, una propuesta temible es la base sobre la que pueden apoyarse las que vendrán después. El átomo de Bôhr, con su núcleo ocupado por protones, de carga positiva, y los electrones en orbitas fijas a su alrededor, fue un hallazgo feliz y permitió los modelos atómicos más complicados que vinieron después.⁸



⁸ Fragmento adaptado de MOLEDO LEONARDO y MAGNANI ESTEBAN. Así se creó la ciencia. Ediciones Robinbook. Barcelona. 2008. Pág. 114

Anexo D. El modelo atómico mecánico-cuántico: estrategias para el mejoramiento de su enseñanza y aprendizaje

CUESTIONARIO DE INVARIANTES OPERATORIOS.

INSTITUCIÓN EDUCATIVA:

FECHA:

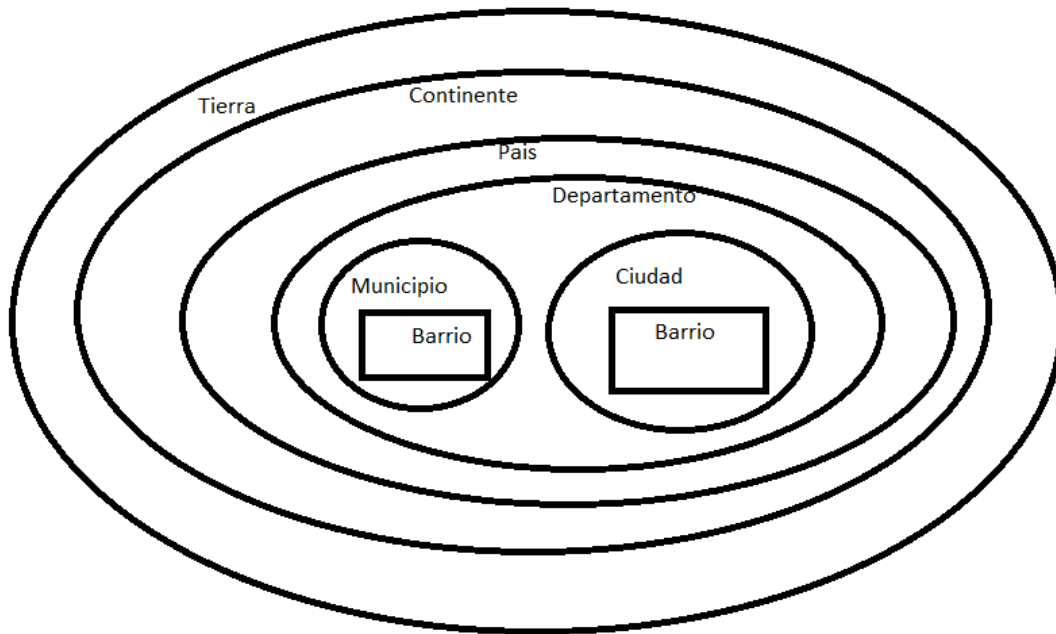
El siguiente cuestionario tiene como finalidad conocer tus ideas sobre la naturaleza y la estructura interna de la materia; es decir, las partes más pequeñas de las que están hechas todas las cosas.

Por favor, responde cada una de las preguntas con naturalidad, atendiendo a lo que sabes, conoces o crees. (NO dejes ninguna sin responder)

Con las siguientes palabras:

Tierra / Continente / País / Departamento / Municipio / Ciudad / Barrio /

Se diseñó un diagrama que muestra que el barrio esta dentro del municipio y la ciudad, que la ciudad y el municipio se encuentran a su vez, dentro del departamento, éste dentro del país, el país se encuentra dentro del continente y éste ultimo hace parte del planeta tierra.



1. Haz un diagrama similar para el caso de una varilla de Hierro, utilizando las siguientes palabras:

Protón / Neutrón / Átomo / Núcleo / Electrón / Quarks / varilla de hierro

2. En nuestra vida cotidiana, nos encontramos en permanente interacción con una gran cantidad de olores y de “cosas” que los desprenden. Por ejemplo, el exquisito olor que desprenden los alimentos al prepararse, el aroma dulce de las frutas y de las flores, el olor de los gases desprendidos por todo tipo de vehículos, el olor del jabón o del perfume, el olor de las bebidas; en fin, nos encontramos inmersos en el mundo donde todos los cuerpos u objetos emanan un olor característico. Percibimos todos estos olores, gracias a que en la nariz, se encuentra una gran cantidad de receptores que “atrapan” el olor enviando una señal al cerebro para que lo procese y podamos percibirlo.

¿Cómo explicarías el hecho de la llegada de estos olores a tu nariz? ¿De qué están hechos estos olores?

3. La hélice de un helicóptero “ocupa” una región del espacio cuando se encuentra detenida, pero cuando está girando a alta velocidad, parece como si ocupara todo un espacio circular alrededor de su eje. Este espacio, que se aprecia como una especie de “mancha o nube”, está completamente delimitado por la longitud de las aspas, de modo que siempre estaremos seguros de encontrar la hélice dentro de él. En otras palabras, la probabilidad de encontrar la hélice fuera de dicho espacio es de cero.

Vamos a asumir que las aspas de la hélice corresponden a un electrón en un átomo específico y que la “mancha o nube” que se forma cuando las aspas giran a gran velocidad corresponden a un orbital atómico.

a. ¿Crees que sea posible determinar la posición y la velocidad exactas del electrón dentro del átomo? Explica.

b. Con base en el ejemplo ¿Qué entiendes por orbital atómico?

4. Todos los días; en nuestras casas, en las calles, en el colegio, en el autobús, en el parque, en el centro comercial, etc.; escuchamos una gran diversidad de sonidos. Una de las actividades que realizamos cotidianamente y se encuentra relacionada con el sonido de forma directa es la de conversar con uno de nuestros amigos; ¿Cómo explicarías la llegada del sonido de la voz de tu amigo a tu oído?

5. Cualquier tipo de onda queda descrita en cualquier instante mediante una lista de números, un número por cada punto del espacio por el que viaja la onda. Por ejemplo, en el caso de la onda sonora, los números nos darán la presión del aire en cada punto del espacio (porque es el aire quien transmite el sonido). Otro caso cotidiano es la onda que produce un músico sobre la cuerda de una guitarra cuando la hace sonar, la cual estaría descrita por números que nos darían la tensión de dicha cuerda en cada uno de

sus puntos. ¿Crees qué sería posible describir la posición del electrón en un átomo utilizando números? ¿Esos números o posiciones serian exactos? Explica

6.



Como lo puedes observar en la imagen, al colocar las manos frente a una fuente luminosa se produce una sombra, la cual se forma por una interferencia en la trayectoria del rayo de luz. ¿Por qué el rayo de luz no puede atravesar la mano? ¿Cómo llega el rayo de luz a la mano?

7. Realiza un dibujo que represente un átomo y señala todas sus partes