

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VICERRECTORÍA DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA VUAD
FACULTAD DE EDUCACIÓN
DOCTORADO EN EDUCACIÓN

**ANÁLISIS DEL FENÓMENO DUALIDAD ONDA – PARTÍCULA DESDE LA
PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO**

Mg. NELLY YOLANDA CÉSPEDES GUEVARA

Bogotá, D.C.
Noviembre 17 de 2016

**ANÁLISIS DEL FENÓMENO DUALIDAD ONDA – PARTÍCULA DESDE LA
PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO**

Mg. NELLY YOLANDA CÉSPEDES GUEVARA

Dra. ROSA NIDIA TUAY SIGUA

**Tesis para optar el título de
Doctor en Educación**

Bogotá, D.C., noviembre 17 de 2016

Tesis aprobada por:

Director de la tesis _____

Jurados:

Nombre y firma

Nombre y firma

Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas a quienes agradecer por permitirme haber realizado los estudios doctorales, inicialmente a mis padres por haberme dado la vida y enseñarme en cada momento que la disciplina y la responsabilidad son el camino para obtener grandes logros. A mi hermano por acompañarme todo el tiempo en los procesos de crecimiento académico.

A mi esposo Fabián por sentir su apoyo incondicional en todo el proceso de desarrollo doctoral, a mi hijo Mateo porque con su llegada en el cierre de trabajo doctoral me permitió explorar la faceta de ser madre y me permitió obtener la calma necesaria para afrontar la construcción de la tesis.

A la Dra. Rosa Nidia que más que una directora de tesis se convirtió en una amiga ya que con su conocimiento, dirección y apoyo, guío mis pasos en la construcción de la tesis doctoral.

Al grupo de investigación y asesoría de la Universidad Pedagógica Nacional EDUCADIVERSO quienes con sus valiosos aportes generaron reflexiones en el desarrollo de la tesis doctoral.

A mis amigas Claudia y Magda quienes estuvieron presentes en el desarrollo del doctorado y compartieron conmigo el camino de vida en el desarrollo doctoral.

Al Doctorado en Educación de la Universidad Santo Tomás, al Dr. José Arles y a los docentes quienes con su guía constante permitieron culminar una de mis metas, en mi desarrollo académico y profesional.

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre Luis Eduardo, quien me guía
en todos los procesos de mi vida.

A mi hijo Mateo, que con su llegada iluminó mi proceso de culminación
de la formación doctoral.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. UNA MIRADA AL PROCESO DE CONOCIMIENTO	18
1.1 ACERCAMIENTO A LA TEORÍA DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO.....	19
1.2 ACERCAMIENTO A LOS PROCESOS DE CONOCIMIENTO EN FÍSICA.....	22
1.3 ACERCAMIENTO A LOS PROCESOS DE CONOCIMIENTO EN MECÁNICA CUÁNTICA.....	28
1.4 ¿CUÁL ES EL PROBLEMA EN EL ACERCAMIENTO AL CONOCIMIENTO DE LOS FENÓMENOS EN MECÁNICA CUÁNTICA?.....	33
1.5 OBJETIVOS	42
2. APORTES DESDE EL CONOCIMIENTO DE LA MECÁNICA CUÁNTICA AL DESARROLLO DEL FENÓMENO DUALIDAD ONDA – PARTÍCULA	43
2.1 APORTES AL CONOCIMIENTO EN MECÁNICA CUÁNTICA.....	44
2.2 APORTES EN LA PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO EN LA MECÁNICA CUÁNTICA.....	48
2.3 EL ENFOQUE DE LA MECÁNICA CUÁNTICA Y LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS.....	53
3. APUESTAS TEÓRICAS EN EL DESARROLLO DEL FENÓMENO DUALIDAD ONDA - PARTÍCULA	58
3.1 FORMALIZACIÓN DE LOS FENÓMENOS FÍSICOS EN MECÁNICA CUÁNTICA.....	60
3.2 FUNDAMENTO HISTÓRICO DE LA MECÁNICA CUÁNTICA	65
3.3 DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO DUALIDAD ONDA - PARTÍCULA.....	75
3.4 ANÁLISIS FENOMENOLÓGICO DE LA MECÁNICA CUÁNTICA DESDE EL MODO 2 DE PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO	78
3.5 LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS DESDE LA PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO EN MECÁNICA CUÁNTICA	91
3.6 MODELOS Y MODELIZACIÓN COMO ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO	98
4. DESDE LO METODOLÓGICO EN LA PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO DE LA DUALIDAD ONDA - PARTÍCULA	104
4.1 DESCRIPCIÓN DEL ASPECTO METODOLÓGICO.....	105
4.2 ENFOQUE METODOLÓGICO	107
4.3 MÉTODO.....	110
4.4 DISEÑO METODOLÓGICO	112
4.4.1 UNIDAD DE ANÁLISIS	116
4.5 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	117
5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	122

5.1	CONSTRUCCIÓN DE CATEGORÍAS A PARTIR DEL ANÁLISIS DE INSTRUMENTOS.....	123
5.2	CATEGORÍA FORMALIZACIÓN DEL FENÓMENO	129
5.3	CATEGORÍA COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO	136
5.4	CATEGORÍA CONTEXTO DEL FENÓMENO.....	140
5.5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	144
5.5.1	CLASIFICACIÓN MÚLTIPLE DE ÍTEMS	145
5.5.2	TALLER DE CONTEXTOS	154
6.	CONCLUSIONES Y PROYECCIONES	166
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	174
	ANEXOS	185

LISTA DE GRÁFICAS

Fig. 1 Modos de producción de conocimiento	37
Fig. 2 Descripción del problema de investigación	41
Fig. 3 Esquema de formalización e interpretación de un fenómeno físico	61
Fig. 4 Esquema de trabajo de la investigación cualitativa	106
Fig. 5 Diseño Metodológico General	115
Fig. 6 Histograma de índices	147
Fig. 7 Análisis de correspondencias simples	152
Fig. 8 Mapa factorial (resultados por conglomerados instrumento CMI)	153
Fig. 9. Mapa factorial de grupos de participantes	156
Fig. 10. Mapa factorial de grupos de participantes	158
Fig. 11. Mapa factorial de conglomerados	163
Fig. 12. Conglomerados totales	164
Fig. 13. Grupos de participantes por conglomerados	165

LISTA DE TABLAS

Tabla1.Equivalencias teóricas de la Mecánica Cuántica	74
Tabla 2. Relación de criterios, subgrupos y tarjetas instrumento CMI	145
Tabla 3. Relación de tarjetas instrumento CMI	146
Tabla 4. Palabras estándar para el análisis de los criterios	146
Tabla 5. Grupos de participantes	148
Tabla 6. Análisis textual de cada grupo de participantes	149
Tabla 7. Análisis de tabla de contingencia I	150
Tabla 8. Análisis de tabla de contingencia II	150
Tabla 9. Histograma de índices de grupos de participantes I	155
Tabla 10. Grupos de participantes por pregunta	155
Tabla 11. Histograma de índices de grupos de participantes II	157
Tabla 12. Grupos de participantes por pregunta	158
Tabla 13. Histograma de índices de grupos de participantes	159
Tabla 14. Grupos de participantes por pregunta	160
Tabla 15. Histograma de índices de grupos de participantes	161
Tabla 16. Grupos de participantes por pregunta	162

RESUMEN

La tesis doctoral presenta una reflexión sobre la problemática que surge al acercarse a las formas de conocer en una disciplina de las ciencias, tal es el caso de la Mecánica Cuántica en la explicación del fenómeno de la dualidad onda – partícula; a través de los modos de producción de conocimiento expuestos por Gibbons y otros (1997) encontrando que el modo 1 de producción de conocimiento hace referencia a los esquemas numéricos en el estudio de una disciplina y el modo 2 de producción de conocimiento es una forma de acercarse al conocimiento científico a través del análisis del fenómeno desde su realidad. Con el objetivo de identificar el contexto donde ocurre el fenómeno, interpretarlo y comprenderlo para hallar las diferentes interrelaciones físicas que se pueden establecer en el desarrollo la perspectiva de la educación en ciencias.

En el desarrollo del problema de investigación, se trabajó con una metodología cualitativa, desde el enfoque interpretativo, empleando los esquemas de la producción de conocimiento de Gibbons y otros (1997), los procesos de formalización de una teoría física de Ayala y otros (2008) y a su vez el esquema de conocimiento planteado por Bautista (1998, 2016). Estos referentes teóricos permiten establecer los esquemas de conocimiento necesarios para comprender los acercamientos a los desarrollos del fenómeno dualidad onda – partícula en la Mecánica Cuántica.

La perspectiva que se asume en la investigación desarrollada en la tesis doctoral toma en consideración los modos de producción de conocimiento propuestos por Gibbons y otros (1997) como el enfoque desde la producción de conocimiento para abordar la comprensión de fenómenos de la Mecánica Cuántica, particularmente, la dualidad onda – partícula y la Educación en Ciencias a través del trabajo de Eder y Adúriz (2001) quienes muestran una serie de elaboraciones epistemológicas de lo experimental con el objetivo de evidenciar los esquemas de acercamiento al conocimiento científico.

El proceso metodológico de la investigación se realizó a partir de una revisión documental desde el análisis del fenómeno dualidad onda – partícula a través de la utilización de la metodología cualitativa y el enfoque fenomenológico, que permitieron ubicar dentro un contexto particular las acciones realizadas en el trabajo de campo y la aplicación de instrumentos que permitieran encontrar categorías de análisis propias para el desarrollo de los esquemas de producción de conocimiento centrados en el fenómeno analizado.

De acuerdo a lo anterior, las categorías de análisis encontradas **comprensión, formalización y contextualización del fenómeno** posibilitan la interpretación de las estructuras de análisis desde el modo 2 de producción de conocimiento de los participantes en el desarrollo de la investigación. En este sentido, los compromisos de conocimiento que se desarrollaron en el trabajo de campo en la tesis doctoral permitieron a los participantes acercarse al desarrollo del pensamiento científico de una forma vivencial a través de la realidad contextualizada en los fenómenos estudiados.

Por último, la investigación desarrollada en la tesis doctoral plantea la importancia de vincular los modos de producción de conocimiento en la explicación de fenómenos de la Naturaleza, conducentes al desarrollo de una teoría científica a través de situaciones contextualizadas que aborden problemáticas estructuradas al saber académico que se desea estudiar.

ABSTRACT

The dissertation presents a reflection on the problem that arises when approaching the ways of knowing in a science discipline, such is the case of quantum mechanics in explaining the phenomenon of duality wave - particle; through modes of knowledge production presented by Gibbons et al (1997) found that mode 1 knowledge production refers to the numerical schemes in the study of a discipline and mode 2 knowledge production is a way of approach to scientific knowledge through the analysis of the phenomenon from its reality. In order to identify the context in which the phenomenon occurs, interpret and understand to find the different physical relationships that can be established in developing the perspective of science education.

In the development of the research problem, we worked with a qualitative methodology from the interpretive approach, using schemes knowledge production of Gibbons et al (1997), the formalization of a physical theory of Ayala and others (2008) and in turn the knowledge scheme proposed by Bautista (1998, 2016). These theoretical framework establish schemes allow knowledge to understand the approaches to the development of the phenomenon wave - particle duality in quantum mechanics.

The perspective assumed in the research developed in the doctoral thesis takes into consideration the modes of knowledge production proposed by Gibbons et al (1997) as the focus from the production of knowledge to address the understanding of phenomena of quantum mechanics, particularly the duality wave - particle and Science Education through the work of Eder and Adúriz (2001) who show a series of epistemological elaborations of experimental evidence aimed at schemes approach to scientific knowledge.

The methodology of the research was done from a literature review from the analysis of the phenomenon wave - particle duality through the use of qualitative

methodology and the phenomenological approach, which allowed to locate in a particular context actions taken at work field and the application of tools that allow find categories of own development of production schemes focused on the phenomenon analyzed knowledge analysis.

According to the above, the analysis categories found understanding, formalization and contextualization of the phenomenon possible interpretation of the structures of analysis from the production mode 2 knowledge of participants in the development of research. In this regard, the commitments of knowledge that developed in the fieldwork in the doctoral thesis allowed participants to approach the development of scientific thought in an experiential way through contextualized reality in the phenomena studied.

Finally, the research developed in the doctoral thesis presents the importance of linking modes of knowledge production in explaining phenomena of nature, leading to the development of a scientific theory through contextualized situations that address issues structured to academic knowledge that you want to study.

INTRODUCCIÓN

Todo proceso educativo ha enmarcado los espacios de formación de los individuos, de forma colectiva o individual, impactando diferentes escenarios, como lo decía Einstein (1950) en su discurso sobre la educación “El objetivo ha de ser, al contrario, formar individuos que actúen y piensen con independencia y que consideren, no obstante, su interés vital más importante el servicio a la comunidad”, (p. 39); lo anterior indica una de las posibilidades que se encuentran en la educación como el eje central en la transformación de los individuos cuando se acercan a la escuela.

En la perspectiva de la educación en ciencias el proceso educativo es un escenario de construcción de saberes que ha permitido establecer contextos de producción de conocimiento, en los cuales cabe preguntarse ¿Qué papel ha jugado el desarrollo de la física en dicha contextualización?, de acuerdo con Bautista (1998) “... la actividad de *conocer*, es decir, se asume al conocimiento como una actividad y no como un simple producto”, (p. 3); lo cual implica que el conocer se convierte en un espacio de acercamiento a la contextualización de los saberes.

En este sentido, la reflexión del conocer se configura como uno de los esquemas de construcción del objeto de conocimiento en general, hacia la búsqueda de la comprensión de los fenómenos que suceden en la Naturaleza, priorizando las estructuras de entendimiento de los mismos y permitiendo establecer esquemas de acercamiento a los fenómenos estudiados.

Desde esta perspectiva, el escenario planteado desde la educación en general, ha posibilitado al hombre la oportunidad de preguntarse por el conocimiento del mundo y las ideas que subyacen de dichos cuestionamientos, según Nussbaum (2010) la educación debe fomentar en el individuo el

pensamiento crítico y la imaginación en el abordaje de cualquier tipo de contenidos.

De acuerdo con Henao y Stipcich (2008) la educación en ciencias presenta un panorama de conocimiento ligado a la comprensión de los procesos así que, "...en la tarea de comprender los procesos de aprendizaje en el aula y de dar fundamento teórico y metodológico a la investigación y a la innovación en la educación en ciencias" (p. 50); se presenta el espacio adecuado para contextualizar los fenómenos y su abordaje desde la comprensión y la producción de conocimiento.

En este contexto, el abordaje desde la educación en ciencias de la Mecánica Cuántica, en particular de uno de los fenómenos cruciales de su estudio: la dualidad onda - partícula y el análisis de los diferentes fenómenos físicos que hacen parte de los desarrollos de este aspecto de la física moderna, han sido protagonistas de una serie de formulaciones y tratamientos teóricos, que han hecho parte de los esquemas de trabajo de la disciplina.

Desde la producción de conocimiento, Gibbons y otros (1997) proponen que

El modo 1 se basa en la disciplina y conlleva una distinción entre lo que es fundamental y lo que es aplicado; eso implica a su vez una distinción operativa entre un núcleo teórico y otros ámbitos de conocimiento, tales como las ciencias de la ingeniería, en las que las comprensiones teóricas se traducen en aplicaciones. (p. 3),

Este modo 1 descrito anteriormente proporciona un esquema de construcción de conocimiento pertinente para el análisis de cualquier fenómeno físico y especialmente para el modo que se trabaja en el desarrollo de esta propuesta.

En este contexto, el abordaje que se plantea en el desarrollo de la tesis doctoral se encuentra ubicado en la perspectiva de la educación en ciencias y los

modos de producción de conocimiento, permitiendo el desarrollo interdisciplinar orientado metodológicamente por el enfoque fenomenológico.

El problema de investigación que se aborda en la tesis doctoral se encuentra ubicado en el escenario de acercamiento a la conceptualización de fenómenos físicos a través de esquemas clásicos (modo 1 de producción de conocimiento), en donde se hace necesario realizar un tránsito hacia la consideración de los fenómenos y su explicación en los contextos, desde el conocimiento y su evolución en la consideración de procesos cotidianos.

Para realizar dicho tránsito, es importante mencionar que el desarrollo de la tesis doctoral se enmarca en la apuesta pedagógica desde el modo 2 de producción de conocimiento, expuesto por Gibbons y otros (1997), quienes proporcionan un esquema de construcción de conocimiento de las disciplinas, que trasciende las fronteras de la formalización expuesta en el modo 1 de producción de conocimiento.

La tesis doctoral se presenta en cinco capítulos y un apartado final de conclusiones y proyecciones, descritas a continuación que permiten al lector conocer el abordaje de las temáticas aquí planteadas.

Desde este contexto, en el primer capítulo se encuentra el planteamiento del problema y la justificación, desarrollados a partir de los cuestionamientos que surgen en los estudiantes cuando reconocen la existencia de dificultades de interpretación de fenómenos descritos en la teoría cuántica, particularmente, el análisis del fenómeno de la dualidad onda – partícula, dado que tradicionalmente se ha abordado desde los contextos teóricos de la formalidad de las construcciones matemáticas.

Entonces, al pensar la educación en física en torno a un tema específico como es el de la enseñanza del fenómeno dualidad onda - partícula, se puede

establecer la posibilidad de ser abordado desde una perspectiva de producción de conocimiento que permita problematizar sobre el acercamiento a un enfoque fenomenológico y a un análisis interpretativo de los esquemas teóricos tradicionales.

El segundo capítulo presenta una revisión de la literatura a nivel nacional e internacional de las investigaciones que se han preguntado por el estudio del fenómeno de la dualidad onda – partícula, en los niveles escolares de educación media y universitaria, lo que permitió establecer los aportes que desde el abordaje del problema planteado se podrían obtener para la construcción de conocimiento de la dualidad onda – partícula.

En el tercer capítulo, se presentan los componentes teóricos en torno al formalismo del estudio del fenómeno de la dualidad onda – partícula, el escenario de la construcción de conocimiento y la educación en ciencias, tomados desde la fenomenología y epistemología de las ciencias, lo que proporciona la base del marco de referencia de las categorías teóricas que permiten generar las descripciones de análisis del fenómeno trabajado.

En el cuarto capítulo, se expone la pertinencia y utilización de los instrumentos aplicados en el desarrollo de la metodología cualitativa, a través del uso del software HUDAP y ATLAS TI que permitieron encontrar las diferentes relaciones entre los aspectos cognitivos desarrollados por los sujetos de investigación en el curso de las aplicaciones metodológicas de la tesis doctoral.

En el quinto capítulo, se presentan la discusión de resultados obtenidos en el trabajo de campo, haciendo énfasis en el análisis proporcionado por la metodología cualitativa, y el desarrollo presentado por la fenomenología de las ciencias que permitieron encontrar las conexiones y características analizadas con los estudiantes de los programas académicos de tecnología en radiología y de licenciatura en física.

Como cierre de la tesis doctoral se presentan una serie de conclusiones y proyecciones, que se desglosan del análisis obtenido de la metodología aplicada y al mismo tiempo desde la construcción de conocimiento sobre el fenómeno de la dualidad onda - partícula, que permite establecer conexiones entre los desarrollos utilizados en el curso de la tesis.

1. UNA MIRADA AL PROCESO DE CONOCIMIENTO

El capítulo 1 presenta la estructura de los procesos de conocer a partir de las relaciones establecidas entre la teoría del conocimiento, así como la búsqueda de los significados del conocimiento en el campo de física particularmente de la Mecánica Cuántica y el fenómeno de la dualidad onda – partícula. Inicialmente, se expone las relaciones encontradas desde la teoría del conocimiento al problema de acercarse al saber, a partir una de perspectivas epistemológicas que vinculan el enfoque dado por la fenomenología al estudio del conocimiento científico.

De igual manera, se plantea el abordaje desde el conocimiento de los fenómenos en física a través de los planteamientos de Popper (1972), quien establece que el desarrollo del saber científico depende de las relaciones de conocimiento general dadas en torno a un fenómeno. Por otro lado, Fourez (1994) propone que las necesidades de comprensión de los fenómenos físicos dependen de los procesos de contextualización de los fenómenos físicos. Permitiendo así, encontrar vínculos entre los fenómenos y los escenarios de conocimiento.

Otro apartado hace referencia a los procesos de acercamiento al conocimiento en Mecánica Cuántica a través de los planteamientos de Bombal (1999) quien afirma que los procesos de conocimiento en la Mecánica Cuántica han permitido reconocer los diferentes contextos en donde se desarrollan las

explicaciones de las situaciones a escala atómica. Así mismo, Sánchez (2001) afirma que para interpretar un fenómeno cuántico es necesario identificar los desarrollos teóricos desde la aplicación de los fenómenos analizados.

Por último, se aborda el proceso de conocimiento del fenómeno dualidad onda – partícula a través de los esquemas trabajados desde la formalización establecida por Levy-Leblond (1990) quien establece que el conocimiento del fenómeno de dualidad onda – partícula se encuentra descrito desde el contexto, lo que implica una conexión cercana con los desarrollos de Gibbons y otros (1997) en la perspectiva de los nuevos modos de producción de conocimiento.

1.1 ACERCAMIENTO A LA TEORIA DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

Conocer es una actividad en la cual el hombre reconoce frente al mundo del cual forma parte (Bachelard, 1973), en este aspecto, producir conocimiento implica procesos de relación entre los aspectos del mundo que posibilitan generar perspectivas de pensamiento científico que a través de esquemas de comunicación permiten caracterizar lo que se conoce y expresar a otros ese conocimiento.

Desde la perspectiva de la teoría del conocimiento, Quintanilla (2000) afirma que “las investigaciones sobre el conocimiento (de cualquier forma que se entiendan éstas: científica y filosófica) tienen que enfrentarse desde el principio con opciones de carácter estrictamente filosófico” (sp), lo que implica que los procesos de conocimiento están ligados a los escenarios que desde la filosofía se plantean como un reconocimiento del significado de conocer.

De acuerdo con Popper citado por Daros (sf) el conocimiento se ve reflejado en la experiencia, que proporciona relaciones características en el desarrollo de la ciencia,

“En cuanto al punto de partida de la ciencia, yo no digo que la ciencia parte de intuiciones, sino que parte de problemas; que llegamos a una nueva teoría, fundamentalmente, al tratar de resolver problemas; que estos problemas surgen de nuestros intentos por comprender el mundo tal como lo conocemos, el mundo de nuestra "experiencia" ("experiencia" que consiste, en gran medida en expectativas o teorías, y en parte también en conocimiento observacional, aunque yo creo que no existe nada semejante a un conocimiento observacional puro, no teñido de expectativas o teorías)" (p. 2)

La cita confirma una idea relevante de lo que significa el sentido del conocimiento a través de las experiencias propias de cada sujeto sobre lo que conoce y cómo desea fundamentar ese escenario de conocimiento. De este modo, el desarrollo del conocimiento científico proporciona elementos característicos, en los cuales el acercamiento a los procesos de relaciones que involucra interacciones entre los sujetos y sus necesidades de verificar los aspectos reales que conoce del mundo, según Daros (sf) “el conocimiento, fruto de una observación no es una pura adquisición, sino una elaboración, una selección activa, producto de la interacción entre la realidad y las expectativas” (p. 2). Este reconocimiento al proceso de conocer y acercarse a sus significados establece líneas de acción desde el sujeto y su interrelación con los objetos, en cuanto a los esquemas de trabajo que subyacen en las observaciones del fenómeno que será objeto de conocimiento científico.

Entonces, la teoría del conocimiento se encuentra fundamentada en la reflexión por aquellas cuestiones del conocer que proporcionan un esquema de interrelación entre lo que se conoce y lo que se plantea por estructura de conocimiento en contexto. En esta perspectiva, el acercamiento presenta una relación intrínseca entre el sujeto que conoce y el objeto que desea conocer, presentando una de las consideraciones más importantes del *realismo*, ya que conduce al conocimiento de los objetos ideales y los objetos reales como parte de una estructura de conocimiento de un fenómeno.

Desde el realismo, según Hessen (1981) "...la física moderna considera las cualidades secundarias, según esto, como reacciones de la conciencia a determinados estímulos, los cuales no son las cosas mismas, sino ciertas acciones causales de las cosas sobre los órganos de los sentidos" (p. 40); lo que implica que el conocimiento depende de la percepción que se tenga de las situaciones analizadas dentro del fenómeno considerado.

En este sentido, el conocimiento se concibe como un proceso gradual en el que un individuo genera aprendizajes de las vivencias del mundo; de acuerdo con Ramírez (2009) "...la teoría del conocimiento plantea tres grandes cuestiones: la posibilidad de conocer, la naturaleza del conocimiento y los medios para obtener conocimiento", (p. 219); a partir de las relaciones entre las diferentes representaciones que se pueden dar de la realidad dada a un fenómeno.

La teoría del conocimiento proporciona dos esquemas de interpretación, según Ramírez (2009) uno es el idealismo que proporciona un reconocimiento de lo real hacia lo racional, lo que implica la interrelación del objeto con los esquemas que tiene el sujeto referente a su conocimiento, y por otro lado, el realismo asume que el ser humano conoce cuando es capaz de reconocer el mundo en su realidad particular. Por tal razón, conocer se fundamenta en las relaciones que se establecen entre sujetos y objetos, evidenciadas en los escenarios de interpretación del mundo en las realidades de cada sujeto y su objeto de conocimiento.

Desde esta perspectiva, la estructura de pensamiento proporciona esquemas de interacción entre los sujetos permitiendo el abordaje de estructuras teóricas de forma dinámica y comprensible aplicadas a cualquier tipo de desarrollo científico, a través de los esquemas de conocimiento que evidencian el posicionamiento del sujeto frente al objeto de conocimiento y su realidad.

A propósito Rivadulla (2004) afirma que "...La ciencia ha sido concebida a menudo como una empresa racional cuya meta es *describir, explicar y predecir*, aspectos de una supuesta realidad independiente, de la que se ocupa. Esta supuesta aptitud de la ciencia implica un compromiso con el realismo científico" (p. 18), en donde se involucra la realidad como una forma de abordar desde la ciencia los hechos que se conocen. En este contexto, el conocimiento se establece como un esquema dialógico en el cual los sujetos toman como referencia un objeto para caracterizarlo y dar cuenta de los hechos conocidos que suceden al interpretar las conexiones realizadas entre la comprensión del objeto de conocimiento y las experiencias del sujeto.

Entonces, conocer es un esquema procesual de acercamiento a hechos presentes en la realidad, que contribuyen al reconocimiento de estructuras de saber entre los sujetos y sus esquemas de pensamiento de la realidad que posibilita el desarrollo del conocimiento científico.

1.2 ACERCAMIENTO A LOS PROCESOS DE CONOCIMIENTO EN FÍSICA

Los procesos de conocimiento en física contemplan una serie de elementos sobre el acercamiento a esquemas de formalización que conducen a la caracterización de los saberes dentro de un contexto particular, por tal razón, en la física se identifican las formas de conocer a través de la comprensión de los fenómenos que subyacen a un proceso de contextualización.

Desde los griegos el interés por conocer los fenómenos naturales y tener un acercamiento al proceso de conocimiento, les permite entender que la observación de los fenómenos proporciona esquemas de funcionamiento del mundo para dar cuenta de sus experiencias.

De acuerdo con Ayestarán y García (2010) “En primer lugar, la naturaleza se entiende como algo primigenio a partir de la cual se deriva necesariamente todo lo que existe. Añadiremos a este enunciado que todo en la naturaleza está en constante cambio: no existe la quietud eterna o instantánea” (p. 300); lo que indica que la naturaleza y los fenómenos que suceden en ella proporcionan un conocimiento real del mundo y sus interacciones.

Ahora bien, desde la visión de Galileo el conocimiento de los fenómenos de la naturaleza tiene como punto de partida la observación y la experiencia, y dicha necesidad determina el grado de saber que se posea acerca del fenómeno, es decir, cada evento en la naturaleza depende de la estructura de saber que se esté considerando.

Según Popper (1972) las explicaciones de Galileo con respecto a la ciencia se fundamentaban en la “*explicación de lo conocido por lo desconocido*”, fundamentadas en que las teorías científicas no son una explicación suficiente del mundo, sino simplemente se consideran un instrumento para elaborar dichas explicaciones.

Por otro lado, la visión de Newton sobre el desarrollo del conocimiento en física estaba enmarcada en un aspecto racionalista, en el cual las matemáticas y la experimentación científica son el método de comprensión de los fenómenos naturales. Según Nieto (sf), “Para Newton todos los fenómenos de la Naturaleza pueden ser explicados con base en dos supuestos. En primer lugar, que los cuerpos se componen de partículas; y en segundo lugar, que existen fuerzas operando entre los cuerpos y las partículas” (p. 21); estos supuestos proporcionan una visión de la comprensión del conocimiento de los fenómenos en la naturaleza.

En esta perspectiva Hertz (1956) afirma que conocer un fenómeno en física depende de la estructura de las imágenes que se tenga en el acercamiento a la definición del fenómeno, en este sentido, la imagen que representa el fenómeno

tiene un propósito definido que permite caracterizar el escenario de conocimiento donde se produce. Por lo tanto, conocer en física se configura como un elemento primordial que permite el acceso al conocimiento de un fenómeno, el cual, puede caracterizar una serie de conceptos inherentes al desarrollo de éste y su respectiva organización de experiencias de conocimiento del mundo.

Desde el punto de vista de Mach (1948) el conocimiento se fundamenta a través del pensamiento científico el cual busca satisfacerse así mismo, con la creación de objetivos y fines propios, que le permitan reconocer elementos de conocimiento adecuados para generar estructuras de pensamiento particulares que expliquen los fenómenos naturales. Según Mach (1956), "...Nuestra imaginación completa lo que nos proporciona la experiencia de la manera que nos es más habitual, y por eso mismo, el fenómeno y la cosa, es la confusión de las percepciones producidas por circunstancias perfectamente determinadas" (p. 24); en este sentido, se presenta una declaración evidente de Mach hacia la explicación del conocimiento científico a partir de la experiencia del sujeto y su percepción del mundo.

En este recorrido, el esquema de pensamiento de Einstein proporciona una idea de acercamiento al conocimiento a través de la consideración de la observación realista de los fenómenos. Así como lo propone Serrano (sf) citando a Einstein,

Einstein parte de la idea siguiente: una serie de fenómenos observables no determinan inequívocamente la naturaleza de las relaciones causales que los unen. Así pues, la descripción de las relaciones causales se deduce, hasta cierto plano, independientemente de la observación directa. En este sentido Einstein habla de la "libre construcción" de los conceptos que expresan relaciones causales (p. 5)

De esta manera se identifica que las relaciones entre las observaciones de los objetos son independientes de las concepciones de los sujetos. Ya que Einstein, consideraba los aportes de Mach en la búsqueda de su esquema de

conocimiento, porque asumía que todos los eventos naturales podían ser explicados a partir de eventos materiales, con lo cual Einstein afirmaba que observación y experiencia son las dos formas de abordar el proceso de conocer un fenómeno y caracterizarlo.

En este sentido, el proceso de conocimiento puede ubicarse de forma particular en el desarrollo de una disciplina, en donde Ayala y otros (2008) afirman que el desarrollo del conocimiento en física, depende de "...un proceso del pensamiento a través del cual se da forma a los propios modos "internos" de reconocer y elaborar el mundo y a los aspectos "externos" según los cuales el acaecer del mundo puede ser reconocido". (p. 21). Desde esta perspectiva, Bautista (2016) afirma que el conocer en física evidencia un acercamiento a las experiencias sensibles del conocimiento del mundo, y en este aspecto, conocer un fenómeno físico implica una organización en las experiencias trascendentales de los esquemas de conocimiento científico.

De acuerdo con Tuay (2011) el conocimiento de un fenómeno físico ha sido abordado desde la construcción de la realidad y las relaciones entre el mundo y sus representaciones; esto evidencia las necesidades de comprensión de los fenómenos a través de los procesos de contextualización del conocimiento. Los procesos de observación de los fenómenos físicos establecen una serie de estructuras de conocimiento, según Tuay (2011) la observación se considera como una "interpretación" del fenómeno dentro de la realidad, lo que implica la incorporación de relaciones de contexto según las cuales se ubique el fenómeno que se estudia.

A propósito, Bautista (1998) propone que conocer en física hace parte de un ejercicio de organización de las grandes teorías, imágenes y supuestos que hacen parte del quehacer de la física, logrando la caracterización de la disciplina y a su vez el futuro de la misma, en términos de las estructuras de conocimiento visibles en la contextualización de un saber.

En este escenario, los procesos de conocimiento en física se pueden comprender desde los contextos, los cuales permiten arraigar una serie de significados para la ocurrencia de los fenómenos, asumiendo que conocer en física es una actividad que no puede ser catalogada como un producto, ya que hace parte de una reflexión del sujeto que logra realizar al centrarse en la observación de un objeto.

En este sentido, Bautista (1998) afirma que:

“...la perspectiva que asume a la Física como un corpus de teorías, en la cual los criterios y los procedimientos ya han sido producidos y por lo tanto no se cuestionan, cuando se asume la física como la actividad de conocer al “mundo físico” el objeto y los criterios de validez no se pueden considerar como ya dados o resueltos” (p. 8)

Tal planteamiento conduce a la necesidad de preguntarse por la construcción de explicaciones de los fenómenos, con la finalidad de encontrarle el “sentido” a la actividad de conocer, el cual determina el eje central del objeto de conocimiento.

El objeto de conocimiento proporciona los criterios de validez que se encuentran centrados en la actividad de conocer, permitiendo el reconocimiento de la reflexión sobre los fenómenos que se desean analizar bajo el espectro de la observación y caracterización de ese conocimiento que procede de éste. En este esquema de análisis del proceso de conocimiento se hace necesario centrarse en dos cuestionamientos el por qué y el para qué de los fenómenos, los cuales permiten reconocer el sentido de la actividad de conocer y al mismo tiempo, generar esquemas de comprensión de los fenómenos que se analizan.

Entonces, la actividad de conocer establece una serie de imaginarios individuales y colectivos, generando un esquema de saber de los fenómenos, que declara al objeto de conocimiento como un factor de avance de los saberes que se desean analizar. El conocimiento en física devela una serie de procesos de formalización involucrados en la producción de conocimiento, que establecen las

formas de conocer; Ayala y otros (2008) afirman que “Formalizar, desde este enfoque, más que la utilización de una u otra formulación matemática en un concepto o una teoría física, es un proceso cognoscitivo a través del cual se da forma a los propios modos internos de reconocer y elaborar el mundo” (p. 12); mostrando que el proceso de conocimiento en física desarrolla una serie de fundamentaciones desde el análisis de los fenómenos.

Ahora bien, cuando se asume el proceso de formalizar en física se está considerando un esquema de pensamiento en donde se puede reconocer e identificar la naturaleza de los fenómenos, por medio de caracterizaciones que permitan establecer diversas miradas del fenómeno y las incidencias en los modos de conocer. Los modos de conocer en física proporcionan los elementos necesarios para la comprensión de los fenómenos, generando estructuras de conocimiento apropiadas para los diferentes desarrollos teóricos a los que se ha enfrentado la física como ciencia de evolución de contextos, en donde cobra una gran importancia la transición entre las teorías clásicas y las teorías modernas como se analizará en el siguiente a parte del texto que sigue.

1.3 ACERCAMIENTO A LOS PROCESOS DE CONOCIMIENTO EN MECÁNICA CUÁNTICA

Los procesos de conocimiento en Mecánica Cuántica se fundamentan en el análisis de fenómenos cruciales para el desarrollo de la física moderna, que dan cuenta de los esquemas de observación de los fenómenos y al mismo tiempo proporcionan un reconocimiento de la realidad de los eventos que se analizan.

Uno de los fenómenos cruciales en el desarrollo de la Mecánica Cuántica fue la interpretación que hizo Schrödinger para diferenciar las implicaciones físicas de interacción y medida a través de la paradoja del “gato de Schrödinger”, de acuerdo con Zorrilla (sf)

El experimento mental consiste en imaginar a un gato metido dentro de una caja que también contiene un curioso y peligroso dispositivo. Este dispositivo está formado por una ampolla de vidrio que contiene un veneno muy volátil y por un martillo sujeto sobre la ampolla de forma que si cae sobre ella la rompe y se escapa el veneno con lo que el gato moriría. El martillo está conectado a un mecanismo detector de partículas alfa; si llega una partícula alfa el martillo cae rompiendo la ampolla con lo que el gato muere, por el contrario, si no llega no ocurre nada y el gato continua vivo (p. 33).

En la explicación de este experimento bajo la perspectiva de la teoría de Schrödinger, el gato estaría explicado por una función de onda que determinaría una superposición de estados “gato vivo” y “gato muerto”, usando el formalismo cuántico el gato estaría vivo y muerto a la vez, lo que conduce a la formación de dos estados indistinguibles.

En este caso, si se desea comprobar la situación del gato el observador realizaría una medida: abriendo la caja, al realizar esta acción el observador interactúa con el sistema, alterando la superposición de estados y encontrando después de la medida un solo estado valido para la observación del experimento.

En esta explicación, se encuentra uno de los primeros hechos observables descritos por la Mecánica Cuántica debido a que se relacionan las descripciones de los sistemas físicos como el comportamiento de las partículas y los sistemas microscópicos de los cuales no puede dar cuenta la física clásica.

Desde esta perspectiva, la Mecánica Cuántica debe su origen a las discrepancias que de origen ontológico y epistemológico se dieron en el análisis sobre la naturaleza de la luz, que a través de la mecánica de Newton y el electromagnetismo de Maxwell no podían aclararse; lo anterior permitió plantear un nuevo constructo experimental denominado radiación térmica más conocida como “radiación de cuerpo negro”, estableciendo una hipótesis cuántica que desencadenó un panorama problemático en el desarrollo de la física, entendido en sus inicios por un grupo de físicos, quienes lograron comprender la estructura de la materia.

Sánchez (2001), muestra una recopilación de los estudios de la radiación de cuerpo negro realizados por Kirchhoff en 1860, quién denominó a estos cuerpos como “perfectamente negros, o simplemente negros”; lo que permitió llegar a la conclusión “la capacidad de emisión del cuerpo negro, considerada con respecto a una longitud de onda dada y un plano de polarización dado, es independiente de su constitución”, (p.28). De este modo, Navarro (sf), realiza un análisis al fenómeno crucial de la radiación de cuerpo negro, en el cual las leyes de Newton no pueden responder las explicaciones cruciales de la hipótesis cuántica vistas por la tradición matemática de Cambridge, en donde se dispersa la explicación de los fenómenos por darle mayor prioridad a los aspectos matemáticos.

De acuerdo con Rivadulla (2004) la controversia estaba planteada en las concepciones corpuscular y ondulatoria de la luz, alternadas al mismo tiempo, así que

A comienzos del siglo XX Einstein primero, y De Broglie un decenio después, postularon que tanto la radiación como la materia muestran un comportamiento dual: corpuscular y ondulatorio. Para dar respuesta a esta pregunta Bohr postuló el principio de complementariedad, según el cual en un mismo experimento no pueden observarse a la vez los aspectos corpuscular y ondulatorio de un objeto físico. (p 153)

Así, la complementariedad como lo afirma Rivadulla (2004) se prolongó a las explicaciones dadas por Heisenberg de la indeterminación de la posición y la cantidad de movimiento, dando paso a una de las formulaciones interesantes de la Mecánica Cuántica: el principio de incertidumbre.

En este sentido el principio de incertidumbre de Heisenberg se considera como uno de los elementos esenciales de la explicación realizada a la Mecánica Cuántica, de acuerdo con Bombal (1999) este principio según Heisenberg describe que "... todos los conceptos que se usan en la teoría clásica para describir un sistema mecánico, pueden también definirse exactamente en los procesos atómicos, todos los experimentos que conducen a tales definiciones, necesariamente conllevan a una incertidumbre cuando tratan de determinar simultáneamente dos variables canónicamente conjugadas" (p. 6), el cual proporciona una serie de explicaciones concretas a las estructuras planteadas en dicho esquema teórico.

Para generar una explicación concreta, Heisenberg y otros plantearon una interpretación de la Mecánica Cuántica denominada "*Interpretación de Copenhague*", en donde se establece que la Mecánica Cuántica no describe los objetos microscópicos en sí mismos sino que explica las propiedades de las medidas, es decir, todo sistema físico es objeto de ser medido y su medida establece las características de los observables.

Revisando la interpretación de Copenhague de la Mecánica Cuántica y en concordancia con Mach (1948) sobre las percepciones de los observables en la naturaleza, se reconoció como una de las explicaciones realizadas al análisis de

los fenómenos microscópicos, que analizaba el principio de incertidumbre y de complementariedad sobre los diferentes fenómenos estudiados desde el punto de vista de los observables, es importante señalar que dicha comprensión del mundo cuántico proporciona una serie de elementos que interpretan el mundo a escala microcósmica.

El principio de complementariedad evidencia que ondas y partículas son aspectos complementarios, aunque incompatibles, ya que de acuerdo al proceso de observación, un sistema cuántico puede comportarse como onda o como partícula, pero para describirlos se necesita considerar ambos estados. De acuerdo con Clemente (2012) citando a Bohr "...Posiblemente la mejor aproximación surge de una frase del mismo Bohr en la que manifiesta que la utilización de un conjunto de conceptos clásicos en la descripción de un sistema cuántico excluye la utilización de otro conjunto que es "complementario" (p. 114).

Según Cadena (2004) "...El problema es que, si no sabemos cómo conectar la física clásica con la física cuántica, no sabemos cómo conectar aquellos dos niveles de realidad", (p. 45); lo que permite la posibilidad de comprender las estructuras de conocimiento abordadas desde la Mecánica Cuántica en la descripción de fenómenos físicos.

Ahora de acuerdo con Bombal (1999) "...la Mecánica Cuántica trata de describir con precisión los acontecimientos en la escala atómica y su desarrollo ha dependido en gran medida de la exactitud de los resultados numéricos obtenidos en las observaciones de los fenómenos del microcosmos", (p. 2), lo que ha sido implementado desde la formalización del fenómeno a través de algoritmos numéricos.

La teoría de la Mecánica Cuántica realiza descripciones sobre los sucesos a nivel atómico y su desarrollo a partir de las estructuras de la formalización matemática de los diferentes fenómenos microscópicos, según Bombal (1999).

Las discrepancias con la Física clásica que se fueron poniendo de manifiesto eran esencialmente de dos tipos. Por un lado, se descubrió que ciertas variables físicas solo tomaban valores discretos o cuantizados, en contraste con la variación continua de valores que se desprendía de la interpretación clásica.

La cuantización de las variables físicas conlleva aceptar que, a nivel microcósmico, los fenómenos tienen lugar de manera esencialmente discontinua e imprevisible.

Las implicaciones de este hecho iban a tambalear las ideas previas sobre la realidad física (p. 2);

Desde esta perspectiva, la propuesta realizada por la Mecánica Cuántica destaca la posibilidad de estudiar el mundo microscópico de los diferentes fenómenos naturales a través de la realidad contextualizada.

En este sentido la consolidación de la teoría de la Mecánica Cuántica avanza a través de una serie de procesos de formalización matemática, destacados en la explicación de los diferentes fenómenos de la naturaleza; de acuerdo con Bombal (1999) "...comenzaron a surgir discrepancias con las predicciones proporcionadas por la Física Clásica, que motivaron una profunda revisión de sus fundamentos", (p.2); lo que implica la necesidad de involucrar una teoría consistente en el análisis físico de los fenómenos naturales.

Uno de sus mayores exponentes es Dirac (1928) quien establece una serie de interpretaciones desde el sentido matemático al estudio de los fenómenos de la Mecánica Cuántica, unificando desde el sentido estricto de la formalización matemática las formulaciones de la mecánica ondulatoria y la mecánica de matrices. Desde el punto de vista de la conceptualización del fenómeno y los observables, se caracterizan por poseer toda la información del sistema físico denominado *estado*, de acuerdo con Gratton (2003) "Todos estos hechos, de los que, conceptualmente, el más importante es la separación entre estado y observable, se encuentran ya en la obra de Dirac y desde entonces se han incorporado a cualquier formulación aceptada de la Mecánica Cuántica" (p. 21). En

este contexto, las reflexiones presentadas por Dirac proporcionan los esquemas de conocimiento adecuados a la observación de los fenómenos y su caracterización desde la formalización y acercamiento a los fenómenos estudiados.

Por otro lado, Feynman (1962) afirma que la Mecánica Cuántica describe el comportamiento de las partículas a pequeña escala, escala atómica, la cual evidencia que “Las cosas a una escala muy pequeña no se comportan como nada de lo que ustedes tengan experiencia directa” (p. 131), mostrando una de las consideraciones más importantes de los postulados de la Mecánica Cuántica. En este sentido presenta una descripción de la naturaleza y las consideraciones de la ciencia, en el desarrollo de las estructuras de conocimiento que permiten identificar los escenarios en donde la observación de los fenómenos posibilita la comprensión de los mismos.

En síntesis, los procesos de acercamiento al conocimiento en Mecánica Cuántica marcan una ruta de conocimiento identificada por los aportes teóricos y los esquemas descriptivos de los fenómenos que suceden en la Naturaleza generando estructuras de saber. En este sentido, la divulgación del conocimiento trabajado por la Mecánica Cuántica posibilita un mayor bagaje cultural y de pensamiento de las personas, de acuerdo con Gribbin (1984) “la teoría cuántica representa la conquista más grande de la ciencia, mucho más significativa y directa desde el punto de vista práctico” (p. XIII).

1.4 ¿CUÁL ES EL PROBLEMA EN EL ACERCAMIENTO AL CONOCIMIENTO DE LOS FENÓMENOS EN MECÁNICA CUÁNTICA?

Los enfoques de conocimiento en Mecánica Cuántica se encuentran ubicados en la formalización de las teorías físicas desde la perspectiva planteada por Galileo, quién considera que se puede reducir la naturaleza a términos puramente cuantitativos conmensurables con la matemática, la cual se constituye en un referente para los procesos de construcción de explicaciones en ciencias físicas, lo que Gibbons y otros (1997) han denominado como una de las características del modo 1 de producción de conocimiento.

De esta manera, el propósito de este trabajo es buscar alternativas para transitar hacia otras formas de conocer el abordaje del fenómeno, de acuerdo con Gibbons y otros (1997), la cual identifican como uno de los aspectos que identifican al Modo 2 de Producción de Conocimiento. Esto implica abordar el conocimiento de los fenómenos físicos a partir de los contextos que proporcionan mecanismos de comprensión favoreciendo así la educación en ciencias.

En este sentido, el abordaje actual de los fenómenos de la Mecánica Cuántica se evidencia como una situación problemática, ya que la comprensión de los fenómenos estudiados ha estado permeada por las consideraciones teóricas desde los formalismos dejando de lado la estructura de conocimiento que se puede encontrar en la observación de los fenómenos.

Un ejemplo claro, es el significado físico de “medición” que en el desarrollo de la Mecánica Cuántica ha generado controversia ya que involucra la noción de “estado” que se identifica propiamente con el desarrollo de la comprensión de la dualidad onda – partícula, de acuerdo con Gratton (2003) “...es que en general es imposible por razones de principio, efectuar una medición sobre un sistema sin perturbarlo. Pero los detalles de la naturaleza de esta perturbación, y el punto exacto en que ella ocurre son asuntos aún oscuros y controvertidos” (p. 1), lo que

identifica uno de los problemas fundamentales de la Mecánica Cuántica y sus abordajes teóricos.

Al respecto, Levy-Leblond (1990), por su parte reafirma la posición de “interpretación de un fenómeno” mostrando que la producción de conocimiento en física cumple dos funciones: una cultural y otra ciudadana, lo que permite establecer los acercamientos de la física a la explicación de los fenómenos haciendo comprender a los estudiantes, lo que realmente es ciencia y los recursos epistemológicos que se pueden evidenciar en un proceso de conocimiento. De tal modo, la producción de conocimiento ha sido protagonista de una serie de formulaciones y tratamientos teóricos, que ha hecho parte de los esquemas de trabajo desde la disciplina, en donde, el acercamiento al fenómeno físico ha privilegiado el abordaje desde lo disciplinar.

En este contexto, el abordaje que ha sido planteado para los fenómenos naturales explicados por la Mecánica Cuántica, se han posicionado desde las complejas teorías entendidas por algunos, hasta la utilización de los fenómenos físicos como el fundamento de cualquier tipo de explicación de la realidad. La generación de conocimiento en Mecánica Cuántica, en torno a la comprensión de los fenómenos se ha configurado como un problema de acercamiento al conocimiento, estudiado por algunos teóricos desde el formalismo, pero dejando de lado las descripciones de la realidad para la comprensión integral de los esquemas de conocimiento de los fenómenos.

De este modo, la producción de conocimiento debe procurar procesos de generación de nuevas ideas en donde se encuentre la transición entre el modo 1 al modo 2 que proporcionan cambios e innovaciones en el desarrollo de las disciplinas y las diferentes formas de acercamiento al hecho de conocer.

Uno de los enfoques que permite esta exploración se encuentra propuesto en la producción de conocimiento trabajada por Gibbons y otros (1997), la cual

debe procurar por procesos de generación de nuevas ideas en donde se presenta la transición entre el modo 1, que hace referencia al abordaje de los conocimientos básicos de todas las disciplinas, al modo 2 que proporciona cambios e innovaciones en el desarrollo de las mismas a través de las diferentes formas de acercamiento al hecho de conocer el contexto. De acuerdo con Gibbons y otros (1997),

El nuevo modo de producción de conocimiento supone la existencia de diferentes mecanismos de generar conocimiento y de comunicarlo, más actores procedentes de disciplinas diferentes y con historiales distintos, pero, por encima de todo, lugares diferentes donde se produce el conocimiento (p. 2);

Así en palabras de Gibbons, la existencia de diferentes mecanismos de generación de conocimiento a partir de diversos contextos permitiría pensar una disciplina como la física en otros escenarios de conocimiento.

El desarrollo de este enfoque permitirá establecer una ruta de conocimiento que proporcione una serie de conocimientos validos dentro de un contexto moderno, los cuales establezcan las diferentes de acercamiento al conocimiento apreciables en la construcción de un concepto dentro de una disciplina de ciencias como es el caso de la Mecánica Cuántica.

Por lo tanto, Gibbons y otros (1997), proponen la necesidad de plantear una teoría consistente a partir de cambios desde el aspecto científico así como el fenomenológico, de este modo, el proceso de adquisición de conocimiento debe sobrepasar las fronteras de la disciplina y permitir el desarrollo de un conocimiento renovado y fundamentado en una perspectiva crítica para la solución de situaciones problemáticas, las cuales conducen a una serie de investigaciones con resultados probados en contexto.

Gráficamente, los modos de producción de conocimiento se pueden representar a través de un esquema conceptual que permite destacar los

elementos primordiales de la estructura de un fenómeno físico, en donde se destacan las estructuras desde la disciplina y lo conceptual.

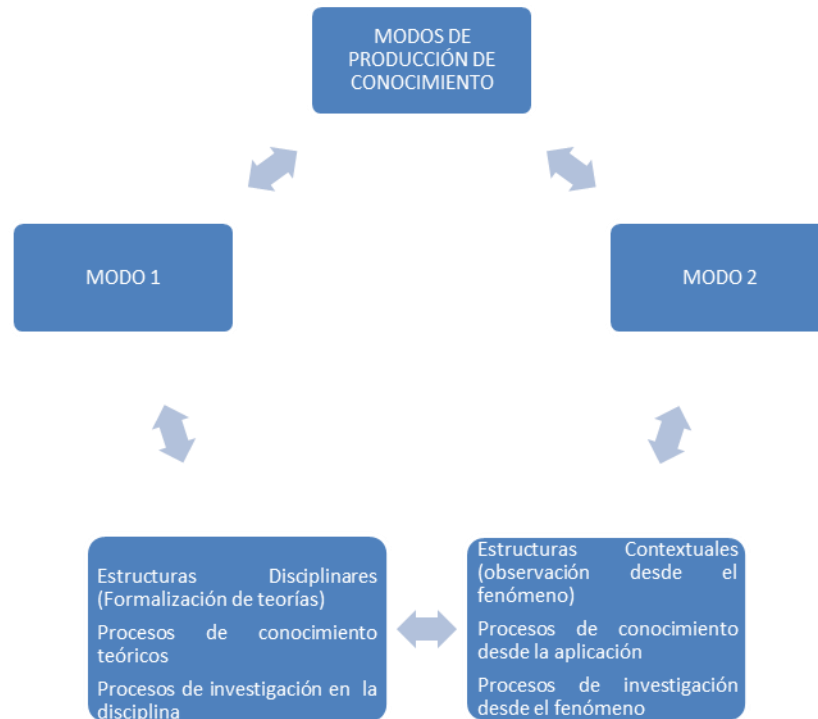


Fig. 1 Modos de producción de conocimiento. Fuente: Elaboración propia

En este sentido, las relaciones presentadas en las explicaciones físicas desde el modo 1 de producción de conocimiento se ubican en la modelación y la formalización matemática de los fenómenos de carácter pragmático, perdiendo de vista la construcción del significado físico de la teoría representada en el fenómeno estudiado. Mientras que, el modo 2 de producción de conocimiento posibilita la contextualización del fenómeno en la realidad, el cual permite la interacción entre los hechos y las observaciones que proporcionan esquemas de interpretación del fenómeno estudiado considerando la formalización de un campo fenoménico que dé respuesta a diferentes interrogantes.

En este acercamiento al modo de conocer en física, se puede notar que la Mecánica Cuántica desde sus inicios se ha planteado bajo el formalismo matemático, ya que cada problema propuesto se debía resolver partiendo del

modo 1 de producción de conocimiento, en donde prevalece la estructura de la formalización matemática, no considerando la interpretación del fenómeno que ofrece el modo 2 de producción de conocimiento.

De este modo, se puede evidenciar que los procesos de acceso al conocimiento en la Mecánica Cuántica, y en particular en el análisis de fenómenos como la dualidad onda – partícula se encuentran revestidos de los esquemas ofrecidos por el modo 1 de producción de conocimiento, el cual de acuerdo con Gibbons y otros (1997) se especializa en un esquema tradicional de conceptualización, donde es protagonista la formalización y el análisis de los contenidos desde los aspectos del algoritmo matemático.

Un acercamiento a la interpretación del fenómeno en la Mecánica Cuántica desde el modo 2 de producción de conocimiento se puede referir cuando se analiza el comportamiento de una partícula que toma el nombre de “cuanto”, explicándose cómo la probabilidad de una partícula de encontrarse en un estado u otro, dependiendo de la explicación generada por el principio de incertidumbre de Heisenberg. De acuerdo con Gribbin (1984) “Lo que la Mecánica Cuántica dice es que nada es real y que no podemos decir nada sobre lo que las cosas están haciendo cuando no las estamos observando” (p. XIV), esto permite entender una nueva forma de valorar la realidad que trasciende a los objetos.

Este acercamiento teórico proporciona los elementos necesarios para relacionar el modo 2 de producción de conocimiento con las explicaciones que desde el principio de incertidumbre de Heisenberg se pueden encontrar para el fenómeno de la dualidad onda – partícula, ya que desde la consideración de la noción de estado se puede generar una interrelación con la realidad observada del fenómeno.

Ahora bien, desde el punto de vista de la configuración de una teoría el enfoque de producción de conocimiento es un aspecto primordial de trabajo que

permite proponer una serie de relaciones de conocimiento, de acuerdo con Gibbons y otros (1997), "...se caracteriza por la formulación explícita de una terminología uniforme, que trasciende la disciplina..." (p. 8); esto implica que la producción de conocimiento se contextualiza en el estudio de los fenómenos y no en los esquemas teóricos tradicionales.

En este contexto, pensar en un acercamiento al estudio de la Mecánica Cuántica a través de un enfoque de producción de conocimiento que permite problematizar sobre el cambio de postura de saber; muestra la oportunidad de consolidar un esquema, que permita lograr una mejor comprensión sobre los desarrollos de los conocimientos en Mecánica Cuántica.

Por lo tanto, el problema de investigación de la tesis doctoral se encuentra centrado en la formulación de aportes al conocimiento que involucren el acercamiento al contexto de uno de los fenómenos de la Mecánica Cuántica la dualidad onda – partícula desde los modos de producción de conocimiento, en donde se puede reconocer la necesidad de plantear esquemas de conocimiento para los docentes y los estudiantes de cursos de formación en física aplicada, que trabajen los contextos de la disciplina desde un modo renovado, el cual se interese por la construcción de la explicación de los fenómenos que suceden en la naturaleza y no solamente por la formalización matemática del fenómeno que continúa trabajando con estructuras de conocimiento clásico.

En este sentido, el problema de investigación de la tesis doctoral plantea desde la potencialidad del modo 2 de producción de conocimiento, de acuerdo con Gibbons y otros (1997) reconociendo que partir de la comprensión de los fenómenos en su interior, y contextualizando los eventos que ocurren permite no sólo escenarios de conocimiento sino construcción de realidades en la búsqueda de explicaciones de la naturaleza, en este caso específico el fenómeno onda partícula de la Mecánica Cuántica.

Reconociendo esta necesidad se plantea la siguiente pregunta ¿Cuál es el aporte de conocimiento que se desea proponer en torno al análisis del fenómeno de la dualidad onda - partícula desde la producción de conocimiento que atienda necesidades del contexto?; este cuestionamiento permite reflexionar sobre el abordaje de los fenómenos fundamentados en la manera de asumir la producción de conocimiento, y cómo éstos permiten dan un giro a las dinámicas de investigación que apunten a los nuevos retos de la educación globalizada del siglo XXI.

En este esquema de trabajo cobra gran importancia el interés filosófico que ha surgido en el estudio de la Mecánica Cuántica, así como el debate que se ha dado a partir del realismo como eje central del proceso de explicación de los fenómenos, ya que se presenta una tensión entre el papel de las estructuras matemáticas y la comprensión de los fenómenos, al igual que la representación y el significado de los conceptos que subyacen cuando se relacionan los esquemas matemáticos con los fenomenológicos.

Rivadulla (2002) afirma que "...científicos y filósofos hemos adquirido la responsabilidad de un mejor conocimiento mutuo y de una decida colaboración, a fin de transmitir a las generaciones nuevas la imagen objetiva de las posibilidades y límites del conocimiento humano" (p. 12); lo que permite reconocer que la producción de conocimiento en el análisis de un fenómeno es la interrelación de la comprensión del fenómeno y sus posibilidades de integración con los esquemas de conocimiento.

Para este desarrollo se han planteado preguntas contextualizadoras como ¿Cuál es la relación entre el modo 1 y el modo 2 en la producción de conocimiento al abordar fenómenos naturales? y ¿Cómo se pueden evidenciar escenarios de conocimiento abordados desde el modo 2 de producción de conocimiento?; estas preguntas permiten reconocer la importancia de un análisis fenomenológico de la Mecánica Cuántica en donde se establezcan relaciones de construcción de

saberes que procuren por una nueva forma de producción del conocimiento y análisis del fenómeno contemplado.

Desde esta perspectiva se puede representar el problema de investigación en la figura 2, la cual proporciona la propuesta de la tesis doctoral.

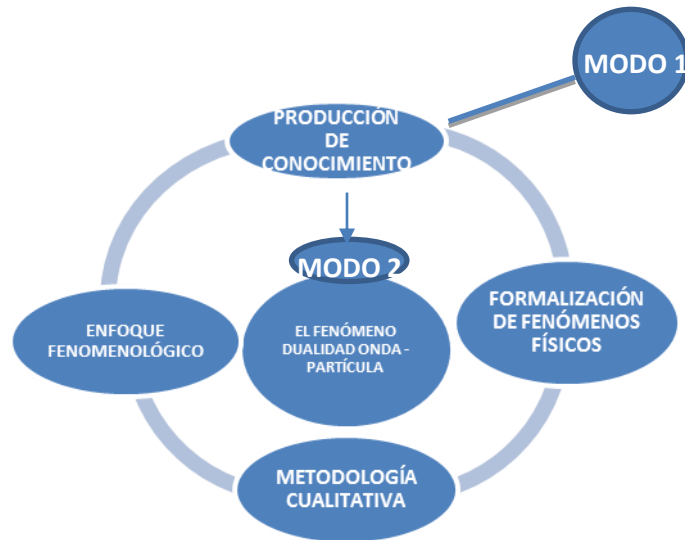


Fig. 2 Descripción del problema de investigación. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la descripción gráfica presentada, el problema de investigación que se propone en la tesis doctoral configura un escenario de producción de conocimiento al identificar el análisis de un fenómeno físico desde una estructura fenomenológica, la cual provee elementos de interpretación de la realidad en la búsqueda de explicaciones y conceptualizaciones que permiten caracterizar el entorno físico del fenómeno estudiado y la construcción de explicaciones a partir de la organización de las experiencias.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer nuevas maneras de abordar los fenómenos físicos desde una perspectiva epistémica que atienda necesidades de contexto en la producción de conocimiento a través de la formulación de estrategias de comprensión del fenómeno de dualidad onda – partícula.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Revisar los fundamentos teóricos de la transición epistemológica del modo 1 de producción de conocimiento al modo 2 a través del análisis de fenómeno de la dualidad onda – partícula.
2. Identificar los esquemas de producción de conocimiento de los estudiantes frente a la dualidad onda - partícula desde el modo 2 de producción de conocimiento.
3. Construir estrategias de comprensión del fenómeno dualidad onda – partícula desde el modo 2 de producción de conocimiento desde la Educación en Ciencias.

2 APORTES DESDE EL CONOCIMIENTO DE LA MECÁNICA CUÁNTICA AL DESARROLLO DEL FENÓMENO DUALIDAD ONDA – PARTÍCULA

El capítulo 2 realiza el abordaje desde el objeto de conocimiento de la Mecánica Cuántica revisando el fenómeno dualidad onda - partícula a través de los aportes de los diferentes libros de texto, investigaciones doctorales y libros de divulgación popular que permiten demostrar cómo ha sido la estructura de los procesos de conocer a partir de las relaciones establecidas entre los desarrollos de la Mecánica Cuántica. Inicialmente, se presentan los aportes a la Mecánica Cuántica desde los libros de texto de la disciplina, los cuales enmarcan una serie de perspectivas teóricas que fundamentan los aportes que desde la formalización de los procesos de conocimiento se pueden encontrar en el estudio de una disciplina.

De igual manera, se plantean los aportes desde las investigaciones realizadas sobre el objeto de conocimiento a través de los planteamientos de Fanaro (2009), quien realizó una investigación sobre el acercamiento a la Mecánica Cuántica en general, a través de los desarrollos matemáticos propuestos en la utilización de la integral de caminos de Feynman. Por otro lado, Greca y Herscovitz (2002) proponen una investigación en la cual se analizan los procesos de acercamiento al conocimiento en Mecánica Cuántica a través de la observación y modelización del fenómeno analizado.

Otro apartado hace referencia a los aportes de los libros de divulgación popular a través de los planteamientos de Blaschke (2013) quien realiza una serie de afirmaciones sobre los desarrollos y acercamientos teóricos de la Mecánica Cuántica, por medio de un lenguaje comprensible para todo tipo de público.

Por último, se aborda el proceso de conocimiento del fenómeno desde la perspectiva de la educación en ciencias, a través de los planteamientos de

Ramírez (2000) quien afirma que los procesos de conocimiento se consolidan a través de las estructuras presentadas en las teorías y al mismo tiempo Gutiérrez y Correa (2008) proponen que los acercamientos al conocimiento se deben realizar a través de la modelización del fenómeno, lo que se fundamenta con la propuesta de Eder y Adúriz (2002) sobre el acercamiento al conocimiento desde los fundamentos de la educación en ciencias.

2.1 APORTES AL CONOCIMIENTO EN LA MECÁNICA CUÁNTICA

El estado del arte que se presenta a continuación se encuentra trabajado desde la recopilación documental de libros de Mecánica Cuántica, tesis doctorales, artículos científicos y libros de divulgación científica, que en los últimos años han abordado el tema de la producción de conocimiento en la Mecánica Cuántica.

Las investigaciones sobre el acercamiento al conocimiento en Mecánica Cuántica que se referencian en este trabajo son: (Birtwistle, 1928; Kragh, 1997; Fanaro, 2009; Greca y Herscovitz, 2002; Blaschke, 2013; Cataloglu y Robinett, 2001; Castrillón, Freire y Rodríguez, 2014; Segura y Nieto, 2012; Müller y Wiesner, 2002; Olsen, 2002; Carmona, 2009; Ostermann y Moreira, 2000, entre otras). Estos documentos han permitido establecer que existen dificultades de interpretación de la teoría cuántica, porque se destacan los desarrollos desde el aspecto matemático, en el cual se hace referencia a los contextos matemáticos y a las explicaciones que a partir de estas estructuras se realizan de los fenómenos y al mismo tiempo, desde un punto de vista didáctico la situación es similar, dado que tradicionalmente los fenómenos físicos en la Mecánica Cuántica se han abordado a partir de los contextos teóricos presentados en la formalización propuesta por las construcciones matemáticas.

En este sentido, el estado del arte proporciona un esquema de trabajo, pertinente para una disciplina como es el caso de la Mecánica Cuántica, en donde los desarrollos teóricos de los esquemas científicos se encuentran en espacios disciplinares que se asemejan a los planteamientos del modo 1 de producción de conocimiento.

Desde el aspecto histórico se referencia el libro “The New Quantum Mechanics”, en donde Birtwistle (1928), expone un detallado examen de las principales contribuciones a la mecánica de matrices y ondulatoria, por medio del estudio de la teoría de ondas de materia propuesta por De Broglie en 1923 y el principio de complementariedad de Bohr, trabajado desde la interpretación de Copenhague.

Birtwistle construye un texto que utiliza la teoría cuántica del átomo como una ventana abierta a los procesos de enseñanza de la física, usando la estrategia de cuantización en el conocimiento del descubrimiento del electrón, pero teniendo como condición para el tratamiento de los aprendizajes todas las estructuras matemáticas posibles, confirmando que el estudio de la Mecánica Cuántica solo puede ser para una población determinada.

El libro más influyente de Mecánica Cuántica fue “The Principles of Quantum Mechanics”, en el cual Dirac (1930), describe elementos de formalización matemática, permitiendo iniciar los estudios cuánticos a un grupo muy selecto de físicos teóricos de la época, ya que las formulaciones presentadas tenían un nivel de complejidad matemática.

Dirac (1930) propone un formalismo matemático que permite entender las necesidades de construir una teoría consistente y coherente, desarrollando una serie de elementos teóricos, los cuales proporcionan las bases conceptuales del análisis de fenómenos como la radiación de cuerpo negro y la función de onda,

desde la perspectiva matemática y la solución de diferentes problemas que solo pueden ser entendidos con un proceso matemático avanzado.

En los primeros libros de texto se refleja un acercamiento al abordaje de la Mecánica Cuántica desde el tratamiento matemático y el análisis del fenómeno se aborda de manera aislada; y la enseñanza se propone a través de la repetición de ejemplos, la solución de problemas específicos y los métodos matemáticos para la comprensión del fenómeno cuántico.

Según Kragh (1997), “los libros de texto de este período por lo general se fundamentan en una base mecánica y no reflejaban el cambio de la cosmovisión que se discutía en la física teórica puntera” (p.129), lo cual implica que la enseñanza de la Mecánica Cuántica estaba centrada en las posturas de la mecánica clásica y la traducción de sus representaciones algorítmicas al contexto atómico.

Levy-Leblond (1990), en su texto realiza una descripción del estudio de la física cuántica a partir de las consideraciones de fenómenos como el efecto fotoeléctrico, la radiación de átomos y el estado de onda - partícula, a partir del análisis de nuevos aspectos sobre el estudio de fenómenos físicos que la mecánica clásica no podía explicar, como las trayectorias entre partículas, la velocidad instantánea y la fuerza; aunque para este planteamiento llamado Mecánica Cuántica, las bases dadas por la mecánica newtoniana permiten validar las explicaciones en cuanto a la producción de conocimiento realizada en la transición de un programa de investigación clásico al moderno.

En ese orden ideas, el enfoque presentado por Levy-Leblond (1990) propone un cambio en el abordaje de la teoría direccionado por un cambio epistemológico que involucre al sentido verdadero de la disciplina, y no se quede únicamente en el desarrollo de contenidos especializados, sino que trascienda al objeto del conocimiento de las teorías y sus procesos de evolución.

En efecto, el esquema que se puede plantear en torno a la producción de conocimiento en la Mecánica Cuántica debe estar orientado hacia la explicación de lo fenomenológico, permitiendo visualizar acercamientos al modo 2 de producción de conocimiento desde el análisis de la teoría en sí misma, es decir, partiendo del fenómeno se construyen las explicaciones del contexto.

En este marco de referencia, el formalismo matemático de la Mecánica Cuántica aportado, se entendería como parte de la estructura de trabajo de la disciplina, es decir, no se puede desconocer su existencia y la validez que presenta en la solución de problemas de tipo numérico, pero no es el único camino para comprender los procesos de construcción de conocimiento de los fenómenos estudiados por la Mecánica Cuántica.

En esta perspectiva, es importante tener en cuenta que el escenario de trabajo en la producción de conocimiento en la Mecánica Cuántica se ha ligado al escenario de modo 1 de producción de conocimiento, mientras que el modo 2 de producción de conocimiento se ha intentado incorporar a las explicaciones, pero tan solo se ha logrado proponer como parte de las aclaraciones de las ecuaciones en los contextos científicos y en los contextos de divulgación popular se ha incluido como parte de las explicaciones de los fenómenos descritos.

2.2 APORTES EN LA PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO EN MECÁNICA CUÁNTICA

Desde el punto de vista de las investigaciones que se han detenido a preguntarse por los procesos de enseñanza y aprendizaje de la Mecánica Cuántica en diferentes entornos, Fanaro (2009), en su tesis doctoral propone a través de una estructura teórica brindada por el enfoque de enseñanza de la Mecánica Cuántica de Feynmann “Path Integrals” o “Caminos Múltiples”, que describe por medio de la probabilidad las posibles funciones posición - tiempo de los electrones usando la técnica del experimento de la doble rendija (EDR); este desarrollo en su tesis doctoral le permitió escoger la teoría del electrón libre, que puede ser tratada desde la EDR y presentar la modelización de las curvas de las probabilidades con el fin de explicar el patrón de interferencias.

En el aspecto didáctico, Fanaro (2009), se inclinó por una modelación en el software *Modellus* para estudiar las trayectorias de los electrones y sus posibles posiciones, se realizó un análisis didáctico a priori, con el fin de buscar las posibles interpretaciones de los estudiantes y el profesor que orientó la experiencia; también, presentó la revisión de la Teoría de Campos Conceptuales de Vergnaud; el Aprendizaje Significativo de Novak, el Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira y los conceptos de emociones y lenguaje de Maturana, como parte del esquema pedagógico en el desarrollo de la tesis doctoral.

Dentro de los aportes de la investigación, Fanaro (2009) muestra una propuesta didáctica para estudiantes de educación media de un Colegio de Tandil (Argentina) para enseñar los principios básicos de la Mecánica Cuántica; este producto se implementó en un curso de física de último grado de educación media, con la propuesta metodológica de la teoría de Campos Conceptuales que se define como un conjunto de situaciones problematizadoras las cuales se entrelazan y generan procesos de conocimiento. De la aplicación de dicha teoría se logró un estudio sobre la formulación de conceptos de los aspectos físicos

trabajados en la modelación del software; de la misma manera, se trabajó la parte afectiva en la aplicación de una forma diferente de trabajo en el aula de clase.

Los aportes al conocimiento señalados por Fanaro (2009) se encuentran plasmados en el desarrollo de una tesis doctoral que mostrará cómo introducir los esquemas de conocimiento de la Mecánica Cuántica en la escuela secundaria a partir de procesos de modelización, facilitando el abordaje de las estructuras de formalización teórica y los resultados obtenidos permiten visualizar la posibilidad de trabajo con este tipo de temas en la enseñanza a nivel escolar.

En el artículo de resultados de investigación, Greca y Herscovitz (2002), proponen la Mecánica Cuántica como una revolución cognitiva que ha influido en el pensamiento humano, por lo que se hizo imprescindible proponer una investigación que mostrara las ideas de los estudiantes universitarios de un curso de física moderna de las carreras de Ingeniería y Ciencias, cuando se preguntan por conceptos como la probabilidad de los estados de posición y cantidad de movimiento de un electrón, la dualidad onda – partícula.

A lo largo de su investigación, se muestra que, en el inicio de un curso sobre física cuántica, se proporciona un panorama histórico con el objetivo de que los estudiantes reconozcan las posibles conexiones entre los fenómenos y los fundamentos teóricos ya que se construyen representaciones que permiten comprender conceptos concretos y abstractos.

Para los estudiantes, esta forma de propiciar explicaciones favorece la comprensión de los conceptos a partir de la observación fenomenológica, resaltando las características clásicas con el fin de que los estudiantes establezcan relaciones teóricas y prácticas, que los conduzcan a intentos de aproximación a los conceptos cuánticos.

Por lo tanto, el objetivo planteado por la investigación de Greca y Herscovitz (2002), es dar elementos teóricos atravesando la frontera de la matematización del fenómeno, que puede, muchas veces, restringir el sentido de la observación y se queda con una imagen del mundo físico parcializado, lo cual indica que la observación de los fenómenos se debe dar desde lo fenomenológico, destacando los procesos visuales y la conceptualización de los estudiantes.

Desde este punto de vista, Greca y Herscovitz (2002) muestran una estrategia denominada fenomenológico – conceptual que favorece la creación de una nueva percepción, en donde se propone un estudio de la esencia del fenómeno observado.

Por esta razón, en su propuesta de intervención es importante la interacción establecida entre el profesor y los estudiantes, en este sentido Greca y Herscovitz (2002) afirman “*Como muchas veces las situaciones son descritas por conceptos, para comprender un concepto es también necesario que seamos capaces de construir modelos mentales del mismo, siendo esto válido tanto para los conceptos concretos como para los abstractos*”, (p.329), lo que determina en su investigación los fundamentos teóricos y experienciales y dicha interacción muestra en los estudiantes una modificación de sus modelos mentales, facilitando la adquisición de nuevos conceptos como se refleja en los resultados que presentan en el artículo de investigación.

En su propuesta aplican un test de asociación de conceptos y problemas que les permita caracterizar los núcleos de los modelos mentales utilizados por los estudiantes participes de la investigación, en donde se incluyen los conceptos de superposición de estados, principio de incertidumbre, dualidad onda – partícula, entre otros; para su análisis se utilizó la metodología cualitativa por medio de cuatro categorías que clasificaban a cada estudiante; una primera categoría ubicó a los estudiantes por medio de la descripción de los fenómenos cuánticos de forma general con explicaciones satisfactorias para las preguntas dadas.

En la segunda categoría se ubicó a los estudiantes que comprenden las implicaciones de la dualidad onda – partícula, pero no explican claramente la superposición lineal de estados, esto conduce a que no existe un concepto claro de probabilidad; en la tercera categoría los estudiantes identifican los fenómenos cuánticos pero a partir de los conceptos mecánicos clásicos, lo que muestra que hay una explicación deficiente y distorsionada de los conceptos cuánticos ; en la cuarta categoría se ubican los estudiantes que no lograron entender ningún concepto cuántico, así tuvieran la posibilidad de asociar los conceptos clásicos, lo que evidencia líneas de argumentación muy débiles en términos de análisis fenomenológico.

De este modo, la investigación de Greca y Herscovitz (2002) aporta que la enseñanza tradicional de conceptos de física moderna no alcanza buenos resultados en el aprendizaje de los estudiantes, ya que se construyen modelos mentales modernos con estructuras clásicas de pensamiento, afirmando que “... Aunque seguramente una formación más completa de los profesores sea un elemento fundamental para introducir los conceptos cuánticos en la realidad de la escuela brasileña, cómo hacerlo exige más estudio” (p. 336).

En este sentido, la investigación planteada por Greca y Herscovitz (2002) es un aporte a la construcción de la tesis doctoral, ya que permite identificar escenarios de conocimiento desde la reflexión de la Mecánica Cuántica y sus esquemas de acercamiento al conocimiento, aspecto fundamental desarrollado en la tesis a través del trabajo con los modos de producción de conocimiento y sus interrelaciones en los procesos de abordaje de fenómenos físicos.

Con referencia a los libros de divulgación científica, se destaca Blaschke (2013), en su texto “Los gatos sueñan con física cuántica y los perros con universos paralelos”, desde un punto de vista disciplinar afirma que “La Mecánica Cuántica demuestra que todo está conectado con todo, y que estas conexiones existen en un estado de vigilia, por lo que las potencialidades de la mente en ese

estado, aumentan notablemente” (p. 53); lo anterior proporciona un elemento de validez fundamental para la producción de un nuevo conocimiento, en donde es importante combinar los enfoques sistémicos con la construcción de ideas sobre el funcionamiento del Universo. Desde el modo 2 de producción de conocimiento se debe partir del análisis del fenómeno, para dar a conocer los fundamentos teóricos esenciales en la explicación de fenómenos presentes en la cotidianidad de los aprendizajes de física en la escuela y a esto contribuye este libro. Para Blaschke (2013), el paradigma cuántico se puede entender por medio de la dualidad onda – partícula que proporciona un conocimiento real del comportamiento de la luz, el cual establece la posibilidad de entender la probabilidad de los estados de las partículas y sus cambios apreciables.

En este punto, es importante reconocer que en la construcción de un contexto como es el caso de la Mecánica Cuántica, se ha utilizado una serie de paradojas que permiten explicar la ocurrencia de fenómenos; de forma muy similar en la Mecánica Clásica se buscaban explicaciones para los fenómenos desde las comparaciones teóricas entre diferentes elementos, que en su momento fueron esenciales para el conocimiento del Universo.

Adicionalmente, es importante, resaltar que el aporte de los libros de divulgación además de ser escritos por investigadores de renombre, posibilita la explicación de temas complejos haciendo uso de las metáforas y analogías escritas en un lenguaje que permite que un público no lego entienda y disfrute las temáticas de las disciplinas científicas, aportando así a la construcción de nuevos referentes para la comprensión de los fenómenos, la cual es una de las características del Modo 2 de Producción de conocimiento.

Los escenarios de conocimiento planteados en los libros de divulgación proporcionan un esquema de conocimiento en Mecánica Cuántica, según Sánchez (2001) “la física cuántica constituye un apartado fundamental de la ciencia porque su importancia trasciende el mundo del conocimiento fundamental”, (p. 10); que se

puede observar en las descripciones que se encuentran en los libros de divulgación ya que detallan de una forma muy clara los contextos y los esquemas de conocimiento.

2.3 EL ENFOQUE DE LA MECÁNICA CUÁNTICA Y LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS

La educación en ciencias establece elementos de estudio de la comprensión científica, partiendo de la observación de los fenómenos, la formalización de los procesos de conocimiento y los desarrollos que han permitido generar conceptualizaciones importantes en los esquemas de conocimiento de las diferentes disciplinas científicas. Según Ramírez y González (2000), un fenómeno físico se organiza a partir de estructuras conceptuales construidas por cadenas de pensamientos complejizadas y organizadas de acuerdo con sus relaciones y elementos centrales; por esta razón, es evidente plantear un cambio de programa de investigación que posibilite una nueva imagen de ciencia y estrategias de comprensión.

Según Harlen (2007), al explicar el efecto de una teoría, se puede afirmar que un principio y una teoría, se relacionan con generalizaciones que permiten describir las características, los conceptos y la construcción de ideas que surgen a partir de las observaciones de un fenómeno, teniendo en cuenta, las estructuras de conocimiento que posibilitan el acercamiento a los escenarios de construcción de saberes.

Rivadulla (2004) en relación con los límites entre las teorías físicas considera que existe un debate desde los científicos y filósofos sobre si esta es posible o no. Encabezados por Einstein, los que apoyan que una teoría avanza cuando señala el camino para una teoría más amplia, así la Mecánica Newtoniana se constituye en un caso límite de la teoría de la relatividad, esta propuesta es apoyada por Popper quién considera que el desarrollo científico se da porque una

teoría se constituye desde el punto de vista matemático un caso límite de la otra. Por otra parte, Kuhn expresa su distanciamiento frente a esta postura, considerando que las expresiones matemáticas de una teoría aunque se asemejen, estas tienen una carga conceptual y epistemológica diferente, de tal manera que no es posible considerar una teoría como un caso límite de la otra.

Ahora bien, para iniciar el análisis desde la Educación en Ciencias, se parte del artículo de Eder y Adúriz (2001), quienes establecen la posibilidad de encontrar una relación entre los procesos de acercamiento al conocimiento en ciencias naturales, mostrando una de las reflexiones de Porlán en torno a la disciplina emergente, por medio de una reelaboración epistemológica que, aunque está vinculada a las ciencias experimentales, se ha integrado a las ciencias sociales. Desde el punto de vista de disciplina, realizan una distinción entre las disciplinas científicas, asumiéndola desde una base determinista, en donde se puede considerar un concepto de ciencia que se entiende como una serie de proyectos de investigación estructurados mediante presuposiciones aceptadas que determinan observaciones.

El objetivo del artículo de Eder y Adúriz se centró en la búsqueda de conexiones entre las ciencias sociales y las naturales, las cuales proporcionan dos posturas: método y campo, que se encuentran determinadas por las características particulares de cada una, la generación de críticas y de puntos de contacto, en donde prevalece las posiciones de cada esquema de conocimiento en cada disciplina.

Como conclusión, el artículo muestra la integración de las disciplinas científicas desde el aspecto explicativo y normativo, gracias a que el aspecto progresista desarrollado a partir de la conjunción de lo explicativo y lo normativo, se asume como un espacio de avance en la construcción de una disciplina y en la posibilidad de solucionar problemas de cualquier índole, ya sea disciplinar o tecnológico.

Para ampliar este panorama, Gutiérrez y Correa (2008) afirman que “el discurso argumentativo genera un conocimiento que más que compartido, reconoce la convergencia de diferentes estilos de pensamiento y construye nuevas formas de pensar los fenómenos físicos” (p.56); lo anterior permite identificar que en los procesos de argumentación de un fenómeno físico la organización de conceptos va ligada a las explicaciones y las formas de construcción de conceptos propios del fenómeno analizado.

Entonces, en el análisis desde los fundamentos de las teorías, una teoría en física pone en juego su producción de conocimiento, a partir de la generación de explicaciones sobre los fenómenos estudiados, estableciendo conexiones con los diferentes contextos teóricos a través del análisis de fenómenos que se podrían asemejar desde el modo 2 de producción de conocimiento, pero teniendo como base el modo 1 de producción de conocimiento.

Por lo tanto, los elementos de construcción de una teoría deben abarcar las necesidades epistémicas presentes en la formulación de conceptos, procedimientos y fundamentos que permitan generar explicaciones concretas a fenómenos observables y no observables. Al referirse a un concepto científico se crea un enlace entre lo concreto y lo abstracto que identifica al objeto idealizado, el cual introduce las magnitudes fundamentales y secundarias que describen una correspondencia entre la teoría y sus bases fundamentales de conocimiento fundamentados en procesos didácticos específicos.

Según Adúriz e Izquierdo (2002), en las ciencias naturales, los procesos de conocimiento juegan un papel primordial en la necesidad de construcción de procesos de adquisición de conocimientos, así como lo expresan, “en la enseñanza ‘tradicional’ de las ciencias naturales, hoy puesta en jaque por la ingente producción de la didáctica, resulta todavía usual encontrar lo que más arriba llamamos concepción icónica de los modelos”(p. 8), lo que significa que la

interacción entre los procesos de enseñanza y aprendizaje de una disciplina es una relación biunívoca que se describe a lo largo de las modelaciones de clase.

De acuerdo con lo anterior, la evolución en la construcción de una nueva teoría física, se fundamenta en momentos de crisis que dan origen a cambios en los programas de investigación, las cuales proporcionan una mirada holística de los fenómenos a estudiar y, además, implica una serie de modificaciones provistas de cambios apreciables en cada interacción teórica y en las reflexiones que analizan cada fenómeno.

El razonamiento científico está fundamentado en procesos de racionalidad y concordancia entre observaciones y experimentos, lo que establece una de las premisas básicas de esa ruptura entre la mecánica newtoniana y la Mecánica Cuántica, debido a que las partículas según la experimentación se comportan como ondas o corpúsculos, lo que aporta una de las generalizaciones importantes; en ese orden de ideas, el principio de complementariedad se presenta como un esquema de conocimiento que complementa las nociones de onda y partícula como eje fundamental de los presupuestos trabajados en la Mecánica Cuántica.

De acuerdo con Moreira (2003) la educación en ciencias proporciona interpretaciones del mundo y los fenómenos a partir de estructuras de conocimiento validas que permiten abordar problemas desde el análisis de los fenómenos presentes en la Naturaleza. En esta perspectiva, la Mecánica Cuántica hace parte de uno de los escenarios de conocimiento abordado por la educación en ciencias ya que provee de elementos de apropiación de los fenómenos evidenciados en las interpretaciones de los esquemas de análisis de las cuestiones teóricas identificadas en la Naturaleza.

Un ejemplo de este abordaje, es la investigación de Pantoja, Moreira y Herscovitz (2012) quienes realizan una intervención en un curso de Mecánica Cuántica con 5 estudiantes con el fin de realizar un estudio de tipo conceptual

desde la educación de las ciencias contemplando el acercamiento a los conceptos de sistema físico, variables dinámicas, estado de un sistema físico y evolución temporal. Esta investigación busco un abordaje conceptual que permitiera reconciliar las diferencias, así como las similitudes entre la Mecánica Cuántica y la Mecánica Clásica, con el propósito de mostrar una formalización desde los conceptos en lugar del énfasis de los contextos matemáticos.

La metodología empleada por los investigadores se concentró en un análisis cualitativo correlacionado con el paradigma naturalista, el cual analiza la realidad contemplando las construcciones cognitivas de cada sujeto, de acuerdo con Pantoja, Moreira y Herscovitz (2012) "...En nuestro trabajo el significado ha asumido una postura crucial y siendo un ente idiosincrásico, se asocia a la premisa de que cada persona capta esa realidad de forma individual, pero con aspectos compartidos" (p. 28); mostrando que los esquemas conceptuales parten de las relaciones establecidas con la realidad de los objetos.

Las conclusiones obtenidas en su investigación permiten evidenciar que las estructuras conceptuales proporcionan escenarios de validez de conocimiento para cada individuo, en donde es importante los procesos de reconstrucción de los esquemas epistemológicos del conocimiento que se adquiere, con el fin de dar respuesta a situaciones problema, donde los conocimientos en Mecánica Cuántica cobran validez sin necesidad de un escenario matemático para su comprensión.

En esta perspectiva, la relación que se establece entre la educación en ciencias y un esquema de conocimiento presentado por un saber cómo la Mecánica Cuántica evidencian la necesidad de contemplar el análisis de los fenómenos de la naturaleza desde la comprensión y ubicación conceptual del fenómeno propiamente dicho.

En síntesis, un acercamiento al conocimiento de un saber específico proporciona una estructura de conocimiento que provee situaciones de análisis

concreto sobre los fenómenos estudiados, de acuerdo con Heisenberg y Born citados por la Open University (1974) "...La Mecánica Cuántica conduce a resultados precisos relativos a los valores promedios pero no da información acerca de los detalles de un evento individual" (p. 51); lo cual establece que para el análisis completo de un fenómeno se debe presentar desde la formalización e interpretación no solo del contexto matemático sino desde el contexto del fenómeno en sí mismo proporcionando una comprensión de la realidad percibida de los objetos.

Realizar una propuesta desde los Modos de Producción de conocimiento aporta a la comprensión de los fenómenos físicos desde la interpretación de categorías superando las apuestas que se hacen desde los efectos, lo observable y lo medible de una cantidad física.

CAPÍTULO 3

APUESTAS TEÓRICAS EN EL DESARROLLO DEL FENÓMENO DUALIDAD ONDA – PARTÍCULA

El capítulo 3 presenta los fundamentos teóricos revisados en el desarrollo de la tesis doctoral a través de las estructuras de conocimiento empleadas en los distintos procesos de estudio y análisis de los fenómenos de la Mecánica Cuántica, en particular, el fenómeno de la dualidad onda – partícula. Inicialmente, se presentan los aportes teóricos desde el proceso de formalización de las teorías físicas a partir de los planteamientos de Ayala y otros (2008) quienes establecen que la formalización determina los escenarios reales de las formas de conocer en física, las cuales son vitales para la producción de un conocimiento.

De igual manera, se presentan los fundamentos históricos en el desarrollo de la Mecánica Cuántica a través de los planteamientos de Rivadulla (2002) quien afirma que los avances de la Mecánica Cuántica han determinado una serie de

progresos en la explicación de los diferentes fenómenos naturales; Levy-Leblond (1990) y Feynman (2000) presentan desarrollos teóricos teniendo como base el análisis del contexto donde se produce el fenómeno estudiado.

Un apartado hace referencia a los desarrollos teóricos en la comprensión del fenómeno dualidad onda – partícula, el cual es el eje central de la tesis doctoral, a través de los planteamientos de Sánchez (2001) quien presenta el fenómeno de la dualidad onda – partícula a través del estudio de la radiación del cuerpo negro y el comportamiento de la luz, como una forma de contextualizar los escenarios de conocimiento en donde se puede caracterizar este fenómeno.

Otro apartado hace referencia a las contextualizaciones desde la fenomenología aplicadas a la física y en particular a la Mecánica Cuántica a partir de los planteamientos de Husserl citado por la Stanford Encyclopedia of Philosophy (2003) en donde se asume que la fenomenología identifica la intencionalidad de los procesos de conocimiento generando esquemas de conocimiento científico que se fundamentan desde el saber de las disciplinas. Por otro lado, Sini (sf) plantea que la rigurosidad de las disciplinas científicas establece un punto de partida para la fenomenología en el análisis de la realidad de los fenómenos estudiados.

El siguiente apartado presenta los desarrollos teóricos de la educación en ciencias desde la perspectiva fenomenológica de la Mecánica Cuántica a partir de los planteamiento de Henao y Stipcich (2008) quienes exponen que la educación en ciencias provee una serie de proyecciones y necesidades desde el contexto de la producción de conocimiento, encontrando aspectos comunes con Gibbons y otros (1997) quienes también refieren la producción de conocimiento a la contextualización de los fenómenos.

Por último, se presenta un análisis de la comprensión del fenómeno dualidad onda – partícula a través de los planteamientos sobre modelos y modelización de Tuay (2011) quien asume que un modelo es un mediador entre la

teoría, los fenómenos y los datos. Por otro lado, Schwarz (2009) y Caamaño (2014) proponen que la producción de conocimiento y la comprensión de los fenómenos deben estar caracterizadas desde la contextualización de la ciencia y sus efectos en la adquisición de conocimientos en la Educación en Ciencias.

3.1 FORMALIZACIÓN DE LOS FENÓMENOS FÍSICOS EN MECÁNICA CUÁNTICA

Desde los esquemas de conocimiento de la Mecánica Cuántica se pueden evidenciar una serie de fenómenos que proporcionan una estructura científica compleja, a partir de la interpretación de la realidad como un sistema de abstracción de los observables que configuran procesos de formalización para la comprensión de los fenómenos que suceden en la Naturaleza.

Entonces, la Mecánica Cuántica se fundamenta en una serie de principios que proporcionan el esquema de producción de conocimiento a partir de los fenómenos, de acuerdo con Tegmark y Wheeler (2001) "...Uno de los retos más persistentes y fundamentales de la Mecánica Cuántica consiste en comprender el significado de las superposiciones y saber porque no las vemos nunca en el mundo que nos rodea" (p.51); lo que implica la necesidad de considerar la observación del fenómeno para entender el funcionamiento de la naturaleza y sus componentes.

En este sentido, aparecen las estructuras matemáticas de los fenómenos, las cuales proporcionan un esquema de conceptualización previo que describen las propiedades de un sistema físico desde los resultados obtenidos por las construcciones numéricas, dejando de lado la explicación del fenómeno y su caracterización previa.

De acuerdo con Clemente (2000), "...la Mecánica Cuántica es una de las grandes revoluciones intelectuales que no se limita a un mayor conocimiento de las leyes naturales", (p. 12); lo anterior, permite establecer que las relaciones conceptuales dadas en la Mecánica Cuántica no solo son un esquema de conocimiento sino un abordaje desde el contexto del fenómeno físico.

En el reconocimiento del objeto de estudio de la Mecánica Cuántica cobra una gran importancia "la realidad" como un sistema físico de abstracción de los observables, en donde el conjunto de observables no puede estudiarse desde el conocimiento físico con una vasta formalización matemática no contextualizada al fenómeno.

De tal manera, que los procesos de formalización en torno al fenómeno cobran una gran importancia, ya que determinan los procesos de interpretación de los fenómenos y sus estructuras de saber ancladas en la perspectiva de la observación de los eventos que componen el fenómeno estudiado.

Un esquema que permite reconocer el proceso de formalización e interpretación de un fenómeno, puede ser representado de la siguiente forma:

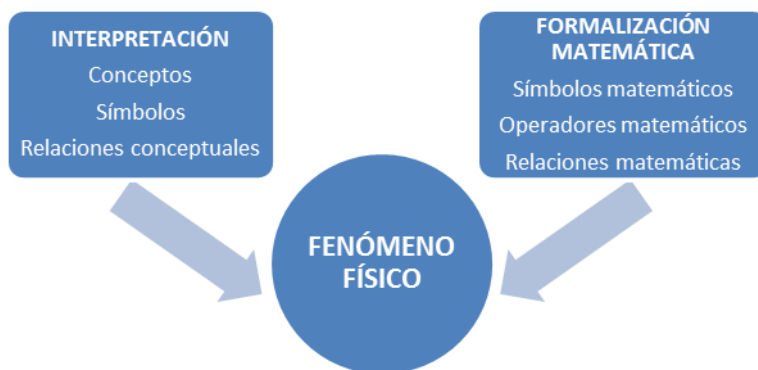


Fig. 3 Esquema de formalización e interpretación de un fenómeno físico. Fuente: Elaboración propia

Del anterior esquema, se puede destacar que el fenómeno físico proporciona los fundamentos esenciales para la interpretación y la formalización de estructuras conceptuales que se identifican con cualquier tipo de situación, en donde se analicen las posibilidades de la aplicación de la formalización y la interpretación al mismo tiempo, con el fin de generar procesos de acercamiento al conocimiento desde todas las esferas del conocimiento científico.

En este sentido, los procesos de formalización se confunden con la aplicación de fórmulas y algoritmos matemáticos a los conceptos y teorías físicas, así que Ayala y otros (2008) afirman que "... mientras más abstractas sean las fórmulas y los algoritmos utilizados más formal es la teoría física en consideración", (p.2); lo anterior, implica que el desarrollo de la formulación de una teoría se reduce a los procesos matemáticos ligados a la reproducción del saber científico.

La organización de los fenómenos físicos están determinados por las formas de considerar la naturaleza del conocimiento matemático – físico, a partir de sus dinámicas y estructuras de saber característico, que se especifican desde lo formal y se deja de lado, la explicación conceptual de los hechos que hacen parte de un fenómeno en la naturaleza

De acuerdo con Ayala y otros (2008) la formalización de un fenómeno se puede hacer desde cuatro formas diferentes.

- *Formalización de carácter pragmático*
- *Aplicación de las matemáticas*
- *Axiomatización de las teorías físicas y unificación de campos fenoménicos*
- *Matematización de un campo fenoménico (p. 17).*

El proceso de formalización puede entenderse desde el carácter pragmático como una forma de organizar desde el lenguaje las diferentes estructuras de conocimiento que se puede encontrar en la observación de cualquier fenómeno,

este tipo de formalización es inherentes al reconocimiento del lenguaje cotidiano en la verbalización de un fenómeno.

Desde las matemáticas, el análisis de los fenómenos físicos se reconoce como una estructura formal que permite comprender y esquematizar los fenómenos con la posibilidad de establecer relaciones y comparaciones entre las magnitudes y dar cuenta de los conceptos que se visualizan en el fenómeno correspondiente.

En la consideración de las teorías físicas, el análisis de un fenómeno se da por la construcción de principios generales, a través de la organización de las estructuras lógicas formales que caracterizan un fenómeno particular por medio de grados de validez que jerarquizan las relaciones y operaciones en la construcción del conocimiento de dicho fenómeno.

Ahora bien, si se considera la formalización de los fenómenos físicos a través de las matemáticas, se puede identificar que la matematización ofrece una organización particular al objeto físico, tal es el caso de la formalización realizada por Dirac en el estudio de la Mecánica Cuántica, ya que su formulación matemática destaca la noción de “estado”, asociado a la observación de las cualidades, que proporcionan la caracterización de los esquemas de conocimiento.

De acuerdo con Ramírez y González (2000), “el conocimiento de los fenómenos físicos está organizado en complejas estructuras conceptuales construidas y creadas por los científicos, que se pueden analizar por niveles y categorías a través de relaciones y elementos fundamentales” (p. 1); lo que implica, que el desarrollo de una teoría física y su formalización depende de un esquema conceptual consolidado provisto de una serie de elementos que hacen parte de la producción de conocimiento del fenómeno.

En este sentido, una teoría física se encuentra relacionada con aquel proceso de interpretación que le permite generar explicaciones y predicciones de los fenómenos a estudiar, de tal forma, que las construcciones que subyacen en el análisis de los elementos de estudio proporcionan concepciones e imágenes de los fenómenos de la ciencia analizada.

Por su parte, Levy-Leblond (1990) afirma que "... la física cuántica se ha consolidado continuamente a partir de sus bases conceptuales" (p. 1); lo anterior, da significado a los procesos de formalización a través de la consideración de los fenómenos estudiados, observando que el análisis de una situación física particular puede dar cuenta de los esquemas conceptuales que permiten explicar el fenómeno observado.

En efecto, la posibilidad de formalizar una teoría física radica en la comprensión de los fenómenos estudiados, a partir de las relaciones y consideraciones que se originan entre ellos; en el caso de los fenómenos observados en la Mecánica Cuántica, en particular, en el estudio de la dualidad onda – partícula, su comprensión radica en el proceso de conceptualización del fenómeno, no solamente en la formalización a través de las estructuras matemáticas.

De lo anterior, se puede identificar que los procesos de formalización de un fenómeno físico no solo están planteados desde el punto de vista matemático, sino que es importante la formalización desde los campos fenoménicos pues permiten realizar explicaciones coherentes de los procesos físicos que se desean estudiar.

3.2 FUNDAMENTO HISTÓRICO DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

La historia de las ciencias permite mostrar los cambios conceptuales que han surgido en la aparición de nuevas teorías científicas, como lo afirma Latour (1991),

En todos los casos, se trata de llevar a cabo lo que Emmanuel Kant denominaba, en su calidad de filósofo, una revolución copernicana. En lugar de girar en torno a los objetos del mundo, el sabio los hace girar a su alrededor, (p. 567).

En el contexto teórico y práctico, la Mecánica Cuántica, desde sus inicios, se mostró como una teoría científica que proyectaba resultados sorprendentes para la explicación de la mayoría de los fenómenos de la naturaleza. Desde esta perspectiva, Rivadulla (2002) afirma que “Nunca la ciencia avanzó tanto en tan poco tiempo. Nunca tantos caminos se abrieron a la curiosidad humana, ni tantos estudiosos contribuyeron con su esfuerzo y entusiasmo a profundizar en nuestro conocimiento de la Naturaleza” (p.11).

En este sentido, los aportes de conocimiento de la Mecánica Cuántica en el análisis de los fenómenos de la naturaleza permitió generar preguntas y reflexiones, en torno a los cambios conceptuales que la física clásica no podía responder, ya que epistemológicamente se necesitaba una respuesta, que ampliará los conceptos ya conocidos y permitiera una conceptualización más adecuada a los estudios realizados. De acuerdo con Gratton (2000), el desarrollo de la Mecánica Cuántica comenzó a principios del siglo XX, como consecuencia del análisis de los fenómenos que la mecánica clásica no podía responder, como la radiación electromagnética y el comportamiento atómico de las partículas.

En este escenario, los desarrollos de la Mecánica Cuántica se presentan como una alternativa de comprensión para los fenómenos físicos no explicados por los contextos clásicos, debido a que los argumentos teóricos de análisis desde el punto de vista analítico no eran suficientes para caracterizar la ocurrencia de

dichos esquemas físicos, como lo expresa Gómez y Vallejo (2011) “se lucha por establecer nuevas teorías o paradigmas de interpretación que expliquen lo que se asume como nuevo o inédito en los procesos socioculturales, científicos e históricos de la humanidad”. (p.11)

Según, Doncel (2002), “El cambio conceptual no es pues el único, aunque sin duda sea el más radical. El nuevo género – sujeto ya no son ni cuerpos ni campos; son ‘sistemas cuánticos’ con sus correspondientes estados” (p. 37); lo que implica que esta nueva física se debe cuestionar sobre el comportamiento de la naturaleza a pequeña y gran escala.

Desde el punto de vista teórico, Feynman (2000) afirma que “Es una consecuencia de la mecánica clásica que si tienen cualquier clase de sistema – un gas con electrones, protones y lo que sea – dentro de una caja de modo que el todo no puede girar, no habrá efecto magnético”(p 1-14), lo anterior implica que el estudio de los fenómenos de la Mecánica Cuántica se construye bajo las explicaciones que la mecánica clásica no pudo responder como la estabilidad de la materia, la estructura atómica y el comportamiento de los electrones como ondas y como partículas. En este sentido, la mecánica clásica plantea las bases del conocimiento físico, en términos de movimiento de los objetos a nivel macroscópico y con una precisión particular, como el estudio de la posición, la velocidad y la aceleración de un objeto bajo principios deterministas.

Los esquemas teóricos presentados por la física llamada “clásica”, basada en los conocimientos de la dinámica de Newton y el electromagnetismo de Maxwell, no daban respuesta al descubrimiento de los rayos X (1895) y a la radiactividad (1896), entonces, se vio la necesidad de buscar una explicación, la cual mostrará que no se trataba de ninguna radiación electromagnética como se creía en un comienzo, sino se trataba de rayos de luz que no se comportaban de manera ordinaria.

De tal manera, al estudiar ese comportamiento no ordinario de los rayos de luz, Roentgen realizó investigaciones sobre los rayos catódicos encontrando una forma de atravesar cuerpos opacos llamados “Rayos X”, lo que la física clásica en dicho momento no podía explicar.

En este marco de referencia, aparece otro concepto “Radiactividad” explicado por Becquerel cuando utilizó para sus investigaciones experimentales uno de los metales recién descubierto en el siglo XX: el uranio, el cual presentaba propiedades de radiación que ningún otro material ofrecía y que se denominó “Fosforescencia invisible”, permitía albergar grandes cantidades de radiación por varios meses.

En concreto, se presentaba la necesidad de plantear otra física que explicará dichos descubrimientos, dando aclaraciones precisas de sus conocimientos teóricos y experimentales, en términos de radiación, comportamiento de la luz y la relación onda – partícula.

Dentro de este contexto, se propone un análisis de la importancia de incluir nuevos aspectos sobre el estudio de fenómenos físicos que la mecánica clásica no puede resolver como las trayectorias entre partículas, la velocidad instantánea y la fuerza; aunque para este nuevo planteamiento llamado Mecánica Cuántica, las bases dadas por la mecánica newtoniana permiten validar las explicaciones dadas por la cuántica.

A diferencia de la mecánica clásica que establece el uso de constantes como la gravedad, la cual es indispensable en la solución de situaciones problemáticas de ejercicios de lápiz y papel de cinemática, dinámica, entre otras; del mismo modo, en Mecánica Cuántica aparece la constante de Planck que se asocia al concepto de frecuencia y permite realizar cálculos de energía, momento angular y lo principal, la descripción total de la función de onda.

Mientras que, desde la Mecánica Cuántica aparecen nuevos conceptos “los cuantos” los cuales muestran la diferencia clara entre el comportamiento de un electrón como onda y partícula al mismo tiempo; se presenta la relación Planck – Einstein que mide la energía a través del espectro electromagnético en términos de eV, Hz y m.

En las reflexiones presentadas se pueden encontrar una serie de elementos que permiten entender que el concepto de partícula y onda al mismo tiempo, desde la observación fenomenológica no se comprende de forma fácil, y que la relación entre energía y cantidad de movimiento en el comportamiento colectivo de partículas presenta situaciones complejas de análisis que necesitan enlaces más reflexivos desde lo conceptual.

Desde esta perspectiva, el concepto clásico de campo y partícula establece las fluctuaciones y el movimiento de un grupo de partículas desde la velocidad, la cantidad de movimiento y la interacción de espacio y tiempo; y se diferencia de la cuántica ya que en una partícula no se puede predecir con certeza su comportamiento como onda y partícula al mismo tiempo, conocido como Principio de Incertidumbre.

Feynman (2000), afirma que la Mecánica Cuántica realiza una descripción del comportamiento de la materia en escalas microscópicas, enfatizando la relación existente entre la medida de los estados de posición de una partícula y su cantidad de movimiento en un instante de tiempo dado, ya que en virtud del principio de incertidumbre de Heisenberg no se puede determinar con certeza estas dos cantidades físicas.

Una de las características esenciales de la Mecánica Cuántica es que no se puede realizar una medición sin alterar el sistema; esto implica la posibilidad de involucrar el concepto de incertidumbre, como se explica a través de los trabajos de Heisenberg.

Los orígenes de la Mecánica Cuántica se dieron gracias a la introducción de los cuantos de energía por parte de Planck hacia 1900, como afirma Cadena (2004),

Esta hipótesis cuántica romperá con el postulado clásico de la continuidad de las acciones en la Naturaleza, que se había mantenido vigente durante tres siglos. A partir de ella Planck pudo afirmar que el error en los cálculos de Raleigh, que conducen a esa predicción final del aumento indefinido de energía, se debe a que en ellos se supone la naturaleza continua de la radiación (p. 52)

La explicación dada por Planck al cuanto de energía, dio apertura al análisis dado por Einstein al cuanto de luz, según Cadena (2004) "...El interés que este fenómeno despertó entre los físicos del siglo XIX se debía a la relación que en él se observaba entre la energía del rayo, causante de la expulsión de las cargas eléctricas negativas, y la energía cinética de los electrones expulsados", (p. 54); fenómeno que determinó la posibilidad de comprender la acción de la luz en diferentes trayectorias.

El desarrollo de la Mecánica Cuántica se dio aproximadamente hacia 1928, cuando Louis de Broglie, en el desarrollo de su tesis doctoral inspirado por el estudio del comportamiento de la radiación (onda – partícula) propuso una relación que establece la cantidad de movimiento muy similar a la magnitud clásica, pero la diferencia radica en la utilización de la constante de Planck, los valores de la energía y la velocidad de la luz.

Para determinar este desarrollo teórico, de Broglie consideró el cálculo de la longitud de onda de un electrón cuya energía cinética es del orden del átomo de hidrogeno, teniendo en cuenta las propiedades de las ondas que son fundamentales para explicar el movimiento del electrón dentro de un átomo. La generalización realizada por de Broglie a todos los objetos materiales fue la que inició el desarrollo de la física cuántica, la cual establece que toda partícula tiene una naturaleza dual, de modo que su comportamiento global presenta dos aspectos complementarios: ondulatorio y corpuscular.

El sentido físico de la longitud de onda en la Mecánica Cuántica determina que cada partícula presenta una indeterminación en el movimiento que puede seguir, al tratar de ubicarle una trayectoria definida, al contrario de la mecánica clásica que puede establecer con precisión la posición y velocidad de una partícula en un instante dado.

De acuerdo con, Levy-Leblond (1990) al realizar un estudio del formalismo teórico de la Mecánica Cuántica se debe presentar una descripción de las consideraciones de fenómenos como el efecto fotoeléctrico, la radiación de átomos y el estado de onda y partícula. Este estudio debe concentrar la explicación de constantes fundamentales como la constante de Planck \hbar que utiliza unidades de medida particulares, consistentes con la nueva formulación teórica propuesta y que permite encontrar diferencias desde el análisis dimensional con la mecánica clásica cuando se estudia la gravedad g presentada por Newton.

Por lo tanto, la constante de Planck \hbar presenta la conexión entre dos conceptos físicos importantes: la energía y la frecuencia de una partícula elemental, que relaciona la energía de los fotones E y su frecuencia ϑ , matemáticamente se escribe como:

$$E = \hbar\vartheta \quad (1)$$

Esta constante planteada por Planck permite explicar matemáticamente la radiación de cuerpo negro, encontrando una correspondencia entre las medidas experimentales, aceptando que la materia solo puede tener estados de energía discretos y no continuos, lo que permite entender el comportamiento de la luz.

Ahora bien, usando el formalismo matemático para comprender el efecto de la constante de Planck, se tiene que la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro se puede modelar con la relación que se establece entre la energía, la frecuencia y el momento angular, obteniendo:

$$E = h\nu = h \frac{\omega}{2\pi} = \frac{h}{2\pi} \omega = \hbar\omega \quad (2)$$

Desde este contexto, el formalismo de la Mecánica Cuántica se plantea a partir de la consideración matricial de Heisenberg y la noción de estados de Dirac, lo que permite establecer relaciones con la formulación de Schrödinger a través de ecuaciones diferenciales, que lograron equivalencias con la matricial y la de estados.

La formulación propuesta por Heisenberg muestra las descripciones de la Mecánica Cuántica a través de la noción de matrices, por medio del formalismo matemático del álgebra lineal y el conocimiento de los sistemas atómicos a través del estudio de cantidades físicas particulares, como la energía y la función de onda.

En este sentido, Heisenberg en 1925, propone una formulación matricial en donde obtiene una cantidad cuántica denominada cantidad observable, que podía considerarse como la descripción completa de un sistema dentro de la nueva mecánica; es decir, Heisenberg calculó una magnitud cuántica (Q ó P), comprobando que las cantidades no conmutaban.

Tiempo después, Born y Jordán en 1925, reconocen que las cantidades propuestas por Heisenberg (Q y P), se comportaban como matrices, lo cual les permitió proponer una ecuación denominada “condición cuántica exacta”, que combina las cantidades observables con la constante de Planck. De este modo, se puede escribir:

$$PQ - QP = \frac{h}{2\pi i} I \quad (3)$$

La mecánica matricial fue fundamental, en el trabajo experimental de la época; ejemplos como el experimento de Pauli en 1926, cuando logró deducir el espectro del átomo de hidrógeno, así se expresara bajo sus diferentes

interpretaciones semánticas, permitió entender que no era un estudio corpuscular y que sus procedimientos de álgebra de matrices eran extraños.

La propuesta de Schrödinger estuvo guiada por la búsqueda de una teoría más visible que empleará los procesos matemáticos clásicos, su idea estuvo centrada en el estudio del movimiento del electrón mediante la consideración del movimiento ondulatorio, cuya función de onda sería el reemplazo de la descripción clásica del movimiento.

Este planteamiento mostró un cambio significativo en el desarrollo de su propuesta, ya que se dejó de lado las ecuaciones de la mecánica clásica, por una ecuación de onda en un espacio abstracto; de este modo se presentó la ecuación:

$$\frac{\partial^2 \varphi(x)}{\partial x^2} - \frac{2m}{\hbar^2} (V(x) - E) \varphi(x) = 0 \quad (4)$$

Schrödinger con su planteamiento de la mecánica ondulatoria, se caracterizó por resolver una ecuación diferencial y logró deducir los niveles energéticos del átomo de hidrógeno, que permitió presentar una serie de conclusiones importantes en la construcción de las bases de la física moderna.

Según Tuay (2011), “la idea motivadora para Schrödinger en la búsqueda de una ecuación había sido que cada una de las partículas era en realidad una onda, y que ésta determinaría las características físicas de dicha onda” (p. 66), lo cual significa que el planteamiento de Schrödinger está ligado con el conocimiento de un modelo físico que explique las relaciones del comportamiento onda – partícula.

De acuerdo con Casado (2007), “Schrödinger (1926b) no logró probar la equivalencia matemática entre la Mecánica Matricial y la Mecánica Ondulatoria por razones técnicas y conceptuales. Schrödinger logró probar que la Mecánica Ondulatoria está contenida en la Mecánica Matricial” (p. 115), es decir, no pudo

encontrar una equivalencia teórica consistente en el análisis del fenómeno, sino simplemente se quedó con la comprobación de las formulaciones matemáticas mientras que se diluía la resignificación del fenómeno.

En la búsqueda de la equivalencia teórica, aparece Dirac en 1926, junto con Jordán, quienes formularon una Teoría de la Transformación, ya que se habían dado cuenta que las dos formulaciones presentaban argumentos matemáticos muy similares; Dirac presentó una formulación muy novedosa involucrando la idea de estados (bra / ket) y observables de un sistema físico – cuántico.

Dirac (1958), afirma en su libro “*Principles of Quantum Mechanics*”, que surge la necesidad de explicar los fenómenos de la naturaleza a partir de una nueva mecánica,

The necessity for a departure from classical mechanics is clearly shown by experimental results. In the first place the forces known in classical electrodynamics are inadequate for the explanation of the remarkable stability of the atoms and molecules, which is necessary in order that materials may have any definite physical and chemical properties at all (p. 1).

Desde esta perspectiva, Dirac (1958), proporciona aspectos importantes para la consideración de una nueva mecánica como es el estudio del comportamiento de la luz, que solo puede ser explicado por la teoría de ondas, surgiendo un problema irreconciliable desde la mecánica clásica, porque no se podían explicar los fenómenos atómicos, desde el análisis clásico de las partículas, tratando de definir su posición y velocidad en cualquier instante.

Según Bombal (1999), la teoría propuesta por Dirac establece la oportunidad de entender los estados de un sistema como observables, que contienen la información de un sistema cuántico real, es decir, un sistema cuántico

posee la descripción de cantidades físicas y los estados de movimiento del sistema.

De acuerdo con Tuay (2011), tanto la mecánica ondulatoria como la matricial pueden compararse siguiendo el esquema de la Tabla. 1, el cual permite encontrar una relación evidente entre la formulación matemática y el análisis del fenómeno, con el fin de establecer las conexiones teóricas para el estudio del fenómeno presentado por la Mecánica Cuántica.

	Schrödinger	Heisenberg
Formulación Matemática	Diferencial	Matricial
Modelos	Espacio - temporales	Probabilísticas
Símbolos de la teoría	Ondas piloto	Cantidades dinámicas
Dispositivos representativos	Función de onda	Cantidades físicas notables
Enfoque	Estados	Operacional

Tabla1. Equivalencias teóricas de la Mecánica Cuántica. Fuente Tuay (2011)

En síntesis, el análisis de la formulación matemática de la Mecánica Cuántica proporciona los elementos necesarios para plantear un estudio fenomenológico de los conceptos esenciales que definen la teoría de la Mecánica Cuántica, teniendo en cuenta que los aspectos matemáticos, una vez más indican la necesidad de observar las teorías en física desde el punto de vista de la naturaleza del fenómeno y sus interrelaciones.

3.3 DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO DUALIDAD ONDA – PARTÍCULA

El fenómeno de dualidad onda – partícula desde la Mecánica Cuántica se estudia a partir de las consideraciones sobre las teorías de la explicación de la naturaleza de la luz, las cuales han sido abordadas desde variados puntos de vista que identifican las distintas relaciones de conocimiento presentes en su análisis.

En este sentido, Schrodinger (1975) afirma que:

La nueva mecánica ondulatoria tiene su paralelo en la teoría ondulatoria de la luz. La ventaja de cambiar el viejo concepto por el nuevo ha de consistir, evidentemente, en lograr una idea más clara de los fenómenos de la difracción o, mejor dicho, de algo que es estrictamente análogo a la difracción de la luz (p.131)

En este aspecto, las relaciones presentadas en el fenómeno de la dualidad onda – partícula, desde la concepción de la estructura atómica que permite identificar los esquemas de producción de conocimiento en la explicación de las trayectorias de las partículas, como parte del concepto fundamental de la Mecánica Cuántica.

El estudio de este fenómeno se remonta a las explicaciones proporcionadas por Einstein, en donde la importancia del análisis radicaba en las construcciones teóricas sobre la radiación y sus procesos de conocimiento, Sánchez (2001) presenta los siguientes ítems al respecto

- Si se supone que a) la radiación está compuesta de $(E / \hbar\nu)$ cuantos que se mueven independientemente y dotados, cada uno, de una energía $\hbar\nu$, y b) que es válida la ley de los grandes números.
- Si uno se basa en la teoría ondulatoria (electrodinámica maxwelliana) de la radiación (luz).

En otras palabras: ni ondas ni partículas (cuantos de energía), ni electrodinámica ni física estadística a la de Planck, podían, por separado, cubrir todo el espectro de frecuencias y energías de la radiación.

Esta reflexión presentada por Einstein proporciona una estructura conceptual desde los modos de producción de conocimiento en la explicación de los procesos de radiación, con el objetivo de presentar una formulación sobre la naturaleza de la teoría atómica de las partículas.

Al mismo tiempo, Planck procuraba generar una explicación de la interacción de la materia a partir de la teoría de los electrones, por medio de la explicación de la emisión y absorción de la luz, y de la “hipótesis cuántica”, a través de las explicaciones de los fenómenos como idea básica de la teoría cuántica, de las construcciones teóricas y de los diferentes esquemas de conocimiento.

En este sentido, Schrödinger (1975) presenta un esquema de trabajo consistente en la explicación de la dualidad onda – partícula, así:

En una se diferencian dos cosas; en primer lugar, las superficies de onda, que forman algo parecido a un sistema de capas de cebolla. En segundo lugar, menos evidentes son precisamente aquellas líneas perpendiculares a las superficies de las ondas, en cuya dirección en cada sitio adelanta, las normales de onda, también llamadas rayos, pues la luz ha hecho que, por costumbre, se llame así a todo tipo de ondas: estas normales de onda o rayos corresponden a los recorridos de las partículas (p. 153).

Esta descripción de la formulación del fenómeno de la dualidad onda – partícula permite establecer una doble conexión en el comportamiento del átomo, este esquema proporciona uno de los ejes centrales de estudio de la Mecánica Cuántica.

Sánchez (2001) realiza un acercamiento a la explicación del fenómeno de la dualidad onda – partícula desde el planteamiento que realizó De Broglie a través de las investigaciones centradas en la absorción de rayos X, utilizando como

modelo explicativo el átomo de Bohr, estableciendo la necesidad de asociar las ondas a las partículas y viceversa.

En este sentido, Sánchez (2001), "...pensaba que las ondas asociadas a las partículas, eran ondas que las guiaban, una idea que bautizó como la teoría de la doble solución" p. (403); esto implica, una reflexión sobre la teoría de De Broglie donde un nuevo concepto o teoría proporcionan un complejo entramado de saberes que explican el comportamiento de un átomo desde lo ondulatorio y lo corpuscular.

Para Bohr (1963), la comprensión de la dualidad onda – partícula se encontraba limitada en la caracterización del "cuanto de acción", el cual permitía generar explicaciones coherentes sobre las distintas propiedades de la materia y al mismo tiempo mostrar los progresos de la física durante el siglo XX.

En este escenario se puede identificar que "... en el dominio de la física cuántica forma parte inseparable de los fenómenos", Bohr (1963), (p.24); lo que proporciona una justificación muy severa acerca de la comprensión física de la naturaleza a partir del análisis de los fenómenos que la constituyen.

Desde esta perspectiva, los procesos atómicos cuentan con un grado de individualidad registrada, según Bohr (1963) por el cuanto universal de acción, el cual implica la interacción entre fenómenos que no pueden ser explicados por separados sino se debe generar un espacio conjunto de análisis que proyecte las necesidades de trabajo en el desarrollo de la Mecánica Cuántica.

Ahora bien, la comprensión de la dualidad onda – partícula estuvo dimensionada en la contextualización del desarrollo de los sistemas mecánicos a través de las características de las generalizaciones ofrecidas por el cuanto de acción, en relación con los diferentes conceptos que las abstracciones matemáticas pretendían explicar sobre la producción de los fenómenos.

En este fenómeno, Bohr (1963) afirma que “Como punto particular se trató la cuestión de la medida en que la mecánica ondulatoria indicaba posibilidades de una desviación menos radical de la descripción física ordinaria que la consideraba hasta entonces en todos los intentos de resolver las paradojas”. (p. 109); lo que significa que la relación con los procesos de medida en la construcción está determinada en la descripción de los conceptos a partir de los fenómenos.

A partir de estos planteamientos, la explicación del fenómeno dualidad onda – partícula proporciona un esquema de conocimiento definido, en el cual se rescatan las caracterizaciones de las variables físicas que influyen en el análisis del fenómeno desde su acercamiento al conocimiento formal.

3.4 ANÁLISIS FENOMENOLÓGICO DE LA MECÁNICA CUÁNTICA EN EL MODO 2 DE PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO

El enfoque fenomenológico planteado por Husserl (2003) citado por *Stanford Encyclopedia of Philosophy* identifica una de las estructuras básicas de la fenomenología, la “intencionalidad”, la cual está directamente relacionada con las representaciones que se identifican en el estudio de los fenómenos.

Desde el sentido estricto de la fenomenología, se puede plantear una relación a partir de la observación de los fenómenos; de acuerdo con Sini (sf) “La fenomenología persigue un ideal de científicidad rigurosa que se propone como fundamento del saber científico, articulado en disciplinas” (p. 412); esto implica que, en una disciplina como la física, se podría estudiar los fenómenos naturales desde el análisis del contexto ofrecido por el enfoque fenomenológico.

En el desarrollo de la Mecánica Cuántica se realiza una exploración sobre las consideraciones de la luz desde los efectos observables de la difracción para iniciar el estudio de las longitudes de onda y las diferentes formas de radiación

que no pueden ser descritas con una formulación matemática clásica, lo que permitiría introducir el análisis del fenómeno como un elemento de conocimiento de la estructura física.

De esta manera, el análisis fenomenológico de una teoría física se encuentra centrado en el conocimiento del fenómeno desde los contextos teóricos y desde las características de comparación entre las diferentes formulaciones que dieron origen a dicho conocimiento. En este sentido, plantear una descripción del fenómeno de una teoría como es el caso de la Mecánica Cuántica, proporciona una serie de miradas centradas en la producción de conocimiento desde diferentes abordajes del fenómeno.

Desde la fenomenología el problema radica en la formas de conocer, de acuerdo con Husserl y Baró (1982) las experiencias del sujeto, su contexto y las percepciones de los fenómenos enfocan las explicaciones que puede dar sobre los objetos que constituyen su conocimiento del mundo real.

De acuerdo con Vásquez y otros (2001), los aspectos centrales de conocimiento de una ciencia están centrados en el derribamiento de los saberes absolutos,

“Comprender la ciencia no puede reducirse al saber enciclopédico de sus principales hechos, conceptos y principios, como ha defendido la enseñanza tradicional. En los últimos años y en el marco de la educación científica, el objetivo de lograr una adecuada comprensión de la naturaleza de la ciencia ha amplificado su importancia por considerarse central para una alfabetización científica de todos los ciudadanos” (p. 2).

En este sentido, los modos de producción de conocimiento revelan una necesidad de referirse a la comprensión de los fenómenos de la naturaleza en contexto, los cuales se articulan con las nuevas teorías fundamentando relaciones conceptualizadas de los fenómenos estudiados.

Desde esta perspectiva, el modo 2 de producción de conocimiento que hace referencia al análisis de los fenómenos y el modo 1 de producción de conocimiento presenta una posición institucionalizada en cuanto a los procesos de formalización matemática generan tensiones entre sí, ya que el modo 1 hace referencia a lo disciplinar sin preguntarse por la explicación formalizada que subyace de la consideración de un fenómeno, mientras que el modo 2 proporciona una mirada holística al fenómeno en todas sus dimensiones.

Al estudiar un fenómeno es importante tener en cuenta los procesos de descripción de las situaciones que explica dicho conocimiento; Concari (2001), afirma que “Describir implica varias cuestiones: definir el fenómeno, sus características y componentes, así como definir las condiciones en que se presenta y las distintas maneras en que puede manifestarse” (p. 88), lo que determina la necesidad de contextualizar los fenómenos para generar explicaciones coherentes sobre su análisis de contenido.

Desde la perspectiva de la producción de conocimiento, el modo 1 se encuentra ubicado en el escenario de lo matemático, es decir, la producción de conocimiento clásica que privilegiaba los entornos matemáticos, en donde únicamente se proporcionaba la comprensión de un fenómeno desde sus características numéricas, equiparable con lo planteado por Ayala y otros (2008) desde las formalizaciones pragmática y las aplicaciones de las matemáticas., sin tener el fenómeno como referencia.

Mientras que, el modo 2 de producción de conocimiento se preocupa por el eje central de la teoría, el cual se direcciona hacia el estudio de los fundamentos teóricos de un conocimiento, en donde se describen los aspectos esenciales de la teoría que se estudia, proporcionando esquemas de acercamiento al conocimiento del fenómeno de manera más acertada y concreta.

En este sentido, la fenomenología aporta a la construcción de explicaciones de lo real, mediante la realidad percibida por cada sujeto y su apropiación del contexto donde ocurre el desarrollo de los fenómenos, encontrando una correlación entre el conocimiento, su sentido y el objeto, aclarando que se centra la mirada en el sujeto que conoce y le aporta a la realidad que quiere caracterizar.

En efecto, al abordar el modo 2 de producción de conocimiento se establecen una serie de elementos conceptuales que proporcionan el análisis de los fenómenos a partir de la realidad del contexto en donde se desarrollan, Hacking (1996), afirma que “La discusión del realismo (acerca de lo real y verdadero) a lo largo de la historia se ha entremezclado con la filosofía, así el materialismo, por ejemplo, sostiene que lo que existe es lo que está construido por materia” (p. 46); lo anterior implica que el desarrollo de una teoría se puede enmarcar en las necesidades de lo real y lo comprobable por el experimento o la teoría.

Bajo este panorama, el estudio de la Mecánica Cuántica debe plantearse desde las necesidades de conocimiento que surgen al interior de una construcción física, lo cual permite identificar los factores de comprensión de los fenómenos y la aplicación de los conocimientos en escenarios interdisciplinarios de la explicación *in situ* del fenómeno contemplado.

Según Husserl (1982) la fenomenología “...se centra en el cómo el conocimiento se adecua a los objetos de conocimiento, y como trasciende y alcanza fidedignamente los objetos” (p. 65); lo que implica que el desarrollo de la comprensión de un fenómeno depende las percepciones que el sujeto tenga de dicho fenómeno y el conocimiento que subyace de él.

Desde esta perspectiva, la conexión que se encuentra entre la fenomenología y el estudio del fenómeno dualidad onda – partícula abordado en la investigación planteada en la tesis doctoral se fundamenta en las referencias que

cada sujeto tiene cuando aborda un objeto para conocerlo; es decir, la posibilidad de caracterizar un fenómeno desde las comprensiones particulares de cada sujeto.

Según Tegmark y Wheeler (2001), “la Mecánica Cuántica no solo nos ha permitido ahondar en nuestra comprensión de la naturaleza, sino que nos ha proporcionado también numerosas aplicaciones técnicas” (p. 48), lo cual permite visualizar que las comprensiones de la naturaleza aportadas por la Mecánica Cuántica se consideran como uno de los ejes centrales de acercamiento al conocimiento de la física moderna.

Gibbons y otros (1997), afirman que “...el desarrollo del conocimiento es la forma privilegiada de producción del conocimiento en el modo 2. Se corresponde con un movimiento que va más allá de las estructuras disciplinares en la constitución de la agenda intelectual...” (p.7); lo anterior permite conectar la comprensión del fenómeno con la necesidad emergente de visualizar desde lo fenomenológico el estudio de una disciplina.

Uno de los retos de la Mecánica Cuántica desde el análisis fenomenológico, es la comprensión de la superposición de estados que permiten analizar el comportamiento de la función de onda por medio de las combinaciones que surgen a partir de la composición de los diferentes estados de las partículas dependiendo de las consideraciones de cada sujeto que aborda dicho objeto de conocimiento.

De acuerdo con Maxwell (1993), la teoría de la Mecánica Cuántica se enfrenta a dos posturas desde la filosofía de las ciencias: el realismo científico y el instrumentalismo, el primero se identifica gracias a la atribución del concepto de realidad que se dio a los fenómenos, debido al desarrollo de la teoría cuántica; en la interpretación de Copenhague la explicación de los fenómenos cuánticos se encuentra ligada a los sistemas de medición, pero no se puede afirmar con

certeza un proceso de medida que determine la realidad de los objetos físicos observados.

El segundo, desde el debate del instrumentalismo y el realismo, la Mecánica Cuántica se interpreta en el formalismo matemático a partir de la consideración de la probabilidad a través del concepto de estado, observable y sistema de medición; en este caso, la explicación fenomenológica realizada por Heisenberg se ubica en esta visión ya que, proporciona los elementos necesarios para describir el concepto de estado.

Según Diéguez (1996), “Todos los físicos cuánticos aceptan un mismo conjunto básico de ecuaciones y las aplican de la misma manera, sin embargo, algunos muestran discrepancias acerca de las estructuras físicas que subyacen a dichas ecuaciones” (p. 77), lo cual implica que las formulaciones matemáticas aunque complicadas en sus diferentes versiones, no son la causa de una diversidad de interpretaciones epistemológicas del fenómeno cuántico.

Desde este punto de vista, aparece un concepto crucial para el desarrollo de la Mecánica Cuántica, la interpretación de Copenhague que proporciona un análisis fenomenológico desde la decoherencia, entendida como una interacción con el entorno, en donde una matriz de densidad de probabilidad representa las probabilidades clásicas de una partícula y la ecuación de Schrödinger establece totalmente la predicción de los estados de dicha partícula.

Según, Tegmark y Wheeler (2001) “...los cálculos de la decoherencia muestran, pues, que no es precisa la intervención de un observador humano (o el colapso explícito de la función de onda) para obtener el mismo efecto”, (p. 26); lo anterior implica que el desarrollo de los procesos de producción de conocimiento en Mecánica Cuántica abarcan situaciones de la realidad contextualizada conectándose con la ecuación de la función de onda de Schrödinger y el principio de incertidumbre de Heisenberg.

Por lo anterior, la ecuación de la función de onda de Schrödinger y el principio de incertidumbre de Heisenberg, encuentran el punto exacto de conexión en el análisis del fenómeno de la dualidad onda – partícula, en donde la consideración de los estados de la función de onda, permite conocer la realidad del fenómeno e identificar los contextos de aplicación del concepto.

De acuerdo con Tegmark y Wheeler (2001),

Todas estas teorías tienen dos componentes: las ecuaciones matemáticas y la prosa que explican la relación entre ecuaciones y observación experimental. La Mecánica Cuántica enseñada en los manuales presenta ambos componentes: algunas ecuaciones y tres postulados fundamentales enunciados con palabras de lenguaje ordinario (p. 55);

Tegmark y Wheeler confirman que aunque los dos componentes están presentes en los manuales de Mecánica Cuántica el análisis del fenómeno se hace presente en la construcción de la explicaciones del contexto así sea matemático.

Según Cabello (2003), “la Mecánica Cuántica es un descubrimiento de enorme trascendencia para entender el Universo (el universo con mayúscula y también nuestro universo cotidiano), pero al público en general es desconocida” (p. 2); lo anterior significa que los conocimientos en Mecánica Cuántica se consideran complicados y que solo han sido trabajados por unos pocos que han comprendido dichas concepciones de la naturaleza.

En este sentido, el análisis fenomenológico, la Mecánica Cuántica puede dar respuesta a las predicciones de una serie de sistemas físicos, en los cuales no se pueden contar los factores de certeza y presentar una característica general como es el caso de sistemas microscópicos que necesitan ser estudiados con una teoría física que se desborde a un sistema más grande.

Para dar cuenta del sentido fenomenológico, Husserl (1982) plantea la necesidad de emplear el término “vivencias intencionales”, que se caracterizan como una forma de expresar la correlación entre el objeto de conocimiento y el conocimiento, generando una reflexión consciente en el sujeto de los esquemas sobre el objeto de conocimiento.

Ahora bien, las vivencias intencionales permiten la construcción de los objetos de conocimiento a través de las percepciones que tienen los sujetos sobre los fenómenos que describen dichos objetos en relación con los elementos teóricos que describen y caracterizan en un contexto. Según Cassidy (2003),

Entre los muchos logros científicos del siglo XX, quizás el fundamental sea la Mecánica Cuántica. Ideada por un puñado de físicos europeos de mente preclara, la ciencia del átomo exige transformaciones profundas y controvertidas en nuestra comprensión de la naturaleza (p. 6);

Así Cassidy coincide con Heisenberg en la comprensión de lo que implica en ese desarrollo mencionar la mecánica matricial que se puede analizar desde el fenómeno sin contemplar el formalismo matemático y que permitiría nuevas comprensiones de la naturaleza.

En este sentido, el principio de incertidumbre afirma que la medida simultánea de dos variables físicas, como la posición y la cantidad de movimiento de un objeto, no se puede precisar con exactitud, lo que implica que desde la naturaleza del fenómeno no se puede caracterizar con exactitud los hechos ocurridos en un sistema físico; dicho principio hizo parte de las concepciones cerradas de la interpretación de Copenhague.

De acuerdo con Cassidy (2003), “Heisenberg y su escuela matricial se habían empeñado a fondo en las propiedades de la naturaleza que creían existir y estar incorporadas en su mecánica matricial. Habían apostado su futuro en este enfoque” (p. 9); lo anterior significa que la mecánica matricial propuesta por

Heisenberg pretendía ser una solución completa a los estudios a nivel microscópico del átomo y la función de onda.

Desde el aspecto fenomenológico, Heisenberg realizó comprobaciones de su principio de incertidumbre, por medio de razonamientos y experimentos mentales, que le permitieron corroborar a través de la comprensión del fenómeno una concordancia entre ambas deducciones como una prueba de la validez del principio de incertidumbre.

En el aspecto matemático el trabajo de Heisenberg inició con la solución de la función de onda, por medio de una distribución de probabilidad, descubriendo una consecuencia matemática importante, utilizando una desviación estándar, que dio origen a una relación inversa que hace uso de la constante de Planck.

De este modo, la comprobación matemática realizada por Heisenberg no solo se quedó en las descripciones numéricas, sino que describía el fenómeno a través de experimentos mentales que implicaban la medición simultánea de variables físicas como posición y cantidad de movimiento o energía y tiempo.

La compatibilidad del fenómeno, según Cassidy (2003), se basa en las innovaciones de la misma teoría propuesta por Heisenberg, es decir, el tratamiento de las discontinuidades de la función de onda y el comportamiento de las partículas; una de ellas era el término alemán "*anschaulich*" que significa "intuitivo", con el que pretendía defenderse de las críticas de Schrödinger de una física de partículas discontinua y por lo tanto "*unanschaulich*" que significa "no intuitiva".

Cassidy (2003), afirma que "Para el joven Heisenberg, el principio de imprecisión culminaba y completaba la revolución cuántica, una revolución que incorporaba sus compromisos personales con los fundamentos que él mismo había ayudado a establecer" (p. 11); lo que mostraba la necesidad de encontrar un

referente desde el fenómeno y formalismo matemático que fuera correspondiente al planteamiento de su teoría.

El trabajo de Heisenberg sobre el principio de indeterminación combina tanto la formulación matemática como la comprobación del fenómeno estudiado a través de los experimentos mentales, insistiendo en la discontinuidad y en la relación que presenta el comportamiento de las partículas y su esquema de presentación en los contextos físicos.

En síntesis, los trabajos de Heisenberg desde la mirada fenomenológica se pueden considerar como uno de los factores de conocimiento primordiales para la física de siglo XX, ya que desde sus inicios la Mecánica Cuántica se caracterizó por ser un esquema de acercamiento al comportamiento de las partículas y de las variables físicas como posición y cantidad de movimiento.

Dentro de este contexto, Schrödinger propone el análisis de la función de onda y su longitud con el fin de construir una información relevante que dé cuenta de los estados observables y no observables de una partícula; del mismo modo, se presenta el efecto fotoeléctrico para mostrar que en las interacciones de radiación electromagnética y la materia hay una absorción de energía en paquetes que se denominan fotones, lo cual implica que las transferencias de energía toman valores discretos, tanto en la emisión como en la absorción de radiación.

De acuerdo con la Mecánica Cuántica, el comportamiento de una partícula que toma el nombre de “cuanto”, se puede explicar cómo la probabilidad de ubicarse en un estado u otro, dependiendo de la explicación generada por el principio de incertidumbre de Heisenberg.

Por consiguiente, al predecir probabilidades para los estados de una partícula cuando se efectúa una medición es importante especificar los valores simultáneos de la cantidad de movimiento y la posición de la partícula, ya que estas cantidades permiten establecer una relación de incertidumbre propuesta por

Heisenberg que proporcionan información interesante sobre la indeterminación de la cantidad de movimiento y la posición de un objeto es un estado medible y observable.

En toda la descripción conceptual presentada se hace una serie de consideraciones sobre la importancia de la comunicación y el lenguaje que se utilice ya que estas dos vías de expresión oral y escrita le permitieron a la Mecánica Cuántica establecer procesos de observación precisos para encontrar los posibles estados de posición de una partícula.

Desde esta perspectiva, la Mecánica Cuántica se fundamenta en los pasos establecidos por la interpretación de Copenhague, se podría afirmar que la física en este estudio se encuentra completa, porque las interpretaciones y las aseveraciones dadas por los físicos a lo largo de la historia han permitido mostrar las bondades de una teoría que usa la causalidad dentro de sus esquemas de comprensión del mundo.

Desde el enfoque de Dirac, mecánica de estados, la preocupación radicó en la “belleza matemática” como uno de los rasgos fundamentales que permitían realizar una descripción completa de la naturaleza y visualizar un análisis del fenómeno a partir de una matemática diferente que combinaba el concepto del fenómeno y su fundamentación teórica. Hovis y Kragh (2003), afirman que:

Dirac descubrió una original y potente formulación de la Mecánica Cuántica, una teoría cuántica de la emisión y absorción de radiación por los átomos, la ecuación de ondas relativista para el electrón, la idea de antipartícula y una teoría de monopolos magnéticos (p. 14);

Esto implica que la formulación propuesta por Dirac proporciona una serie de herramientas teóricas que presentan una nueva teoría cuántica consistente con las formulaciones trabajadas por Heisenberg y Schrödinger.

Por otro lado, la propuesta de Schrödinger conocida como mecánica ondulatoria se destacó por ser más simple en el cálculo que las formulaciones de Heisenberg y Dirac, ya que utilizaba ecuaciones diferenciales para describir la función de onda, pero que desde el enfoque fenomenológico se quedaba en la solución de complejos procedimientos matemáticos.

De acuerdo con Hovis y Kragh (2003), “Dirac encontró esa teoría general que tantos investigadores habían esperado – un sistema que subsumía todos los esquemas particulares y proporcionaba reglas definidas para transformar un esquema en otro” (p. 15); con el fin de presentar un teoría consistente para los desarrollos evolutivos de la Mecánica Cuántica.

Para mostrar que dicha comprobación fuera equivalente en el análisis fenomenológico y en la formulación matemática, Dirac presentó una formulación que conservara la estructura presentada por Schrödinger y reconciliara el estudio del electrón y su comportamiento en una ecuación que describía los estados; de este modo, su ecuación permitía identificar las soluciones correspondientes a los electrones de energía positiva y de energía negativa y desde el fenómeno se describía la comprensión de los estados de las partículas.

La teoría de Dirac dio como resultado una ecuación de movimiento para el electrón, contemplando la idea de encontrarlo como una partícula puntual, que eliminaba totalmente la idea de infinito y los términos no definidos, en cantidades como la posición y la cantidad de movimiento.

En síntesis, la teoría de Dirac desde el punto de vista del desarrollo fenomenológico se consideró como el boom de las explicaciones de la Mecánica Cuántica, ya que presentó ideas novedosas y convergentes que posibilitaron los diferentes avances tecnológicos en la actualidad.

Además, han facilitado el estudio de la fundamentación teórica sin la necesidad de tomar en consideración complejos formalismos matemáticos en la presentación de las teorías físicas modernas, como es el caso de la Mecánica Cuántica que se ha vinculado a los diferentes entornos en los esquemas de conocimiento de la naturaleza.

Desde la interpretación de Copenhague, la Mecánica Cuántica se ha presentado como un esquema de producción de conocimiento en el cual se lograron explicaciones sobre la materia y su posibilidad de ser onda o partícula dependiendo de cómo se observe; generando prescripciones sobre cómo interactúa en el mundo físico.

De acuerdo con Cassidy (1992) "...el elemento clave para la interpretación de Copenhague: el principio de imprecisión o indeterminación, este principio puede considerarse el resultado de la búsqueda de un método coherente de conectar el mundo cotidiano del laboratorio con ese mundo, nuevo y extraño, propio del minúsculo átomo", (p. 66); lo que implica que la interpretación de Copenhague proporciona elementos de análisis para la construcción de explicaciones sobre los fenómenos naturales abordados desde la Mecánica Cuántica.

En este sentido, la interpretación de Copenhague permite comprender dos fenómenos cruciales en el desarrollo de Mecánica Cuántica: la dualidad onda – partícula y el principio de incertidumbre; el primer fenómeno presenta una explicación ligada al principio de complementariedad, el cual afirmaba que la descripción de la materia por onda o por partícula se considera contradictoria, ya que si se comprenden por separado son consistentes y al analizarlas en conjunto son una completa contradicción del fenómeno.

Siguiendo las explicaciones de esta interpretación, la Mecánica Cuántica supone que el mundo físico posee propiedades que se revelan a través de la experiencia, en donde la teoría no puede explicar en su totalidad la realidad que

subyace a dichos fenómenos; por tal razón, esta interpretación presenta un análisis detallado de las construcciones teóricas de los fenómenos.

Desde esta perspectiva, la trascendencia de los fenómenos desde los abordajes de la fenomenología depende de la esencia y el sentido de los objetos de conocimiento, a partir de una reflexión y pensamiento del sujeto que desea conocer a través de las experiencias de su entorno, entendidas mediante la esencia del conocimiento, las cuales relacionan las vivencias intencionales de conocimiento.

3.5 LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS DESDE LA PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO EN LA MECÁNICA CUÁNTICA

La educación en ciencias sumada a los esquemas de producción de conocimiento generan posturas epistemológicas sobre los procesos de acercamiento al conocimiento científico, Henao y Stipcich (2008) afirman que la educación en ciencias proporciona una fundamentación desde el conocimiento y su proyección en el análisis de un fenómeno.

Desde el contexto de los procesos de educación en ciencias de la Mecánica Cuántica se han desarrollado propuestas aplicadas en escenarios escolares como la propuesta de Fanaro (2009) que proporcionan una serie de conocimientos diferenciados sobre la física moderna. En este sentido, los procesos de educación en ciencias de la Mecánica Cuántica se encuentran posicionados desde el modo 1 de producción de conocimiento, ya que siempre se ha pensado en la estructura de la enseñanza de la física a partir de las construcciones matemáticas, pensando que a través de esta herramienta se logra una mejor comprensión de los fenómenos físicos estudiados.

Entonces, el modo 2 de producción de conocimiento se ha explorado como la suma de las contextualizaciones teóricas y matemáticas, es decir, no se ha trabajado con el análisis del fenómeno únicamente, sino que se ha presentado siempre como una de las relaciones que subyace al hacer uso de las matemáticas que generan una formalización del concepto que se desea aprender.

En este recorrido es importante reconocer las diferentes estrategias utilizadas por los docentes que enseñan Mecánica Cuántica para explicar las incidencias del fenómeno estudiado, y al mismo tiempo, identificar cuáles son las estrategias didácticas que generan comprensión de los conceptos analizados bajo el panorama de la Mecánica Cuántica.

En este sentido, Greca y Herscovitz (2002) afirman que los conceptos estudiados sobre los desarrollos de la Mecánica Cuántica como base de conocimiento en física moderna se refieren a construcciones teóricas muy superficiales, en las cuales

Las investigaciones relativas a las ideas de estudiantes universitarios sobre conceptos cuánticos (en particular sobre estabilidad del átomo, dualidad onda-partícula, principio de incertidumbre, concepto de cuantización, fotones y electrones), aunque desarrolladas desde marcos teóricos distintos, parecen coincidir en mostrar que el conocimiento adquirido en las disciplinas que introducen esos temas es en general superficial (p. 328).

Desde esta perspectiva, la educación en ciencias a través del acercamiento al conocimiento de la Mecánica Cuántica se encuentra provista de formalismos matemáticos clásicos, disfrazados de contextos modernos, en donde se puede perder información valiosa en el análisis de las estructuras de producción de conocimiento.

Entonces, para Greca y Herscovitz (2002), la importancia de estudiar un grupo de conceptos nuevos en una disciplina como la física, es la posibilidad de construir un modelo de enseñanza que proporcione los elementos necesarios que

describan y representen los fenómenos a partir de predicciones de su comportamiento físico.

Por otro lado, Henao y Stipcich (2008), “La Educación en Ciencias, o Didáctica de las Ciencias Experimentales, desde hace aproximadamente tres décadas se perfila como un saber que, busca comprender los procesos de enseñanza y aprendizaje, y fundamentar su innovación y cualificación” (p. 47); lo que permite establecer que los procesos de educación en ciencias se encuentran mediados por las necesidades de producción de conocimiento.

En este contexto, se pueden plantear situaciones de acercamiento al conocimiento, en donde los estudiantes proyecten soluciones a cuestionamientos sobre la necesidad de esquematizar las bases de un modelo clásico inicial que los ubique dentro de un modelo cuántico de análisis de una situación particular, que requiera de conceptos ya conocidos en física como es el caso del concepto de fuerza.

En este sentido, Greca y Herscovitz (2002), afirman que “las ideas que resultan del principio de superposición lineal de estados, del principio de incertidumbre (dualidad onda-partícula) y del carácter probabilístico de los resultados de medición (distribución de probabilidades)” (p. 329); hacen parte de los conceptos fundamentales que dieron origen a la Mecánica Cuántica, por un lado la mecánica ondulatoria de Schrödinger y la mecánica matricial de Heisenberg.

En este orden de ideas, se puede considerar que dicha formulación permite hacer una transición entre los fenómenos clásicos y cuánticos, según Fanaro (2009), “Una ventaja conceptual importante del enfoque de Caminos Múltiples, es que permite explicar la transición entre el comportamiento microscópico y macroscópico de una forma simple, sin el formalismo matemático”(p. 36); lo cual

se fundamenta en la importancia de encontrar explicaciones que no se concentren todo el tiempo en el aspecto matemático.

Esta afirmación permite vislumbrar la necesidad de estudiar la formulación de los fenómenos físicos de la Mecánica Cuántica, a través de la comprensión del fenómeno lo que implica desarrollos de comprensión amplios, que determinen las relaciones no matemáticas presentes entre ellos, ampliando el espectro de difusión de dichos conceptos.

De este modo, la propuesta de Fanaro (2009), en el aspecto disciplinar se podría asumir desde el modo de producción de conocimiento 1 (aunque no es el compromiso de la autora), puesto que proporciona un acercamiento al fenómeno en cuestión, al tratar de explicar lo microscópico desde lo macroscópico, todavía se centra en la aplicación de las matemáticas para dar un soporte de análisis cuando se emplea la constante de Planck \hbar y el cociente de la acción S definido por la técnica de Caminos Múltiples.

Es importante, tener en cuenta que, si bien el formalismo matemático puede resultar complejo, existen las herramientas informáticas que buscan la explicación del fenómeno cuántico a través de las simulaciones reemplazando el análisis matemático por el análisis gráfico de los vectores que describen las trayectorias del fenómeno estudiado.

De acuerdo con Fanaro (2009), “Las situaciones propuestas para construir conocimientos de Mecánica Cuántica son nuevas para los estudiantes, representan un salto con relación a la percepción y a la intuición, debido a las características propias de los sistemas cuánticos” (p. 22); lo que permite centrar la discusión en el análisis del fenómeno desde la conceptualización de los procesos de conocimiento respondiendo a las características esenciales vistas en un fenómeno cuántico.

Desde el punto didáctico, la propuesta presentada en la tesis doctoral de Fanaro (2009), hace referencia a las diferencias entre los actores de una construcción de aprendizaje: estudiante, profesor, conocimiento e institución; de tal manera, se presenta una serie de principios didácticos que permiten distinguir una estructura conceptual interrelacionada con las afirmaciones de conocimiento y sus respectivas explicaciones en un contexto determinado.

En el contexto epistemológico, Fanaro (2009) presenta una propuesta ligada a los procesos de conocimiento desde la concepción de la objetividad del dominio de la realidad y su interpretación; y la objetividad presentada desde el objeto de conocimiento que permite construir significados inherentes a las reflexiones sobre la producción de conocimiento.

Desde las teorías del acercamiento al proceso educativo, la enseñanza de la Mecánica Cuántica puede estar provista de relaciones complejas que se podrían estudiar desde las relaciones presentadas entre el aprendizaje situado, que permiten representar las realidades de un concepto desde su contexto para lograr un grado de comprensión.

Por esta razón, la educación en ciencias se puede situar en el escenario educativo a través de la teoría del aprendizaje situado en donde se enfatiza en un concepto de contextualización cultural, en el cual se desarrollan las habilidades de conocimiento a través de la adquisición de aprendizajes reales mediados por las estructuras de acercamiento a las habilidades intelectuales.

En este sentido, se pueden identificar una serie de problemas en la educación en ciencias, ya que se presenta una desconexión entre el conocimiento que producen los estudiantes para explicar los fenómenos naturales, su contexto en el significado de lo que aprenden y el conocimiento científico trabajado en el espacio de la escuela.

Bajo este panorama, la enseñanza de la Mecánica Cuántica se enfrenta a estos problemas, ya que si se asume un proceso de aprendizaje desde el modo 1 de producción de conocimiento, los estudiantes se acercan al objeto de conocimiento a través de complicadas formulaciones sin llegar a comprender el sentido del campo fenoménico.

En este esquema, Fourez (1994), afirma “Para leer bien un mapa hay que entender cómo se han determinado los símbolos. De igual modo, para entender un modelo científico hay que darse cuenta de cómo se han construido los conceptos” (p. 78); lo que demuestra la necesidad de vincular la proyección de modelos de acercamiento a los conceptos, que no solo se vean como la vinculación de la teoría a la fundamentación matemática para la explicación de una disciplina.

En contraste, el análisis fenomenológico de la Mecánica Cuántica se fundamenta en los aspectos básicos de la física moderna, pero no deja de lado su construcción teórica, la cual le permite identificar los aspectos esenciales que generan una comprensión significativa sin el abordaje dado por las consideraciones matemáticas.

Desde la educación en ciencias, las nuevas dinámicas de producción de conocimiento en la Mecánica Cuántica se encuentran inmersas en la interacción de los contextos, a través de procesos de argumentación que determinan el uso de las herramientas conceptuales que visibilizan el significado de dichos contextos.

Según Henao y Stipcich (2008), “Desde la perspectiva toulminiana, aprender ciencias es apropiarse del acervo cultural, compartir los significados y, al mismo tiempo, tener la capacidad de tomar posturas críticas y cambiar” (p. 51); lo anterior permite identificar que la enseñanza de una disciplina se encuentra enmarcada en la relación con sus significados dentro del contexto.

En este sentido, la producción de conocimiento en la Mecánica Cuántica se puede visualizar en la construcción de significados a través del análisis de los fenómenos que se fundamentan en los aspectos centrales de la teoría, los cuales proporcionan elementos de conocimiento desde la educación en ciencias.

Como consecuencia, la producción de conocimiento científico se encuentra relacionada con las representaciones que se tienen del mundo, Fourez (1994), describe que se hace ciencia si se deja de lado la visión espontánea, la cual utiliza modelos identificados en las ideas trabajadas de los conceptos.

Siendo, la producción de conocimiento quien proporciona un verdadero sentido de la realidad, lo que permite establecer un contexto para el desarrollo de la producción de conocimiento, Nicolescu (sf) afirma que "... podemos hablar de una evolución del conocimiento, sin lograr jamás desembocar en una no-contradicción absoluta, implicando todos los niveles de Realidad: el conocimiento está siempre abierto"(p. 41); lo cual implica que el conocimiento se encuentra en constante cambio y es importante estudiarlo desde los nuevos modos de producción de saber.

Desde la producción de conocimiento, el análisis de los fenómenos se encuentra ubicado en una evolución constante del esquema disciplinar, lo que permite generar explicaciones desde la aplicabilidad de los contextos en donde se produce el fenómeno, cobrando gran importancia el esquema de conocimiento utilizado por la educación en ciencias. En consecuencia, esta tesis postula que abordando el modo 2 de producción de conocimiento en la Educación en Física, se lograría una construcción conceptual con significación regulada por la comprensión del fenómeno y con la posibilidad de contemplar explicaciones con sentido al fenómeno cuántico.

3.6 MODELOS Y MODELIZACIÓN COMO UNA ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO

Desde la perspectiva de acercamiento al conocimiento de los fenómenos naturales es importante tener en cuenta una estrategia de producción de conocimiento, la modelización del saber a través del planteamiento de modelos, los cuales proporcionan una serie de características propias desde el conocimiento y sus diferentes formas de acercamiento a dicho saber.

Los modelos en ciencias naturales establecen una serie de estructuras conceptuales y prácticas que proporcionan los elementos particulares para la comprensión de un fenómeno de cualquier índole; en este sentido, Tuay (2011) afirma que “la percepción de los modelos, como mediadores entre las teorías, fenómenos y datos, permiten ubicarlos en la concepción práctica considerándolos como los mediadores independientes entre la teoría y los datos” (p. 23); lo anterior indica las posibilidades de interpretación que se pueden encontrar al trabajar con modelos en situaciones científicas de análisis de contextos.

Desde este punto de vista, el análisis teórico que puede obtenerse en los procesos de acercamiento al conocimiento de la Mecánica Cuántica a través de las formulaciones teóricas de Schrödinger, Heisenberg y Dirac, se encuentran ligados a la construcción de modelos científicos que describen los elementos necesarios para la comprensión de un fenómeno característico.

Este aspecto permite emplear una construcción teórica desde la modelización, en donde se propone el análisis y estudio de los fenómenos a través de esquemas de datos identificados en el contexto de la comprensión epistemológica y la evaluación del conocimiento científico.

De acuerdo con, Schwarz (2009) los procesos de modelización científica incluyen dos dimensiones que combinan lo teórico con lo práctico, es decir, son

herramientas que permiten “predecir y explicar” los eventos que suceden al interior de un fenómeno.

En este contexto, un modelo científico puede ser definido como una representación de las explicaciones de los fenómenos a luz del desarrollo de los procesos de enseñanza y aprendizaje de una ciencia, en donde, se pueden evaluar las necesidades y las construcciones realizadas por los estudiantes.

Por su parte, Acher (2007) afirma que la modelización es un proceso que permite el uso de experiencias y percepciones previas sobre el fenómeno estudiado, así mismo, establecer comparaciones que proporcionan un esquema de generalización del contexto, el cual busca consolidar y contrastar un determinado modelo a través de la generación de preguntas consideradas como el eje central de la explicación del fenómeno.

Por lo tanto, la modelización se pueden considerar como el eje central de los procesos de conocimiento de una disciplina, que establece las características de contexto de un fenómeno y su posterior análisis, detallando los elementos esenciales para la interpretación de su ocurrencia.

Caamaño (2014), expone una serie de elementos esenciales para la conceptualización de la enseñanza de las ciencias naturales a través de la modelización, los cuales constituyen un enfoque didáctico que posibilita el entramado de explicaciones de los diferentes fenómenos en la naturaleza.

A su vez, Caamaño (2014) afirma que “*Contextualizar* la ciencia significa relacionarla con la vida cotidiana de los estudiantes y con sus futuras vidas en los aspectos personal, profesional y social. También significa abordar la ciencia en su proceso de construcción (contexto histórico de creación de teorías y modelos) (p. 5)”; lo que implica la necesidad de proponer una ciencia que aborde el modo dos de producción de conocimiento, desde la perspectiva del análisis del fenómeno.

En este sentido, la modelización genera elementos de trabajo para la construcción de contextualizaciones de fenómenos, conducentes a la explicación de los procesos de adquisición del conocimiento científico; es decir, un buen ejercicio de modelización puede proporcionar la ruta clave de comprensión de cualquier fenómeno.

Desde esta perspectiva, Peisajovich (2005) propone que "...debemos enseñar los procedimientos y modos de conocer propios de la actividad científica no ya mediante su mera enunciación, sino llevando a cabo actividades que permitan que los alumnos pongan en práctica algunos de estos procedimientos" (p.1); lo cual determina las posibilidades de trabajo en el contexto científico a través de otras estrategias que no sean las formulaciones teóricas y matemáticas con las que se han descrito los fenómenos naturales.

En efecto, Viau y otros (sf), reconocen que los procesos de modelización comprenden elementos que,

... en los últimos años hubo un deslizamiento referido a la importancia atribuida al modelado en clase (Lawson, 1993; Thiele & Treagust, 1995). Este corrimiento en lo pedagógico implica un cambio en la actividad docente ya que se necesita la elaboración, evaluación y aplicación de los modelos. También se requieren conocimientos acerca del desarrollo de los estudiantes y de la práctica diaria de los profesores (Lehrer & Schauble, 2000). (p.1)

Así los modelos permiten identificar las necesidades y contextos de trabajo de clase, enfatizando en la producción de conocimiento generada a partir del análisis de nuevas situaciones. Desde este contexto, la modelización es una herramienta de trabajo en los escenarios de enseñanza y aprendizaje, que aporta una serie de aspectos tanto teóricos como prácticos, los cuales proveen las estructuras necesarias que identifican las características de análisis de los fenómenos estudiados.

Desde este contexto, la modelización es una herramienta de trabajo en los escenarios de conocimiento, que aporta una serie de aspectos tanto teóricos como prácticos, los cuales proveen las estructuras necesarias que identifican las características de análisis de los fenómenos estudiados.

Ahora bien, el análisis de un fenómeno desde la modelización comprende la revisión de aspectos centrados en la filosofía de la ciencia como el concepto de modelo y de representación; los cuales proporcionan las bases epistemológicas para la interpretación de los enfoques de trabajo científico.

Desde la producción de conocimiento, Tuay (2011) propone que los modelos y la representación del contexto son un factor esencial en la definición de los métodos para llevar a cabo una construcción científica; la cual está determinada por el valor epistémico que cada representación y modelo pueden revelar en la construcción de un conocimiento científico.

En este sentido, Knuuttila y Voutilanen (2003) afirman que los modelos se pueden considerar como artefactos epistémicos, los cuales no pueden ser entendidos solo como constructos humanos sino que deben ser invariantes al campo de estudio y posibilitar el acceso a la producción de conocimiento del fenómeno trabajado.

De este modo, los modelos pueden ser comprendidos bajo el espectro de la 'teoría y los datos', lo cual significa que un modelo debe ser capaz de mostrar interrelaciones entre las construcciones teóricas que lo explican y su relación con los datos que lo complementan, para así proponer una estructura desde lo fenomenológico articulada en los principios teóricos que fundamentan el conocimiento de los saberes de una disciplina.

Según Greca y Moreira (1998) "Cuando en Física se dice que se entiende un fenómeno, esto implica que se conocen sus causas, sus efectos, cómo

iniciarlo, influenciarlo o evitarlo”; lo anterior significa que la explicación real de un fenómeno debe contemplarse desde los efectos que puede causar la modelización al buscar la comprensión de fenómenos.

De tal forma que, los procesos de conocimiento están ligados a la necesidad de percibir una nueva mirada de la enseñanza - aprendizaje de la física que permita concepciones epistemológicas las cuales abandonen las posturas clásicas de enseñanza y teniendo en cuenta que el mundo actual no puede seguir comprendiéndose desde esta perspectiva.

Entonces, los enfoques sistémicos logran parametrizar el acto de conocer, dándole características y líneas de acción en el proceso educativo, y valdría la pena preguntarse en dónde quedan los avances a partir de las experiencias de los estudiantes y las construcciones significativas que se generan en la construcción de procesos de modelización.

Todo este tipo de situaciones de acercamiento al conocimiento contemplan un propósito que va ligado con la intencionalidad de la práctica educativa, lo que permite vislumbrar la necesidad de una producción de conocimiento que se destaque en la observación de la realidad, es decir, en la comprensión de los fenómenos de la naturaleza desde la organización de saberes integrados en contextos reales.

De este modo, se puede pensar en la formación en las diferentes disciplinas científicas, denotando explicaciones desde conceptos modernos aplicados a la observación fenomenológica de las ciencias y sus diferentes concepciones de saber y hacer en contexto.

Según, Latour (1991) “Representación o escenificación es el nombre que reservo a la historia de este cuarto círculo. En él encontramos la historia de las representaciones que las sociedades se han creado, sucesivamente, de certezas científicas, de su epistemología espontánea” (p. 571); lo que se puede identificar

como la transición de un modo de producción de conocimiento 1 al modo de producción de conocimiento 2.

En este contexto, los modelos proporcionan una estructura de conocimiento tal que, los estudiantes pueden resignificar los fenómenos dentro de su contexto, el cual les permite generar procesos de acercamiento al saber a través del uso de modelos científicos que permiten describir, predecir y explicar fenómenos naturales.

López, A y Moreno, G (2014), presentan la estructura del Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA), el cual proporciona una fundamentación teórico – epistemológica y didáctica, en el desarrollo de una estrategia de análisis y comprensión de fenómenos a partir de las construcciones específicas en un saber determinado.

En síntesis, los ejes teóricos presentados hacen un recorrido desde el modo de producción de conocimiento 1, con el fin de presentar las bases conceptuales desde donde se ha visualizado la construcción de conocimiento de la Mecánica Cuántica, luego se propone una intervención desde el modo 2 de producción de conocimiento, en donde se vislumbran los aportes de la tesis doctoral en cuanto a la posibilidad de trabajar con un esquema de producción de conocimiento que vinculen aspectos cognitivos y de compromisos de los estudiantes.

CAPITULO 4

DESDE LO METODOLÓGICO EN LA PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO DE LA DUALIDAD ONDA – PARTÍCULA

El capítulo 4 presenta el proceso metodológico a través de la selección de métodos y técnicas, la justificación de elegir la investigación cualitativa, a través del análisis de los instrumentos aplicados y la identificación de los procesos de construcción de conocimiento en torno a un fenómeno físico que se evidencia en el trabajo de los estudiantes.

Al mismo tiempo, se presenta el diseño y los instrumentos aplicados, detallando el proceso de análisis a través del software HUDAP, que permitió encontrar coincidencias entre los términos empleados dentro de los instrumentos, también el software ATLAS TI permitió analizar la comprensión de los aspectos conceptuales a partir de la construcción del conocimiento.

Un apartado hace referencia a los instrumentos aplicados que constituyeron un factor de trabajo determinante en la construcción de las categorías en el análisis de la estructura metodológica empleada en la aplicación realizada con los estudiantes, ya que se evidenciaron resultados comunes en el grupo de trabajo, permitiendo un análisis riguroso y característico para el tipo de investigación planteada.

Finalmente, se presenta una descripción del proceso de validación de los instrumentos aplicados a partir del análisis de las estructuras de diseño e implementación de criterios de trabajo en cada uno de los instrumentos presentados, a través de un juicio de expertos y una validación teórica que permitió visualizar la potencialidad de cada instrumento con su coherencia en el desarrollo de la tesis doctoral.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL ASPECTO METODOLÓGICO

La metodología de investigación propuesta para el desarrollo de la tesis doctoral se encuentra centrada en el paradigma cualitativo que permite abordar las preguntas de investigación y los objetivos de estudio. Para mostrar el análisis del tema tratado a lo largo de la tesis doctoral, es importante consolidar las técnicas de recolección de datos y la precisión de la aplicación de los instrumentos elaborados.

El enfoque metodológico hace referencia al objeto de estudio desde los fundamentos teóricos de la fenomenología que sustentan la metodología cualitativa de investigación; este paradigma de investigación se estudia a partir del fundamento epistemológico, la definición y los paralelos que se pueden establecer dentro del método fenomenológico, particularmente, descrito desde el análisis trabajado en las ciencias naturales.

De acuerdo con Hernández Sampieri y Fernández (2010) en la investigación cualitativa existen una serie de interpretaciones que permiten diferenciar las situaciones y eventos, que se construyen y se desean caracterizar por medio de esquemas cualitativos.

Las características de la investigación cualitativa se describen a continuación, según Hernández Sampieri y Fernández (2010)

1. El investigador plantea un problema, pero no sigue un proceso definido claramente: Sus planteamientos iniciales *no* son tan específicos como en el enfoque cuantitativo.
2. Las investigaciones cualitativas se basan más en una lógica y proceso inductivo (explorar y describir, y luego generar perspectivas teóricas).
3. En la mayoría de los estudios cualitativos no se prueban hipótesis, sino que se generan durante el proceso

4. El enfoque se basa en métodos de recolección de datos *no* estandarizados ni predeterminados completamente; el investigador utiliza técnicas para recolectar datos, como la observación no estructurada, entrevistas abiertas, revisión de documentos, etc.
5. El propósito de indagación es más flexible y se mueve entre las respuestas y el desarrollo de la teoría
6. Postula que la “realidad” se define a través de las interpretaciones de los participantes en la investigación respecto de sus propias realidades. (p. 8 – 9).

En este sentido, la investigación cualitativa proporciona una serie de elementos prácticos y teóricos, que permiten generar descripciones concretas de los fenómenos investigados; por esta razón, la investigación cualitativa se comporta como un enfoque investigativo que utiliza las experiencias de los participantes y del conjunto de prácticas e interpretaciones de los individuos. En el siguiente esquema se señala la descripción del enfoque:

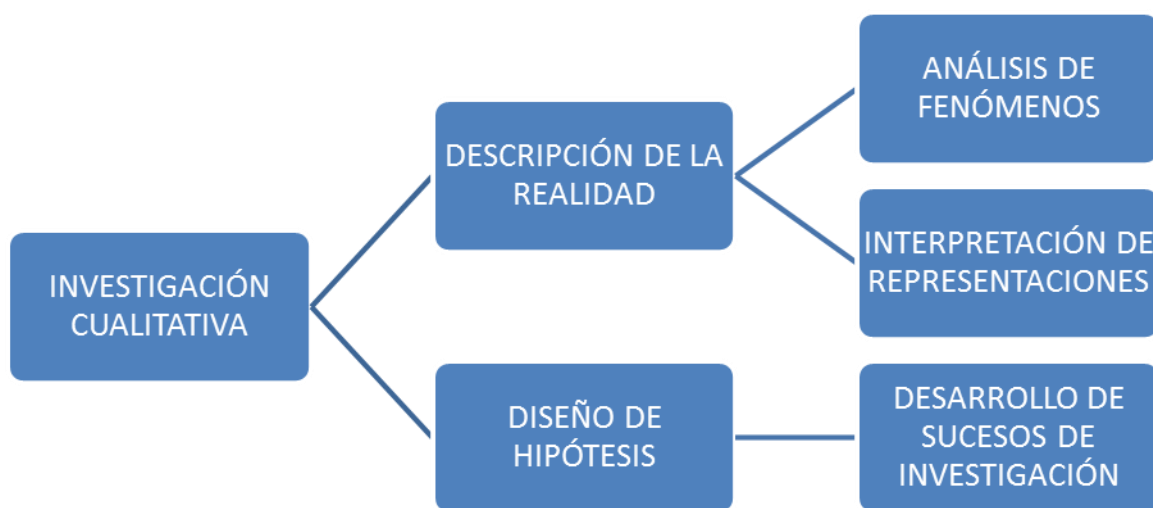


Fig. 4 Esquema de trabajo de la investigación cualitativa. Fuente: Elaboración propia

La metodología cualitativa permite establecer conexiones, destacando las necesidades de interpretación de los datos obtenidos a partir de las relaciones

entre los resultados de los diseños de trabajo, con el fin de buscar unos resultados precisos que ayuden a visualizar los mecanismos adecuados que ayuden a medir la validez de los estudios realizados frente a la construcción de conocimiento en fenómenos de la Mecánica Cuántica.

Los procesos de investigación se encuentran ligados al objeto de estudio; en el caso de la construcción de conocimiento en la Mecánica Cuántica, particularmente el análisis del fenómeno de la dualidad onda – partícula desde lo fenomenológico, es de vital importancia tener en cuenta que se pueden utilizar la metodología cualitativa, ya que se deben determinar las concepciones que se establecen al abordar fenomenológicamente un estudio en Mecánica Cuántica.

En este contexto, la investigación cualitativa permite trabajar con los datos obtenidos en el proceso de recolección de información, en donde cobra una gran importancia la observación del fenómeno a estudiar, ya que, en el trabajo con los aspectos cualitativos existe la posibilidad de caracterizar los elementos analizados en el fenómeno estudiado.

4.2 ENFOQUE METODOLÓGICO

El enfoque metodológico trabajado en el desarrollo de la tesis doctoral está centrado en la fenomenología, particularmente en el abordaje que se hace desde las ciencias para entender el fenómeno estudiado desde su interior, con el propósito de conocer con mayor precisión las contextualizaciones conceptuales realizadas por los participantes sobre el fenómeno estudiado.

De acuerdo con *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (sf), la fenomenología se puede definir como

El estudio de los "fenómenos": las apariencias de las cosas, o las cosas tal y como aparecen en nuestra experiencia, o las formas en las que se experimenta con los objetos, así los objetos tienen significados en nuestra experiencia. La fenomenología estudia la experiencia consciente como experimento desde el punto de vista subjetivo de la persona (p.1).

De esta forma, la fenomenología en ciencias se pregunta por formas de experimentación y explicación de los objetos de estudio, a partir de sus descripciones y conceptualizaciones.

Según Husserl (1982) la fenomenología se fundamenta en el análisis de las siguientes cuestiones,

Si nos limitamos a la mera fenomenología del conocimiento, trátase en ella de la *esencia del conocimiento*, mostrable de modo directo e intuitivo; es decir, de una mostración intuitiva y una separación analítica de las múltiples especies de fenómenos que abarca la amplia rúbrica de conocimiento... La cuestión es: qué se encuentra en estos fenómenos y qué se basa esencialmente sobre ellos; de qué factores constan; qué posibilidades de compleción fundan (siempre por esencia y de modo puramente inmanente); y qué relaciones genéricas toman de aquí su origen. (p. 67)

El enfoque fenomenológico planteado por Husserl (1982) permite establecer correlaciones entre el objeto de conocimiento, su esencia, su sentido y el sujeto que conoce, ya que se centra en los fines, la orientación del conocimiento en las acciones humanas y los desarrollos que realiza el sujeto cuando reconoce ese conocimiento. En este contexto, el sujeto conoce el mundo y lo caracteriza a través de los objetos que hacen parte de su pensamiento, siendo capaz de asumir la realidad propia y construyendo interacciones con lo que le rodea.

Al contextualizar este enfoque en la formulación de la tesis doctoral, se puede encontrar que la fenomenología establece formas de abordar el conocimiento desde las disciplinas, a partir de las explicaciones en torno a los fenómenos y su forma de contextualización en los esquemas de conocimiento, lo

que se puede visualizar desde la educación en ciencias al tratar los procesos de acercamiento de la construcción del fenómeno.

Desde la intencionalidad de la transición de las explicaciones de los fenómenos de naturaleza del modo 1 de producción al modo 2 de producción de conocimiento, que es el eje de construcción de perspectivas de análisis del conocimiento desarrollado en la tesis doctoral como parte de la generación de nuevos aportes en la educación en ciencias.

Desde los aspectos teóricos, la fenomenología expuesta por Husserl proporciona un camino de conocimiento aplicado a las ciencias, ya que las construcciones teóricas que se han realizado no han dependido de la evolución temporal; lo cual implica que los desarrollos de conocimiento no han sido determinados por el tiempo sino por la evolución de los fenómenos, como el caso de la física que ha transitado de los escenarios clásicos a los modernos.

Para Husserl, la ciencia posee todas las características para alcanzar la comprensión del objeto de conocimiento, a través de las percepciones y la posibilidad de acercamiento a los esquemas de trabajos desde las vivencias de cada sujeto participante de la investigación haya logrado en la aplicación de instrumentos.

Como enfoque metodológico, la fenomenología puede considerarse como un esquema de construcción de conocimiento, según Marín (2012), "... la fenomenología como enfoque metodológico de investigación en ciencias sociales y humanas y en las ciencias de la educación y la pedagogía, describe la estructura de la experiencia tal y como se presentan los hechos a la conciencia y explora cuál es la esencia..." (p. 130); entonces bajo este aspecto la explicación de los fenómenos darían las bases concretas en el estudio de uno de los fenómenos cruciales de la Mecánica Cuántica: la dualidad onda – partícula desde el modo 2 de producción de conocimiento.

4.3 MÉTODO

La fenomenología descrita como método se apoya en el estudio de los fenómenos tal como son en su realidad, de acuerdo con Martínez (2004) “La fenomenología y su método nacieron y se desarrollaron para estudiar estas realidades como son en sí, dejándolas que se manifiesten por si mismas sin constreñir su estructura desde afuera, sino respetándola en su totalidad” (p. 137); en este sentido, al vislumbrar la fenomenología como una estructura de análisis del fenómeno trabajado en el desarrollo de la tesis doctoral, se puede ver que proporciona los elementos necesarios para identificar los escenarios conceptuales transitados por los participantes a medida que se desarrollaba la aplicación de los instrumentos propuestos.

Así, pues, el énfasis primordial de la fenomenología trabajada por Husserl se encuentra ubicada en el “fenómeno mismo”, lo que permite identificar que todo el análisis gira en torno a las realidades que subyacen del estudio de los fenómenos, es decir, la fenomenología como método proporciona los esquemas propios de estudio de la realidad frente a un fenómeno y las vivencias que junto a él se evidencian en el desarrollo de su comprensión del entorno.

En este sentido, la fenomenología como método introduce una serie de etapas que constituyen los elementos primordiales de análisis de un fenómeno característico, Martínez (2004) afirma “... la base fenomenológica, se trata de reducir al mínimo la influencia de las propias teorías, ideas e intereses y se haga un gran esfuerzo por captar toda la realidad que se presenta de manera vivencial a nuestra conciencia”, (p. 140); lo anterior, proporciona los aspectos básicos de relación y análisis en el desarrollo de la tesis doctoral.

Para realizar un análisis metodológico partiendo de la fenomenología como enfoque de trabajo, se debe tener en cuenta las siguientes fases, según Martínez (2004):

1. Aclaración de presupuestos: En esta etapa se busca que el investigador reduzca al mínimo todas aquellas ideas previas que pueden ser conducentes al análisis del fenómeno estudiado, con el fin, de que prevalezcan solamente las ideas que contemplan una importancia necesaria para el desarrollo del proceso investigativo y además considere que son exclusivas y necesarias para los análisis posteriores.
2. Descripción de los fenómenos: Desde la fenomenología como método se busca que la descripción de los fenómenos sea lo más completa posible, ya que permite la identificación total de los escenarios y su impacto característico en la construcción de explicaciones relevantes de las organizaciones conceptuales involucradas en cada contexto determinado.

En este aspecto se privilegia la “observación fenomenológica” la cual proporciona la ruta de trabajo en la recolección y análisis de los datos a partir de descripciones particulares de las situaciones contempladas en cada fenómeno estudiado.

3. Reconocimiento de estructuras: En esta etapa se busca que las realidades captadas se estudien a profundidad, teniendo en cuenta, la inmersión en el estudio del fenómeno descrito, revisando las representaciones y los significados encontrados en cada uno de los hallazgos, después de la aplicación de instrumentos.

Un elemento primordial que establece la fenomenología como método radica en la determinación de las representaciones y significaciones de los aspectos conceptuales que han sido hallados en los procesos descriptivos a partir de los instrumentos aplicados a los participantes.

De acuerdo a las fases mencionadas anteriormente, el proceso metodológico que se llevó a cabo en el desarrollo de la tesis doctoral, permite reconocer en la aplicación de los instrumentos un proceso descriptivo, en el cual a través de imágenes, palabras contextualizadas y entornos de análisis del fenómeno se genera una perspectiva de conocimiento desde el modo 2, ya que identifica los elementos de conocimiento necesarios para describir una visión objetiva de los fenómenos.

4.4 DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico que se plantea en el desarrollo de la tesis doctoral será un diseño cualitativo en el cual se combina el análisis cualitativo y descriptivo de la aplicación de procesos de trabajo con los sujetos y los instrumentos aplicados, con el objetivo de contrastar los resultados con los instrumentos utilizados en los diferentes grupos de población.

En este sentido, el enfoque metodológico empleado en la tesis doctoral desde el espectro de las ciencias naturales, permite reconocer el fenómeno estudiado en toda su dimensión, en el caso del análisis de la construcción de conocimiento en la dualidad onda – partícula proporciona la identificación de los aspectos conceptuales que se lograron evidenciar en el trabajo con los estudiantes a través de los instrumentos aplicados.

De la misma manera, Husserl citado por Szilasi (1959) afirma que “...*la fenomenología es describir como fenómenos las acciones subjetivas de conocimiento*”, (p. 45); lo que posibilita el acercamiento completo a los aspectos conceptuales y su interacción con lo que se conoce del fenómeno, desarrollando una construcción de conocimiento real sobre un fenómeno particular.

Desde este aspecto, se enmarca una serie de aportes característicos del enfoque fenomenológico, los cuales permiten establecer abordajes propios del fenómeno a analizar, a través de la información obtenida en los instrumentos aplicados, mostrando que la aplicación de los instrumentos logró identificar los aspectos cualitativos de la conceptualización del fenómeno dualidad onda – partícula en un contexto descriptivo, analítico y de profundidad contextual.

De acuerdo a la pregunta de investigación y a los objetivos planteados en la tesis doctoral, la investigación se estructuró en 3 fases principales, determinadas a partir de la aplicación de una serie de instrumentos apoyados en el análisis obtenido a partir de la utilización de software especializado.

La estructura diseñada para el abordaje y ejecución de la aplicación de los instrumentos a la población participante, contó con la descripción dada en el siguiente esquema metodológico, el cual proporcionó los elementos de seguimiento de los hallazgos a medida que se avanzaba en la investigación.

La primera fase consistió en la aplicación del instrumento Cuestionario de Múltiples Ítems (CMI), en el cual se buscaba que los participantes a través del análisis de una serie de palabras identificarán los contextos en donde podrán establecerse escenarios de conocimiento para la descripción de dichas palabras.

La segunda fase consistió en la aplicación de un taller de contextos, en donde a través de 4 actividades secuenciales se les pedía a los participantes que encontrarán espacios de contexto que les permitiera encontrar conexiones entre las palabras y los espacios de discusión para identificar los desarrollos en la producción de conocimiento del fenómeno estudiado.

La tercera fase consistió en determinar los compromisos de cada participante con el proceso de producción de conocimiento a través de una entrevista que permitiera encontrar esa interacción de los esquemas de

conocimiento con el análisis de un fenómeno de la Mecánica Cuántica. A continuación se encuentra el esquema que sintetiza el diseño metodológico de la investigación:

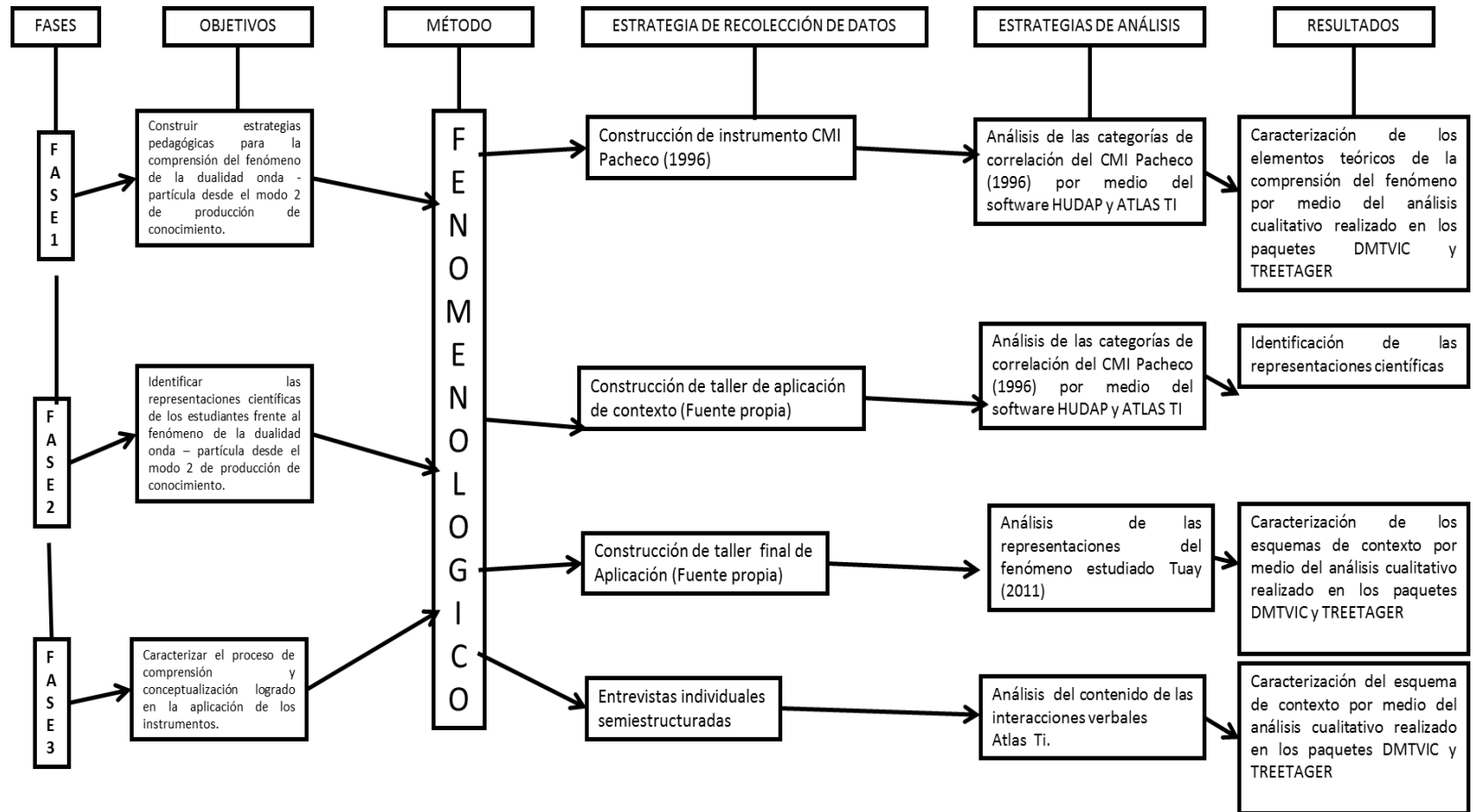


Fig 5. Diseño Metodológico General (Fuente: Elaboración propia)

4.4.1 Unidad de Análisis

Desde el planteamiento y puesta en marcha del diseño metodológico se contó con la participación de un grupo de estudiantes que contaban con las características presupuestadas con el estudio que se iba a realizar en el desarrollo de la tesis doctoral. El grupo estuvo conformado por 40 estudiantes de la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional y de la Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas de la Fundación Universitaria del Área Andina. Los estudiantes en el momento del consentimiento de participación en la investigación se encontraban cursando una asignatura de Física Moderna del plan de estudios desarrollado por las dos Universidades.

El grupo de estudiantes participante en el desarrollo metodológico se encontraba cursando V semestre de la carrera, sus edades oscilaban entre los 19 a 22 años y fueron escogidos para participar como grupo de trabajo debido a que en el desarrollo de las asignaturas de sus carreras se contemplan espacios académicos que comprenden el estudio de elementos fundamentales de la Mecánica Cuántica.

Burns y Groven (2004) citado por Vanegas (2010) sostienen que para el desarrollo de una investigación de tipo cualitativo no se requiere una gran cantidad de participantes, solo se necesita que el investigador previamente haya elegido a los participantes de acuerdo a su amplia experiencia en el objeto de estudio de la investigación o en sus conocimientos particulares sobre el tema en cuestión.

De acuerdo con lo anterior, la población escogida para la aplicación de los instrumentos permitió un acercamiento completo al objeto de conocimiento desarrollado en el proceso de investigación, ya que evidencia la comprensión

en los instrumentos aplicados y su participación fluida en el desarrollo de los mismos.

4.5 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los instrumentos de recolección de datos que se trabajaron en el desarrollo de la investigación se encuentran determinados por medio de la metodología expuesta; en este sentido, se buscaron instrumentos que aportaron desde lo cualitativo las equivalencias de las construcciones teóricas de los estudiantes al abordar un proceso de educación en Mecánica Cuántica desde la producción de conocimiento.

De igual manera, se trabajó con un instrumento que permita evaluar la pertinencia de las representaciones propuestas por los estudiantes al analizar los diferentes fenómenos de la Mecánica Cuántica desde lo descriptivo, de acuerdo con Ibarra y Mormann (1998) “la significatividad de la representación queda establecido en el marco de las aplicaciones acotado intencionalmente por el sujeto interpretante”, (p. 106); lo que implica la posibilidad de interrelacionar los aspectos de conocimiento desarrollados por los participantes de la unidad de análisis, con el fin de establecer procesos de formalización del fenómeno dualidad onda – partícula a través del modo 2 de producción de conocimiento.

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo a través de la implementación de tres fases de trabajo descritas a continuación:

- Fase I

En esta fase se realizó la búsqueda de la población participante, procurando realizar los procedimientos de consentimiento informado, en donde el participante expresaba el interés de participar en la investigación. Agotado este paso, se procedió a realizar la construcción del instrumento CMI (Cuestionario

Múltiple de Ítems), teniendo en cuenta el objeto de estudio y las palabras que se iban a trabajar con los participantes, con la finalidad de que los elementos elaborados fueran similares para cada grupo de estudiantes.

La primera fase de implementación consiste en la aplicación de un instrumento denominado Clasificación Múltiple de Ítems (CMI), según Pacheco (sf) “... una escala multidimensional por medio de la cual se pretende la evaluación de variables con características cuantificables o no, permitiendo el surgimiento espontáneo de conceptos y categorías por parte del entrevistado”, (p. 26); este instrumento permite ampliar las estructuras conceptuales de los participantes de un estudio de tipo cualitativo.

El instrumento empleado tuvo como finalidad observar cómo los estudiantes conceptualizan algunos aspectos sobre el análisis del fenómeno dualidad onda – partícula, que se estudia en los contextos que se desarrollan en la Mecánica Cuántica, para ello se entregaron 28 tarjetas con palabras características correspondientes al fenómeno analizado de la dualidad onda – partícula y 4 tarjetas en blanco. (Anexo 2, p. 179).

Las instrucciones de trabajo para los estudiantes consistían en la clasificación de las tarjetas entregadas realizando grupos aleatorios, y a cada grupo debían asignarle una categoría diferente, podían elegir cualquier criterio para clasificar las palabras dadas sin que existiera un criterio único definido para realizar dicha clasificación.

Posteriormente, debían registrar la información obtenida en un formato que les permitía caracterizar el criterio y el subcriterio, que se establecía a partir de los grupos realizados en la clasificación de las tarjetas, logrando determinar escenarios de trabajo paralelos a la situación planteada, ya que, cada estudiante podía encontrar grupos disimiles entre sí, pero que conservaban características únicas en cada grupo armado.

La aplicación de este instrumento permitió identificar la cohesión de las palabras y la coherencia entre los conceptos descritos, a partir del análisis inicial de las palabras propuestas y su relación contextual, se identificó que la utilización de referencias al contexto proporciona elementos estructurales para la comprensión de un nuevo conocimiento y la adquisición de procesos cognitivos inherentes a la explicación de fenómenos físicos interrelacionados. (Anexo 1, p. 177)

- Fase 2

En esta fase se realizó la construcción de un taller de trabajo individual y colectivo que vinculará los aspectos centrales de la observación del fenómeno descrito en la primera fase, procurando que los participantes percibieran el entorno adecuado para la descripción de un fenómeno físico particular: la dualidad onda – partícula.

La segunda fase de la aplicación de instrumentos consistió en la puesta en marcha de un taller de trabajo individual y colectivo al mismo tiempo, en donde se buscaba que los estudiantes identificarán los elementos necesarios para construir un esquema de significación contextual del fenómeno dualidad onda – partícula con el objetivo de generar escenarios cognitivos de análisis del fenómeno desde la explicación y la construcción de conocimiento.

La aplicación de este instrumento permitió establecer las categorías de análisis a partir de las estructuras conceptuales presentadas en el desarrollo de los ítems de trabajo del taller, a su vez, permitió identificar los escenarios de construcción de conocimiento de cada grupo de trabajo, evidenciado por el desarrollo de cada una de sus perspectivas profesionales de carrera. (Anexo 5, p. 183)

- Fase 3

Esta fase consistió en la aplicación de una entrevista semiestructurada a 3 participantes de cada grupo de estudiantes, con la finalidad de establecer un esquema de triangulación de la información de los resultados obtenidos en los dos primeros instrumentos, a fin de que se estableciera la validez conceptual de las categorías de análisis de resultados obtenidos en el procesamiento de información que se realizó a través del software HUDAP y ATLAS TI.

La entrevista semiestructurada que se les aplicó a los participantes contenía preguntas de tipo descriptivo, las cuales buscaban un acercamiento al objeto de conocimiento, en donde se pudiera establecer un proceso de coherencia con el modo 2 de producción de conocimiento, a partir de la validez del ejercicio de aplicación de preguntas contextualizadas a los participantes. (Anexo 7, p. 189)

En este proceso de aplicación, es importante destacar la definición de categorías de análisis previas, las cuales fundamentaron el esquema de triangulación de instrumentos, ya que se procuró en todo el trabajo con los participantes encontrar estructuras de validez interna desde lo teórico, lo metodológico y lo procedimental, que dieran cuenta de un análisis reflexivo y coherente con el tipo de investigación utilizada.

El instrumento denominado CMI (Clasificación Múltiple de Ítems) se reconoce como una herramienta de recolección de información desde la metodología cualitativa, en la cual se busca que en el proceso de aplicación los participantes reconozcan una serie de categorías y esquemas analizados en el trabajo con el instrumento.

En el desarrollo del trabajo de investigación el instrumento diseñado para trabajar CMI fueron 28 tarjetas¹ que contenían palabras características del fenómeno analizado desde el contexto teórico de la Mecánica Cuántica, así como desde el escenario que plantea el modo 2 de producción de conocimiento, con la finalidad de recabar la información necesaria para generar el análisis de los datos obtenidos. (Anexo 2, p. 179).

Páramo (2008) afirma que *“...se busca entender el sistema conceptual o conjunto de significados que son usados por las personas cuando interactúan con su ambiente, físico o social, de forma voluntaria, o cuando se busca explorar la manera cómo piensan las personas acerca de un dominio particular”*. (p. 161), lo que permitió trabajar con un instrumento que proporcionará una serie de criterios de comprensión sobre el fenómeno presentado.

Este instrumento es versátil ya que por medio de la construcción de tarjetas asociadas a gráficas o palabras concernientes al objeto de la investigación, se logró tener una serie de interpretaciones valiosas en términos de la comprensión de los sujetos que aplicaron el instrumento.

El instrumento de taller de contextos aplicado como segundo esquema de recolección de información, permitió identificar en primera instancia, cuáles podrían ser las representaciones del fenómeno físico que los estudiantes encontraban al visualizar los escenarios reales planteados en las tarjetas del CMI.

El taller de contextos se presentó como un esquema complementario al CMI que permitiera evidenciar desde el modo 2 de producción de conocimiento el acercamiento al fenómeno a través de las representaciones y contextualizaciones de los estudiantes sobre el fenómeno analizado.

¹ Las tarjetas fueron validadas en un pilotaje realizado en el grupo 121 de Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas, de la Fundación Universitaria del Área Andina situada en Bogotá D.C., con un grupo de estudiantes, lo cual permitió ajustar el instrumento para la aplicación posterior en los demás grupos.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El capítulo 5 presenta el análisis de los resultados obtenidos en la aplicación de instrumentos, a través de las configuraciones gráficas obtenidas por las herramientas de software empleadas; lo que permitió establecer los procesos de producción de conocimiento en torno a un fenómeno físico que se evidencia en el trabajo de los estudiantes.

Al mismo tiempo, se presenta el esquema de análisis teórico evidenciado en la aplicación de los instrumentos y las incidencias de tipo epistemológico que se encontraron en los resultados obtenidos, a la luz de las redes trabajadas para constituir las representaciones de los estudiantes sobre el análisis del fenómeno estudiado.

Desde este punto de vista, el análisis realizado en los instrumentos proporcionaron las categorías (comprensión del fenómeno, formalización del fenómeno y contextos del fenómeno), las cuales establecen los escenarios de trabajo en la configuración del modo 2 de producción de conocimiento en torno a un fenómeno físico.

Finalmente, se presenta la discusión de resultados obtenidos a la luz de los esquemas de producción de conocimiento, que se puede encontrar en las herramientas trabajadas con los estudiantes, teniendo en cuenta la estructura de la fenomenología de las ciencias y el modo 2 de producción de conocimiento como ejes centrales de la tesis doctoral.

5.1 CONSTRUCCIÓN DE CATEGORÍAS A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LOS INSTRUMENTOS

El uso del instrumento de Clasificación Múltiple de Ítems (CMI) ofrece una posibilidad de encontrar un sistema que permita clasificar, cómo los estudiantes comprenden un fenómeno natural, a través de las representaciones conceptuales que se entrelazan en el desarrollo del modo 2 de producción de conocimiento, los cuales son difíciles de encontrar al usar instrumentos cerrados como encuestas, cuestionarios, entre otros, ya que su alcance está determinado en términos numéricos y no evidencian que se logra comprender de un fenómeno físico.

Como lo plantea Páramo (1999), citado por Acosta, Ovalle y otros (2010),

Estos acercamientos estadísticos tienen diversos problemas, debido a tres razones fundamentales: la primera de ellas se relaciona con el análisis de datos, puesto que éste se hace a través de métodos estadísticos, en donde se asumen como relevantes los datos lineales y claros, cuando las realidades sociales no corresponden a ello, dado que se trata de una realidad cambiante, dinámica y con pocas claridades.

La segunda tiene que ver con las limitantes del instrumento, el cual tiende a homogenizar, puesto que desde el inicio se construye desde un modelo sumamente estructurado y similar entre los participantes, negando la libertad y las diferencias individuales. La tercera razón es el privilegio por lo cuantificable, así sea en términos cualitativos. Por todo lo anterior, surge la necesidad de la CMI como una técnica que permita una cierta flexibilidad, para mejorar los procesos de investigación social y su calidad en cuanto a la confiabilidad y validez.

En este sentido, las categorías propuestas que han sido de elaboración propia y analizadas a partir de la aplicación de los instrumentos a través de una serie de mapas obtenidos en la ubicación de puntos en el espacio, que forman parte de las agrupaciones por criterio y subcriterio que cada participante realizó cuando se aplicaron los instrumentos; así que, para realizar el análisis por categoría se realizó un trazado de una serie de líneas que agrupaban los puntos próximos y con alguna relación entre sí. (Ver anexo 1)

La categoría **Formalización del Fenómeno** que se encontró en el análisis de la aplicación de los instrumentos fue establecida desde los referentes teóricos aportados por Ayala y otros (2008), quienes presentan los procesos de formalización como una estructura sólida de abordaje de los escenarios matemáticos, pero que se puede llevar a la manera de entender los fenómenos desde esquemas robustos de acercamiento al conocimiento.

De acuerdo con, Ayala y otros (2008), las características de la formalización de un fenómeno deben considerar los siguientes aspectos:

- ✓ Debe poseer una coherencia interna entre el abordaje desde la teoría y el abordaje desde la experiencia
- ✓ Debe proporcionar una estructura desde la modelación de escenarios de conocimiento
- ✓ Debe mostrar un esquema de contextualización propia del análisis de los fenómenos naturales.

Para el abordaje de esta categoría en el análisis de los instrumentos aplicados, se buscó una coherencia interna entre los criterios y los subcriterios propuestos por los participantes en el instrumento CMI; en cuanto, al taller de análisis de contextos se buscó que los participantes reconocieran en diferentes escenarios procesos de comprensión de los fenómenos que les proporcionará una idea de representación de las situaciones encontradas a la luz del fenómeno estudiado.

Ayala y otros (2008) presentan una interpretación de los procesos de formalización destacando "...Si bien, resulta razonable considerar la formalización como una categoría central para el análisis del conocimiento y los procesos cognitivos, cuando se considera la física se suele hacer distinciones con otro tipo de conocimientos" (p. 29); lo que implica que la formalización destaca los escenarios de conocimiento desde el fenómeno.

En cuanto a la aplicación del taller de contextos, el análisis de esta categoría se encuentra apoyada desde los referentes teóricos de Cabello (2003) quien afirma que los procesos trabajados por la Mecánica Cuántica proporcionan nuevos escenarios de acercamiento al conocimiento de los fenómenos naturales a través del enfoque de la producción de conocimiento.

De acuerdo con Cabello (2003), "...Gran parte del poder de la Mecánica Cuántica reside en que es un marco teórico que sirve para predecir resultados en un abanico muy amplio de sistemas físicos", (p. 4); lo que proporciona un escenario de conocimiento importante para la comprensión de un fenómeno físico a una escala diminuta que logre grandes avances en el desarrollo de la física y sus perspectivas de acercamiento al conocimiento.

En este sentido, el modo 2 de producción de conocimiento aporta una serie de connotaciones propias del análisis del fenómeno, provistas de una serie de ideas que describen el escenario donde se presenta ese conocimiento, Gibbons y otros (1997) afirman que "...Uno de los rasgos característicos del modo 2, es su distribución social, es decir, la difusión social sobre una amplia gama de lugares potenciales para la producción de conocimiento y de diferentes contextos de aplicación o uso." (p. 2); lo cual implica que el análisis de un fenómeno se encuentra determinado por los escenarios en donde impacte el proceso de acercamiento al conocimiento.

En el análisis de esta categoría mediante la aplicación del taller se buscó que a través de la realización de una serie de preguntas sobre el fenómeno analizado, por medio de las actividades propuestas a los participantes se generará un acercamiento al enfoque de la tesis doctoral desde el modo 2 de producción de conocimiento, en donde, el análisis del fenómeno se presentó desde la conformación de criterios arrojados por las preguntas realizadas en cada una de las fases de aplicación, con la finalidad de obtener una categoría apropiada al esquema de trabajo realizado con los participantes.

Como instrumento final, se aplicó una entrevista semiestructurada, que permitiera realizar un proceso de retroalimentación con los participantes de cada uno de los instrumentos aplicados con anterioridad, en este caso, el análisis de la categoría mencionada evidenció la importancia de realizar un proceso de retorno de saberes entre los participantes, con la finalidad de obtener una visión desde el acercamiento al modo 2 de producción de conocimiento de las representaciones que se lograron en los participantes sobre el fenómeno observado.

Desde el punto de vista teórico, Gibbons y otros (1997) afirman que la producción de conocimiento es un devenir constante, en el cual el saber se produce en contexto y las comprensiones desde lo teórico se logran a través de la utilización de ese conocimiento contextualizado, en donde los procesos quedan integrados y no solo se preocupan por las fronteras disciplinares del saber.

La categoría **Comprensión del Fenómeno**, desde los aportes teóricos revisados en la tesis doctoral se encuentra apoyada en Arcá y otros (1990) quien afirma "...se adquiere experiencia, se habla de ella y se usa un conocimiento que ya existe y sobre el que es preciso trabajar; y haciéndolo se generan nuevas experiencias, lenguajes y conocimientos" (p. 32); lo anterior, implica que el acercamiento al saber en una disciplina científica proporciona los elementos apropiados de conocimiento en una ciencia.

Entonces, la comprensión de un fenómeno propicia escenarios de conocimiento aplicado en las disciplinas, pero no solo desde el punto de vista del acercamiento matemático, en donde se reconocen estructuras teóricas, pero no se generan interacciones en doble vía a través de la observación del fenómeno estudiado.

En cuanto a la aplicación del instrumento CMI y el abordaje de esta categoría se logró una interpretación del fenómeno desde las consideraciones de los criterios analizados por los participantes, destacando la conexión presentada

entre los criterios de la disciplina (física) y los criterios del contexto (entorno, ciencias de la salud), en donde, se visualiza un esquema de integración desde el modo 2 de producción de conocimiento.

El taller de aplicación de contextos para esta categoría proporcionó una red de saberes aplicados hacia la responsabilidad que se tiene en el acercamiento a un fenómeno de la naturaleza, en este sentido, en el taller se logró observar que los participantes enfocan los procesos de conocimiento científico en la posibilidad de impactar los escenarios de aplicación de estructuras de saber.

De este modo, las orientaciones dadas en la aplicación del taller permitieron que los participantes identificarán las posibles caracterizaciones empleadas al describir un fenómeno físico desde las actividades realizadas, las cuales giraban en torno al fenómeno estudiado desde las connotaciones de las relaciones y asociaciones presentes en los esquemas conceptuales trabajados en el desarrollo del taller.

Así mismo, las actividades aplicadas en el taller de contextos proporcionaban un complemento al trabajo del CMI, ya que los criterios identificados en las tarjetas aplicadas, les permitían a los participantes ubicarse en un esquema de trabajo particular obtenido a partir de las estructuras de producción de conocimiento abordadas a lo largo de la aplicación de los dos instrumentos.

En cuanto a la entrevista final, esta categoría proporcionó un espacio de reconocimiento de los criterios planteados en el CMI, ya que confirmó la escogencia realizada por la mayoría de los participantes, al igual generó una sincronía entre los aspectos analizados en cada criterio y las preguntas realizadas tanto en el taller como en la entrevista, siendo esta última el instrumento que proporciona un enlace entre la observación del fenómeno y la producción de conocimiento.

La categoría **Contextualización del fenómeno**, fue propuesta desde los aportes teóricos de Clemente (2000) quien afirma "...el sistema físico como una abstracción de la realidad que se hace al seleccionar de la misma algunos observables relevantes"; (p. 7), lo que implica que desde el abordaje del fenómeno se puede percibir la realidad de los contextos de aplicación.

La contextualización de un fenómeno proporciona un esquema de conocimiento analizado al interior de las disciplinas, en donde se reconoce la importancia de la producción de conocimiento en las interacciones de los aspectos teóricos con el fenómeno observado.

En la aplicación del instrumento CMI desde el trabajo con esta categoría se logró una interpretación del fenómeno desde el modo 2 de producción de conocimiento, a partir de las estructuras de análisis proporcionadas por los criterios establecidos por los participantes, en donde se destacaron algunos criterios desde el contexto de acercamiento al fenómeno.

En cuanto al taller de aplicación de contextos en esta categoría se identificaron una serie de coincidencias en los análisis de los participantes, ya que la mayoría asocia el contexto a la presentación del fenómeno, y con este análisis se puede generar una triangulación entre los criterios y las observaciones realizadas al fenómeno descrito en la aplicación de los instrumentos.

Con respecto a la entrevista final, el análisis de esta categoría permitió encontrar una serie de enlaces entre el fenómeno observado y las caracterizaciones de cada uno de los aspectos analizados con los demás instrumentos, con la finalidad de generar un proceso de triangulación entre los resultados obtenidos en los instrumentos aplicados.

5.2 CATEGORÍA FORMALIZACIÓN DEL FENÓMENO

Esta categoría hace referencia al objeto de conocimiento —análisis desde la formalización del fenómeno, a propósito Ayala y otros (2008) afirman que “...El pensamiento y el conocimiento tanto individual como social se organiza a través del lenguaje” (p. 22), es decir, destacando los diferentes elementos que se vuelven parte fundamental del contexto donde se desarrolla la estructura de trabajo desde lo fenomenológico. Dentro de esta categoría, se encuentra que los participantes en la aplicación del instrumento CMI agruparon las tarjetas entregadas de acuerdo a criterios propios, todas las palabras sugeridas en el instrumento son diferentes, al relacionarlas, se conectan, con la observación de un fenómeno físico en donde se encuentra presente el análisis de la dualidad onda – partícula.

Los participantes clasificaron las tarjetas que contenían una serie de palabras correspondientes a un fenómeno de la física donde se observa la dualidad onda – partícula enumeradas desde el número 1 hasta el número 28, así que (19, 23, 24, 28, 10) (ver anexo 2) como parte de un criterio denominado: —procedimientos -, al relacionar los criterios dados por los participantes con la categoría mencionada, se puede encontrar que ellos tienden a relacionar la formalización del fenómeno con dos elementos que les son cercanos: relación física y medio ambiente; los cuales permiten identificar aspectos de la aplicación cotidiana del fenómeno estudiado.

Por lo tanto, de acuerdo con los resultados arrojados y su análisis, se podría pensar que el criterio relación física les representa una relación con un entorno contextual, donde desarrollan procesos de identidad académica, de encuentro de saberes, en tanto que la tarjeta vinculada les podría representar una relación con el entorno académico trabajado desde las ciencias.

Según Ayala y otros (2008) “...la formalización puede ser considerada como un proceso natural del pensamiento o de todo proceso cognitivo en la medida en

que el lenguaje común es en sí mismo un proceso de formalización” (p. 17), es importante entender la formalización como esquema de conocimiento en contexto, ya que, desde el modo 2 de producción de conocimiento se puede vislumbrar la posibilidad de comprender un fenómeno desde su relación con el contexto, y al mismo tiempo, la organización de los saberes en la caracterización de los fenómenos estudiados.

El criterio de ciencias básicas ha sido entendido de diferentes maneras de acuerdo con el interés particular que se tenga para cada disciplina académica que sea componente de este complejo de disciplinas. Es, por esto, que se encuentran investigaciones en torno a las disciplinas particulares de las ciencias básicas, como la Física, la Biología, la Química, entre otras.

Ahora bien, teniendo en cuenta que la Mecánica Cuántica, de acuerdo con Bombal (1999) “...trata de describir con precisión los acontecimientos en la escala atómica y su desarrollo ha dependido en gran medida de la exactitud de los resultados numéricos obtenidos en las observaciones de los fenómenos del microcosmos” (p. 2), siendo parte de este criterio es importante, ya que permite interpretar el espacio de conocimiento abordado desde el fenómeno estudiado a través del contexto, donde confluyen diferentes componentes en esta disciplina como es el caso del fenómeno dualidad onda – partícula. En el análisis realizado desde el punto de vista gráfico es importante resaltar la ubicación central que el criterio tuvo dentro del escalograma y su conexión con los otros criterios implícitos.

Los participantes agruparon las tarjetas (1, 2, 3 y 11) (ver Anexo 2) dentro de la categoría formalización del fenómeno; para la descripción de la agrupación mencionada, los criterios trabajados hicieron referencia a (imagen, electrón, trayectoria y naturaleza), a partir de las asociaciones realizadas se puede decir que los participantes consideran importantes las relaciones de reciprocidad entre los criterios trabajados en las tarjetas, pues ellas hacen parte de su

conocimiento cotidiano al abordar un fenómeno físico a través de una situación significativa.

A partir de este resultado, se puede plantear que la categoría de formalización del fenómeno aborda criterios como imagen que lo relacionan con los desarrollos interdisciplinarios en que se incorpora el análisis desde la física a situaciones cotidianas o situaciones abordadas desde saberes como la radiología, que sirvió como un elemento particular del contexto.

Los gráficos obtenidos en la aplicación del CMI muestran puntos en el espacio (ver anexo 3), así que para el proceso de hallazgos en la tesis doctoral se trazó diferentes líneas que agrupaban los puntos más cercanos y que, presentarán alguna relación entre sí, con el fin de obtener un grupo de hallazgos relacionados con cada uno de las categorías y los criterios analizados.

Las categorías que se utilizaron para analizar los datos fueron establecidas desde los referentes teóricos del análisis del fenómeno, específicamente, a partir del trabajo desde la fenomenología de las ciencias y el desarrollo de procesos de comprensión desde los fenómenos y su desarrollo en la estructura de una teoría en física.

En la aplicación del taller de contextos, se realizó el proceso de trabajo en 3 sesiones: la sesión 1 fue un trabajo individual en la cual los participantes a través de la observación de un video del Dr. Quamtum y la realización de una lectura contextual sobre el análisis de los rayos X iniciaban la exploración sobre la caracterización del fenómeno dualidad onda – partícula.

El objetivo de esta sesión de trabajo fue identificar la percepción de los estudiantes sobre fenómenos físicos a través de la visualización de proyecciones y el análisis de contexto, con el fin de caracterizar la representación que podían construir los participantes a lo largo del trabajo de campo.

En el cierre de esta sesión los participantes realizaban la construcción de un mapa conceptual en grupos de trabajo, con la finalidad de que destacarán las relaciones cognitivas encontradas, en torno al fenómeno analizado a través de las situaciones presentadas en la lectura y el video.

Los resultados de la sesión 1 de trabajo estuvieron caracterizados a partir de la estructura cognitiva de las palabras clave en cada pregunta realizada en el instrumento aplicado (ver anexo 4), ya que para el análisis inicial de esta sesión se identificó una palabra clave que permitiera clasificar las respuestas de los participantes de acuerdo al criterio personal. De tal manera, que cada respuesta en las preguntas realizadas contarán con un aspecto estándar, el cual permitiera centrar el análisis en el fenómeno físico observado y no en el posible formalismo que se puede interpretar a partir del fenómeno trabajado.

Es importante destacar que el análisis realizado en esta primera sesión, muestra que los participantes asocian el fenómeno dualidad onda – partícula, a todo lo referente con imagen y proyección de rayo X, encontrando una coincidencia muy alta con los criterios analizados en el instrumento CMI aplicado en la primera parte del trabajo de campo.

Así pues, en el análisis de los aspectos encontrados en esta sesión, se puede ver que los participantes asocian el fenómeno trabajado, con elementos físicos como materia, energía, proyección de luz y escala atómica, los cuales serían elementos importantes en la construcción de las representaciones del fenómeno analizado, como parte del análisis desde el modo 2 de producción de conocimiento.

En la sesión 2 del taller de aplicación de contextos el objetivo estuvo centrado en analizar los contextos y el significado físico de fenómenos naturales en el contraste de herramientas gráficas (comics) que generen espacios de producción de conocimiento; en donde los participantes a través de la observación

de imágenes y el trabajo en pequeños grupos debían caracterizar el fenómeno estudiado.

En el cierre de la sesión 2 los participantes realizaban la construcción de un esquema gráfico (comic) en grupos de trabajo, con la finalidad de que propusieran un entorno particular, que denotará el contexto presentado en los comics evaluados y la estructura desde la producción de conocimiento sobre las relaciones encontradas desde el análisis de contextos.

Los resultados de la sesión 2 de trabajo estuvieron caracterizados a partir de las imágenes presentadas en el instrumento aplicado (ver anexo 5), en donde, las imágenes presentadas a los participantes destacaban de una forma simbólica el fenómeno de la dualidad onda – partícula, pero desde un contexto situacional sin inducir al participante en la explicación de la situación física analizada.

En la sesión se trabajó de tal manera, que en cada imagen presentada los participantes contarán con un amplio escenario de caracterización del fenómeno, el cual permitiera centrar el análisis en el fenómeno físico desde una perspectiva de la representación desde el esquema de la producción de conocimiento.

Es importante destacar que el análisis realizado en esta segunda sesión, muestra que los participantes asocian el fenómeno dualidad onda – partícula, a todo lo referente con situaciones simbólicas desde los contextos de la disciplina, pero sin necesidad de utilizar un formalismo matemático, sino un proceso de formalización desde la observación para caracterizar las dimensiones del conocimiento físico.

Desde esta perspectiva, al analizar los aspectos encontrados en esta sesión, se puede ver que los participantes asocian el fenómeno trabajado, con descripciones de procesos físicos como la emisión de rayos X, la trayectoria de la luz, entre otros, los cuales proporcionan una mirada desde el contexto que se

puede interrelacionar con los elementos expuestos en la aplicación del instrumento CMI.

Los resultados hallados en la sesión 3 de trabajo se obtuvieron a partir de los procesos de significación realizados con los estudiantes (ver anexo 6), en los cuales, los participantes a través de la aplicación de las sesiones anteriores identificaban aspectos de tipo cognitivo y ético en las actividades realizadas, con el fin de establecer relaciones de conocimiento en contexto de las situaciones analizadas.

Para describir estos resultados se utilizaron los paquetes estadísticos DTMVIC (Datos y Test Mining: verificación, inferencia y clasificación) y TREETAGER los cuales permiten realizar un análisis de forma cualitativa a partir de las unidades básicas de cada texto, en el caso desarrollado de la tesis doctoral se hace referencia a las palabras empleadas en el instrumento CMI y en el análisis de las imágenes realizado por los estudiantes en el taller de contextos.

De acuerdo con Ueda y Perea (2010) el análisis textual se fundamenta en un proceso de lematización, el cual “...consiste en asignar una forma representativa a distintas formas concretas variables: formas conjugadas del verbo, cambios según el género y número de adjetivos y sustantivos, etc” (p.1), en la tesis doctoral se aplicó este proceso en la interpretación de los resultados obtenidos en el taller de aplicación y en las respuestas de los participantes que realizaron la entrevista semiestructurada, con el fin de obtener aspectos convergentes en las respuestas de los participantes al aplicar cada uno de los instrumentos de recolección de información, que permitieran caracterizar el esquema de pensamiento de los participantes desde el modo 2 de producción de conocimiento.

De tal manera, que en esta sesión se buscaba que los participantes evaluarán los aspectos cognitivos, de análisis y de compromiso que se podía establecer a través del estudio de un fenómeno físico como la dualidad onda –

partícula, desde un contexto particular como es la formación de imagen a través de un rayo X.

En esta sesión, los participantes asociaban el fenómeno dualidad onda – partícula, a las imágenes observadas en los comics, ya que les permitía asociar el fenómeno a una situación gráfica concreta, en donde, podían encontrar estructuras de conocimiento propias desde el análisis del fenómeno y su contexto.

De acuerdo con lo analizado en esta sesión, se puede observar que el fenómeno estudiado proporcionó un reconocimiento desde el contexto a estructuras físicas definidas, como es el caso del concepto de onda y de partícula, las cuales proporcionan un fundamento importante en el esquema de producción de conocimiento, donde los participantes son sujetos activos que procuran por su desarrollo de conocimiento en el proceso.

En el cierre de la aplicación de los instrumentos se aplicó una entrevista semiestructurada a 5 participantes de todo el proceso, con la finalidad de realizar un seguimiento sobre las acciones realizadas en el proceso de trabajado aplicado destacando que en una de las preguntas realizadas (ver anexo 7), los participantes asociaron que la representación de un fenómeno en contexto se puede caracterizar desde la formalización del fenómeno.

5.3 CATEGORÍA COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO

El desarrollo de esta categoría se determina desde el análisis al objeto de conocimiento a partir de las estructuras de comprensión del fenómeno, de acuerdo con Gibbons y otros (1997) la comprensión de un fenómeno puede explicarse desde la nueva producción de conocimiento, desde las interrelaciones que se pueden obtener al acercarse a un nivel de comprensión particular de una estructura de conocimiento.

En la aplicación del instrumento CMI los participantes realizaron la agrupación de las tarjetas entregadas de acuerdo a criterios propios, todas las palabras sugeridas en el instrumento eran diferentes, al relacionarlas, se conectan, con la observación de un fenómeno físico que en el desarrollo de la tesis doctoral es la dualidad onda – partícula.

Uno de los criterios que obtuvo mayor cantidad de tarjetas asignadas por los participantes fue ciencias de la salud (23, 4, 20, 22, 3, 2, 4, 30, 31, 32) (ver anexo 1), ya que para esta categoría asumieron que la comprensión del fenómeno radica en las relaciones presentadas entre elementos como: estudios y aplicaciones, las cuales permiten establecer patrones de análisis desde las situaciones de aplicación del fenómeno.

En este sentido, los resultados arrojados por el instrumento aplicado proporcionan una descripción desde la situación evaluada, ya que al utilizar palabras que dimensionan un fenómeno particular se obtienen relaciones desde la aplicación, las cuales evidencian procesos de comprensión de esquemas de conocimiento desde la aplicación sin desarrollar formalismos matemáticos complejos.

De acuerdo con Concari (2001), la comprensión de un fenómeno está descrita como una relación semántica entre la teoría que describen los fenómenos

como productos de las construcciones humanas, ya que se considera como una representación del mundo físico.

El criterio denominado por los participantes naturaleza agrupa a los subcriterios entorno y medio ambiente, entendiéndose que al abordar el análisis de un fenómeno que sucede a partir de las relaciones de significación de un grupo de palabras, proporciona un esquema de trabajo desde la ubicación del objeto de conocimiento en un patrón de referencia.

Los resultados encontrados desde el análisis gráfico, permitieron destacar que la proximidad del criterio naturaleza con el criterio diagnóstico, determinan las relaciones desde lo conceptual abordado en el fenómeno incorporado a los procesos de acercamiento a la producción de nuevo conocimiento, reconocido en la caracterización de las ocurrencias entre las categorías.

En el análisis realizado en este criterio se encontró que los participantes agruparon las tarjetas (10, 5, 27, 28, 17, 25, 13, 24, 23) dentro de la categoría comprensión del fenómeno, entonces, al revisar las proximidades del escalograma en donde se presenta la información gráfica de los criterios, se puede decir que los participantes evidencian que la comprensión de un fenómeno se establece a partir de las relaciones cognitivas que se encuentran en la reciprocidad de los criterios y el número de criterios ajustados a dicha categoría.

A partir de estos resultados, se puede plantear que la categoría de comprensión del fenómeno aborda criterios como sistemas que proporcionan un análisis del fenómeno a través del contexto en donde se desarrollan los aspectos físicos en la comprensión teórica y experimental del fenómeno.

Desde las gráficas obtenidas en la aplicación del CMI se muestran puntos en el espacio (ver anexo 3), en donde se puede ver que en las proximidades de los puntos se podían encontrar regiones del espacio marcado por la contigüidad

de puntos cercanos, esto implica una correlación entre los criterios vinculados a la categoría trabajada.

Como se mencionó en la categoría anterior, la aplicación del taller de contextos se realizó en 3 sesiones de trabajo, con las mismas indicaciones presentadas en la categoría anterior, anotando que el análisis realizado en esta categoría dependía de los esquemas de conocimiento denotados por el desarrollo del tema.

En la sesión 1 de trabajo los resultados estuvieron centrados en la estructura de las palabras claves encontradas en cada pregunta, las cuales hacían referencia a los subcriterios encontrados en la aplicación de cada criterio, en los cuales se podía identificar un escenario común, que permitió clasificar las respuestas de cada participante en un contexto determinado.

En el análisis de este aspecto, se muestra en el anexo 6 que los participantes clasificaron las preguntas respondidas en torno a los subcriterios universo, mundo, entorno y medio ambiente; encontrando una coincidencia con los criterios encontrados al aplicar el instrumento CMI, que proporciona características de apropiación del contexto en la comprensión del fenómeno.

Desde esta perspectiva, los criterios evaluados en esta categoría proporcionan una caracterización de los aspectos físicos del fenómeno, según Gibbons y otros (1997) "... el nuevo modo de producción de conocimiento supone la existencia de diferentes mecanismos de generar conocimiento y comunicarlo" (p. 2); lo anterior, implica en los resultados obtenidos inicialmente para esta categoría una configuración de los saberes reconocidos en el taller a partir del análisis fenomenológico.

Al igual que en la categoría de formalización del fenómeno el objetivo de la sesión 2 del taller de aplicación de contextos se centró en los procesos de

significación de los fenómenos naturales, a través del análisis de comics referidos al fenómeno en estudio: dualidad onda – partícula reflejada en un contexto como es el caso de los rayos X en radiología.

De este modo, los resultados de la sesión 2 de trabajo en el taller de aplicación de contextos se caracterizaron por medio de las imágenes observadas (ver anexo 5), a partir de las relaciones y asociaciones que los participantes evidenciaron en los comics presentados como una representación desde el contexto de las conceptualizaciones trabajadas desde la visualización de cada imagen.

En síntesis, el análisis de la sesión de trabajo 2 proporciona los elementos necesarios para describir el fenómeno dualidad onda – partícula a través de las estructuras de conocimiento identificadas en los procesos de asociación de las preguntas con el contexto desarrollo como esquema de visualización del fenómeno a través de una imagen.

De acuerdo con lo anterior, los hallazgos en la sesión 3 de trabajo proporcionaron un esquema de significados con los participantes (ver anexo 6), ya que se realizó un proceso de cierre de los instrumentos aplicados, con la finalidad de identificar los esquemas de conocimiento logrados en ellos luego de la aplicación de las sesiones de trabajo de campo.

Por tal razón, en esta sesión se buscó que los participantes analizaran desde aspectos éticos, cognitivos y de apropiación del fenómeno cómo se podrían establecer relaciones cognitivas aplicadas a su entorno sobre un fenómeno físico y su contexto para mostrar la aplicabilidad en lo cotidiano.

De tal forma, que se plantearon una serie de preguntas contextualizadas que propiciaron una búsqueda de relaciones entre el fenómeno y las situaciones presentadas, en las cuales los participantes buscaban esquemas de conocimiento

asociados al tipo de trabajo presentado, contextualizado en la observación y aplicación de la cotidianidad en el análisis físico de una situación.

Como cierre del proceso de trabajo de campo se aplicó una entrevista semiestructurada a 5 participantes del proceso, en donde se buscó generar una retroalimentación de los procesos aplicados en el trabajo con el instrumento CMI y el taller de contextos en las tres fases de desarrollo, con el objetivo de identificar las acciones que se dan lugar en la aplicación de un fenómeno en contexto, que permite ampliar el abordaje de temas en física a través de un acercamiento regular al fenómeno que guía los procesos de conocimiento en contexto.

5.4 CATEGORÍA CONTEXTO DEL FENÓMENO

El desarrollo de esta categoría en el trabajo de campo realizado, se ubica desde las situaciones analizadas con el objeto de conocimiento, de acuerdo con Castrillón, Freire y Rodríguez (2014) "...el dominio cuántico de fenómenos es como un espacio poblado de acontecimientos a los que puede asignarse rasgos cuánticos para su comprensión" (p. 2); lo que implica que el proceso de conocimiento define al fenómeno y su entorno para explicarlo de forma completa.

En la aplicación del instrumento CMI al analizar esta categoría, se evidenció que los participantes formaron grupos con las tarjetas entregadas de acuerdo a las indicaciones dadas en el instrumento con el objetivo de formular criterios propios con las palabras sugeridas, para generar algún tipo de relación desde el contexto respondiendo al esquema presentado para el trabajo con esta categoría.

Los participantes clasificaron las tarjetas (10, 5, 27, 13, 20, 22, 23, 2, 4, 25, 26, 27, 28) (ver anexo 1) como parte de un criterio denominado procesos físicos, en donde se puede destacar que este criterio y los subcriterios que se conformaron permiten relacionar con la categoría mencionada, ya que ellos

tienden a establecer paralelos con el contexto donde se desarrolla el fenómeno, gracias a las conexiones con lo cotidiano.

En este sentido, los resultados arrojados y su análisis, permiten pensar que el criterio radiología presenta un grupo de subcriterios que indican la correlación entre los elementos que se encuentran en el desarrollo del fenómeno dualidad onda – partícula, tal es el caso de emisión, átomo, estados, entre otros y el criterio procesos físicos, debido a que denotan un objeto de conocimiento similar.

De acuerdo con Gibbons y otros (1997), es importante entender el análisis de un fenómeno en contexto, desde el modo 2 de producción de conocimiento se puede establecer la posibilidad de interpretar el desarrollo de un fenómeno a partir de la connotación de su esquema de producción de conocimiento, en donde se establece las conexiones entre la ocurrencia del fenómeno y su aspecto cognitivo.

Ahora bien, desde el objeto de conocimiento estudiado a la luz de la Mecánica Cuántica se reconoce como esquema de conocimiento particular, que permite la incorporación del criterio expuesto, donde se puede resaltar la ubicación central que el criterio tuvo dentro del escalograma y su conexión con los otros criterios implícitos.

Los participantes agruparon las tarjetas (5, 10, 28, 27) dentro de la categoría contexto del fenómeno; en donde se describe en la agrupación mencionada criterios como (diagnóstico, paciente, examen, procedimiento), a partir de los grupos realizados por los participantes se pueden destacar las conexiones entre los criterios percibidos en esta categoría y la categoría de formalización presentada anteriormente.

Desde la parte gráfica mostrada en el análisis del escalograma en la aplicación del CMI muestran puntos en el espacio (ver anexo 3), se puede ver que en el proceso de resultados en la tesis doctoral se trazó diferentes grupos de puntos que agrupaban las regiones más cercanas y que, presentarán alguna

relación determinada para vincular el objeto de conocimiento con lo analizado en los instrumentos.

De otro lado, en la aplicación del taller de contextos, se realizó el proceso de trabajo en 3 sesiones, en la primera sesión se hizo la exploración de un video y una lectura contextual, con el fin de identificar las percepciones de los participantes y lograr un escenario de representación de las proyecciones encontradas por la aplicación de este instrumento.

En la sesión 1 de trabajo los resultados de la aplicación del taller se obtuvieron a partir de la escogencia de palabras clave en cada pregunta (ver anexo 4), dado que cada palabra clave determina un esquema de conocimiento en los aspectos analizados en cada pregunta, generando un proceso de acercamiento a la descripción del fenómeno estudiado.

De tal manera, que cada respuesta a las preguntas realizadas contaran con un aspecto estándar, el cual permitiera centrar el análisis en el fenómeno físico observado y no en el posible formalismo que se puede interpretar a partir del fenómeno trabajado, dando lugar a un proceso de contextualización del fenómeno abordado.

En todo el proceso efectuado en la aplicación del instrumento se puede destacar que el análisis realizado a los resultados de esta primera sesión, muestra que los participantes asocian el fenómeno dualidad onda – partícula, a situaciones de contexto cotidianas, tal es el caso de la radiografía como una forma real de vivenciar el suceso del comportamiento de los electrones al ser onda o partícula, generando un cruce con los resultados del instrumento CMI aplicado anteriormente. (Ver anexo 5)

La sesión 2 del taller de aplicación de contextos estuvo centrada en identificar los contextos y el significado físico de fenómenos naturales a través del contraste de comics asociados al fenómeno analizado, con la finalidad de generar

trabajo en grupo para compartir ideas y acercarse a la producción de conocimiento en contexto.

Los resultados de la sesión 2 de trabajo estuvieron caracterizados a partir de las imágenes presentadas en el instrumento aplicado (ver anexo 5), en donde, las imágenes presentadas a los participantes destacaban de una forma simbólica el fenómeno de la dualidad onda – partícula, pero desde un contexto situacional sin inducir al participante en la explicación de la situación física analizada.

Es importante enfatizar que el análisis realizado en la segunda sesión de aplicación de instrumentos, muestra que los participantes asocian el fenómeno dualidad onda – partícula, a todo lo referente con situaciones ubicadas en un contexto, lo que permite identificar que los procesos de formalización del conocimiento del fenómeno se evidencian en la comprensión de las situaciones en donde se puede plantear los esquemas de conocimiento

La sesión 3 de trabajo permitió establecer los resultados de la aplicación del instrumento, desde las situaciones significativas que para el grupo de participantes se obtuvo a partir de los procesos de significación realizados con los estudiantes (ver anexo 8), en los cuales, de acuerdo a las situaciones planteadas se incorporaban los aspectos cognitivos, fenomenológicos y de aplicación en la vida cotidiana que se encontraban en el análisis realizado al instrumento.

De acuerdo con lo analizado en la aplicación de este instrumento, se puede observar que el fenómeno estudiado proporciona un reconocimiento desde el contexto a estructuras físicas definidas, como es el caso del concepto de onda y de partícula, las cuales proporcionan un fundamento importante en el esquema de producción de conocimiento, donde los participantes son sujetos activos que procuran por su desarrollo de conocimiento en el proceso.

Finalmente, como parte del proceso de cierre de la aplicación de los instrumentos se aplicó una entrevista semiestructurada a 5 participantes de todo el

proceso, con la finalidad de realizar un seguimiento sobre las acciones realizadas en el proceso de trabajado, observando que los participantes asocian las representaciones de un fenómeno al contexto donde se desarrolla, por tal razón al contextualizar el fenómeno de la dualidad onda – partícula en un ejemplo concreto, se evidenciaron reacciones de acercamiento al conocimiento físico sin necesidad de involucrar desarrollos matemáticos; conservando la estructura de análisis presentada a lo largo de la aplicación de instrumentos.

5.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la discusión de los resultados obtenidos se presenta un análisis a partir de grupos de participantes, generados en la aplicación de los instrumentos que proporcionen un esquema sólido de comprensión y además establezcan un aporte a los procesos de estudio del fenómeno dualidad onda – partícula.

El análisis presentado se fundamenta en la aplicación de los paquetes estadísticos DTMVIC (Datos y Test Mining: verificación, inferencia y clasificación) y TREETAGER, los cuales permitieron encontrar unidades de análisis comunes para reforzar los resultados obtenidos en la aplicación de los instrumentos y en el análisis previo con el software HUDAP y ATLAS TI.

Las unidades de análisis textual proporcionan esquemas gráficos como diagramas de correlación de puntos, que desde el punto de vista del método cualitativo complementan los resultados obtenidos en la aplicación de los instrumentos en el desarrollo del trabajo de campo de la tesis doctoral.

5.5.1 CUESTIONARIO DE MÚLTIPLES ÍTEMS (CMI)

Para conocer la forma en que las personas que participaron en el desarrollo del cuestionario de múltiples ítems (CMI), comprenden el fenómeno dualidad onda-partícula, se reestructuró la base de datos de la siguiente manera:

ID	CRITERIOS	SUBGRUPOS	TARJETAS
1	ciencias de la salud	radiografía, ramas	rayox energía emisión radiación tray
2	ciencias basicas	materia	universo naturaleza fenómeno mater
3	radiología	resonancia	imagen escáner diagnóstico paciente
4	física	particulas	imagen onda átomo partícula fotón i
5	resonancia	procedimiento	sistema interferencia resonancia ma
6	ser humano	sistema oseo, diagnostico,	paciente ciencias de la salud diagnós
7	procedimiento	imagen, escaner, resonanci	radiografía rayox radiación resonanc
8	mundo	fenómeno, partícula, natur	partícula fenómeno universo natural
9	relación física	técnica, onda, energía, elec	sistema fotón electrón energía onda
10	elementos de la radiología	emisión, atomo, materia, e	emisión átomo materia estados tray
11	procedimiento radiológico:	exámenes, analisis, tecnica	radiografía resonancia magnética téc

Tabla 2. Relación de criterios, subgrupos y tarjetas instrumento CMI. Fuente: Elaboración propia

De tal manera que los valores de la variable tarjetas sean codificados desde su número a su correspondiente palabra, con el fin de realizar un análisis textual e identificar grupos de participantes de las personas participantes acerca de la dualidad onda-partícula. El proceso de depuración para hacer el análisis textual, se reduce a dejar la columna de tarjetas en minúsculas, a realizar corrección ortográfica en los 98 registros de la tabulación, a quitar las comas o punto y comas y sustituirlas por un espacio simple, a quitar el punto y cambiarlo por un espacio simple, a cambiar los espacios dobles o triples por sencillos y a quitar signos como *, - , “o caracteres numéricos. El archivo obtenido tiene la siguiente estructura:

ID	TARJETAS
1	rayox energía emisión radiación trayectoria diagnóstico radiografía
2	universo naturaleza fenómeno materia estados
3	imagen escáner diagnóstico paciente
4	imagen onda átomo partícula fotón medición
5	sistema interferencia resonancia magnética sistema óseo técnica
6	paciente ciencias de la salud diagnóstico sistema óseo
7	radiografía rayox radiación resonancia magnética escáner imagen
8	partícula fenómeno universo naturaleza
9	sistema fotón electrón energía onda técnica
10	emisión átomo materia estados trayectoria interferencia absorción medición

Tabla 3. Relación de tarjetas instrumento CMI. Fuente: Elaboración propia

Este archivo es cargado al software estadístico DTMVIC y se crean los archivos de texto para el diccionario de datos y la base de datos; de tal manera que se carga el segundo al programa TREETAGER para obtener un archivo lematizado con el cual se crean palabras estándar que representen a aquellas que tengan una misma raíz. El archivo obtenido tiene la siguiente estructura en formato “txt”:

```

---- 1
rayox energía emisión radiación trayectoria diagnóstico radiografiar
---- 2
universo naturaleza fenómeno materia estado
---- 3
imagen escáner diagnóstico paciente
---- 4
imagen onda átomo partícula fotón medición
---- 5
sistema interferencia resonancia magnético sistema óseo técnico
---- 6
paciente ciencia de el salud diagnóstico sistema óseo
---- 7
radiografiar rayox radiación resonancia magnético escáner imagen
---- 8
partícula fenómeno universo naturaleza
---- 9
sistema fotón electrón energía onda técnico
---- 10
emisión átomo materia estado trayectoria interferencia absorción medición
---- 11
radiografiar resonancia magnético técnico paciente rayox imagen electrón fotón sistema
óseo radiación paciente escáner

```

Tabla 4. Palabras estándar para el análisis de los criterios. Fuente: Elaboración propia

Este archivo es cargado en DTMVIC para hacer el análisis textual y conformar los grupos de participantes o clúster, obteniendo los siguientes resultados para el histograma de índices que nos permite conocer la cantidad de grupos que se forman:

146	129	47	3	3.00	.00356	*
147	10	73	2	2.00	.00385	*
148	8	14	2	2.00	.00406	*
149	48	1	2	2.00	.00418	*
150	49	138	3	3.00	.00476	*
151	29	22	2	2.00	.00513	*
152	137	123	11	11.00	.00527	*
153	99	98	3	3.00	.00561	*
154	65	71	2	2.00	.00566	*
155	139	4	5	5.00	.00591	*
156	46	79	2	2.00	.00593	*
157	63	132	4	4.00	.00632	*
158	124	78	4	4.00	.00658	*
159	136	149	4	4.00	.00663	*
160	142	146	5	5.00	.00685	*
161	135	133	7	7.00	.00722	*
162	100	131	4	4.00	.00810	*
163	140	126	9	9.00	.00869	*
164	163	148	11	11.00	.01049	**
165	145	147	4	4.00	.01068	**
166	154	31	3	3.00	.01083	**
167	155	151	7	7.00	.01136	**
168	19	35	2	2.00	.01236	**
169	25	41	2	2.00	.01265	**
170	110	130	5	5.00	.01295	**
171	116	141	4	4.00	.01355	**
172	144	153	5	5.00	.01431	**
173	166	59	4	4.00	.01502	**
174	164	87	12	12.00	.01566	**
175	170	9	6	6.00	.01599	**
176	157	167	11	11.00	.01801	**
177	156	143	5	5.00	.01808	**
178	161	159	11	11.00	.02557	***
179	160	178	16	16.00	.02950	****
180	165	172	9	9.00	.03311	****
181	175	158	10	10.00	.03373	****
182	111	152	13	13.00	.03591	****
183	182	177	18	18.00	.04164	*****
184	162	179	20	20.00	.04966	*****
185	168	150	5	5.00	.05629	*****
186	176	173	15	15.00	.05908	*****
187	171	169	6	6.00	.06553	*****
188	181	186	25	25.00	.08757	*****
189	187	184	26	26.00	.18872	*****
190	188	180	34	34.00	.22215	*****
191	185	189	31	31.00	.24081	*****
192	190	113	37	37.00	.24851	*****
193	183	191	49	49.00	.46296	*****
194	192	193	86	86.00	.58943	*****
195	174	194	98	98.00	.78348	*****

Fig. 6. Histograma de índices de grupos de participantes. Fuente: Elaboración propia

Se observa que deben tenerse en total 4 clúster de participantes. Al conformar estos grupos, por medio de la variable ID de la base de datos podemos clasificar los individuos que corresponden a cada clúster:

content of : cut a of the tree into 4 classes					
----- class 1 / 4 -----					
1	3	5	7	11	17
19	21	23	25	28	31
33	35	40	41	43	47
48	49	55	61	64	69
75	77	85	89	90	91
----- class 2 / 4 -----					
6	12	16	24	30	36
44	46	50	56	60	62
74	76	80	81	82	93
94					
----- class 3 / 4 -----					
4	9	10	13	15	18
20	22	26	27	29	32
38	39	45	51	53	54
57	63	65	66	67	68
70	71	72	73	78	79
83	84	86	92	95	98
----- class 4 / 4 -----					
2	8	14	34	37	42
52	58	59	87	88	96
97					

Tabla 5. Grupos de participantes. Fuente: Elaboración propia

Se observa que el primer grupo de participantes considera que el fenómeno onda-partícula en el contexto de la Mecánica Cuántica se manifiesta cuando el escáner genera una imagen al producir rayos x y una resonancia magnética. Por su parte el segundo grupo considera que el fenómeno onda-partícula se da en las ciencias de la salud cuando se estudia el impacto del rayo X en el sistema óseo de los pacientes. Para el tercer grupo, las partículas, los electrones y los fotones se relacionan con la trayectoria de una onda y con la energía. Finalmente, el fenómeno para el cuarto grupo viene dada por situaciones relacionadas con la materia, su estado, la naturaleza y el universo.

text number	1	class	1 / 4

5.09	-	1	escáner rayox radiación resonancia magnético radiografiar
4.89	-	2	radiografiar resonancia magnético
4.83	-	3	radiografiar rayox radiación resonancia magnético escáner imagen
4.79	-	4	técnica resonancia magnético rayox escáner
4.61	-	5	escáner resonancia magnético radiografiar diagnóstico rayox imagen radiación

text number	2	class	2 / 4

5.98	-	1	ciencia de el salud
5.98	-	2	ciencia de el salud
5.44	-	3	paciente ciencia de el salud sistema óseo
5.44	-	4	paciente ciencia de el salud sistema óseo
5.44	-	5	paciente ciencia de el salud sistema óseo

text number	3	class	3 / 4

4.76	-	1	partícula electrón fotón energía trayectoria onda
4.76	-	2	partícula electrón fotón energía trayectoria onda
4.74	-	3	energía onda electrón partícula
4.55	-	4	energía fotón electrón
4.55	-	5	electrón energía fotón

text number	4	class	4 / 4

6.38	-	1	universo naturaleza fenómeno
5.76	-	2	universo naturaleza materia fenómeno
5.76	-	3	universo naturaleza fenómeno materia
5.31	-	4	universo naturaleza fenómeno materia estado
5.31	-	5	universo naturaleza materia estado fenómeno

Tabla 6. Análisis textual de cada grupo de participantes. Fuente: Elaboración propia

Una vez contruidos los clúster de participantes, se analiza la relación de cada uno de estos con los criterios definidos para cada grupo de tarjetas para estudiar como los participantes articulan el fenómeno onda-partícula con los contextos de la Mecánica Cuántica. Inicialmente se verifica el clúster al cual

pertenece cada individuo. Posteriormente, se analiza la tabla de contingencia para las variables criterio y clúster mostrando la relación existente entre el fenómeno analizado que hacen los participantes sobre dualidad onda-partícula y los contextos de la Mecánica Cuántica con los que establecen las relaciones

ID	CRITERIOS	SUBGRUPOS	TARJETAS	cluster
1	ciencias de la salud	radiografía, ramas	rayox energía	1
2	ciencias basicas	materia	universo natu	4
3	radiología	resonancia	imagen escán	1
4	fisica	particulas	imagen onda	3
5	resonancia	procedimiento	sistema interf	1
6	ser humano	sistema oseo, diagnostico,	paciente cien	2
7	procedimiento	imagen, escaner, resonanci	radiografía ra	1
8	mundo	fenómeno, partícula, natur	partícula fenó	4
9	relación física	técnica, onda, energía, elec	sistema fotón	3
10	elementos de la radiología	emisión, atomo, materia, e	emisión átom	3
11	procedimiento radiológico:	exámenes, analisis, tecnica	radiografía re	1
12	profesiones del área de la	ciencias de la salud	ciencias de la	2
13	elementos de la radiología	relación fisica	materia medic	3

Tabla 7. Análisis de tabla de contingencia I. Fuente: Elaboración propia.

La tabla de dos entradas para el criterio y los clúster se puede evidenciar a continuación:

criterio/clúster	clúster 1	clúster 2	clúster 3	clúster 4
anatomía	0	1	0	0
átomo	0	0	1	0
ciencias básicas	0	0	0	1
ciencias de la salud	1	3	0	0
compuestos	0	0	1	0
corriente	0	0	2	0
cuerpo humano	0	9	0	0
electricidad	0	0	1	0
elementos de la radiología	0	0	2	0
emisión	1	0	0	0
emisiones radiológicas	0	0	1	0
energía	1	0	2	0
escanógrafo	0	0	2	0

estudio	0	0	1	0
examen	6	1	0	0
examen medico	1	0	0	0
física	0	0	6	0
imágenes diagnosticas	1	0	0	0
instrumentos	1	0	0	0
materia	0	0	2	2
medicina	0	1	0	0
medio	0	0	1	0
medio ambiente	0	0	0	1
movimientos	0	0	1	0
mundo	0	0	0	6
procedimiento	3	1	0	0
procedimiento radiológicos	3	0	0	0
proceso	2	0	2	0
proceso físicos	0	0	1	0
profesiones del área de la salud	0	1	0	0
radiación	0	1	2	0
radiografía	2	0	1	0
radiología	5	0	0	1
Rayo x	0	0	4	0
relación física	0	0	1	0
resonancia	1	0	0	0
ser humano	0	1	0	0
sistema de referencia	0	0	1	0
sistemas	1	0	0	0
tecnología	1	0	0	0
universo	0	0	1	2

Tabla 8. Análisis de tabla de contingencia II. Fuente: Elaboración propia.

Sobre la tabla de contingencia se puede hacer un análisis de correspondencias simples y en él se puede verificar los contextos de la Mecánica Cuántica que para los participantes se asocian con la dualidad onda-partícula:

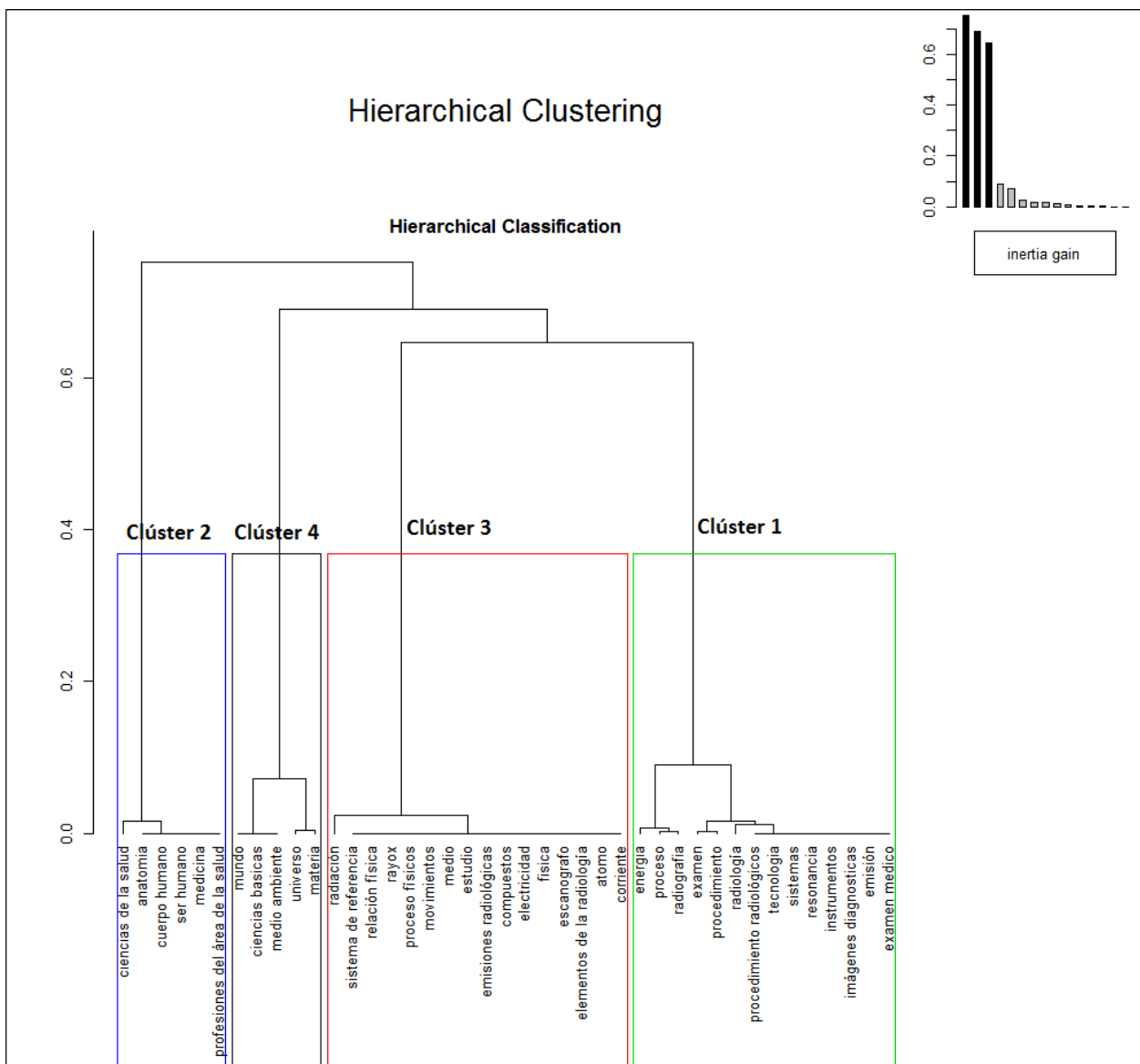


Fig. 7 Análisis de correspondencias simples. Fuente: Elaboración propia.

Por medio de un mapa factorial se puede observar la distribución encontrada anteriormente en forma de conglomerados,

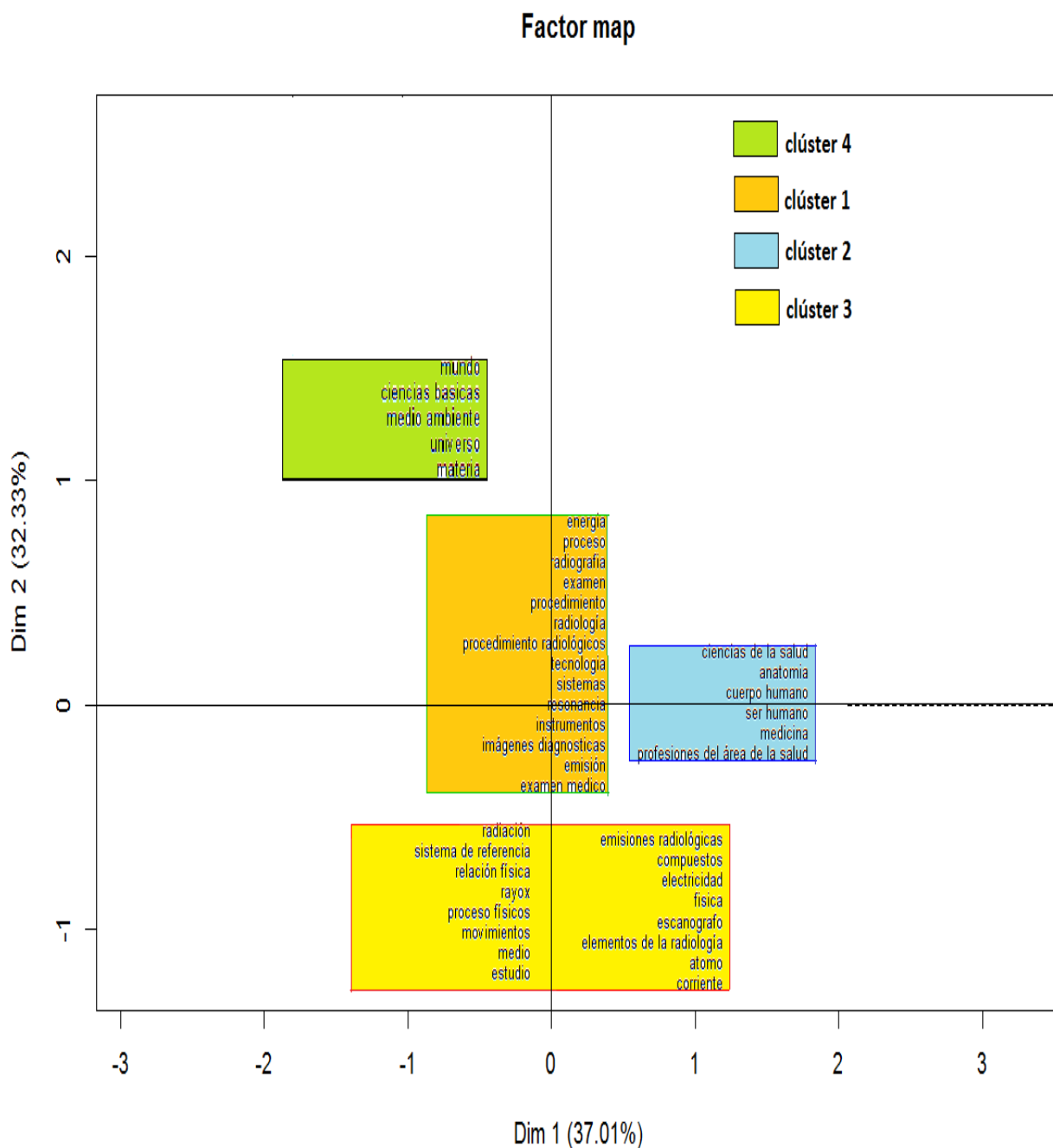


Fig. 8 Mapa factorial (resultados por conglomerados instrumento CMI). Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se observa como los 4 clúster de participantes, consolidados en las tarjetas frente al fenómeno dualidad onda-partícula, se relacionan con contextos específicos de la Mecánica Cuántica en los cuales es posible encontrar el fenómeno.

5.5.2 TALLER DE CONTEXTOS

En el análisis y discusión de los resultados del taller de contextos, es importante mencionar que se realizó una depuración de las preguntas realizadas y las sesiones trabajadas con los participantes, con el objetivo de presentar los resultados más cohesionados con la aplicación del instrumento CMI, ya que se pretendía en el desarrollo de la tesis doctoral mostrar el abordaje desde el modo 2 de producción de conocimiento de un fenómeno particular de la Mecánica Cuántica.

De este modo, la discusión presentada gira en torno a las preguntas que fueron significativas a los participantes, y que, desde el punto de vista del desarrollo de la tesis doctoral y el investigador, son conducentes a la formulación de los aportes de nuevo conocimiento con los procedimientos metodológicos realizados en el trabajo de campo.

A continuación se presentan los resultados de las preguntas tomadas de la depuración de datos realizada:

Pregunta A. Todos los objetos radian energía, ¿Por qué no podemos ver los objetos radiados en un cuarto oscuro?

El análisis textual para esta pregunta indica cómo se puede apreciar a continuación, que se requieren de dos clúster de participantes encontrados para las respuestas de las personas a esta pregunta:

num.	first	seco	eff.	weight	indice	histogramme of indices
18	14	13	2	2.00	.00677	*
19	6	2	2	2.00	.01197	*
20	17	5	2	2.00	.01479	*
21	20	18	4	4.00	.03122	**
22	21	12	5	5.00	.04212	***
23	4	1	2	2.00	.04473	***
24	9	3	2	2.00	.04783	***
25	7	8	2	2.00	.04828	***
26	10	11	2	2.00	.06180	****
27	22	15	6	6.00	.17559	*****
28	27	19	8	8.00	.28618	*****
29	28	24	10	10.00	.29907	*****
30	29	26	12	12.00	.37298	*****
31	30	16	13	13.00	.44200	*****
32	31	25	15	15.00	.65437	*****
33	32	23	17	17.00	1.49162	*****

Tabla 9. Histograma de índices de grupos de participantes I. Fuente: Elaboración propia.

La salida del programa DTMVIC, indica que las respuestas se encuentran basadas en los siguientes argumentos que se pueden enlazar y resultan ser comunes a las personas

```

-----
text number  1      class  1 /  2
-----

1.45 - 1 porque pasar luz velar imagen

1.45 - 2 lugar oscuro porque imagen velar
-----
text number  2      class  2 /  2
-----

.00 - 1 radiacion dar medio onda longitud onda encontrar rango no

.00 - 2 nuestros ojo no alcanzarian percibir rayo gammaday ayuda herramienta

.00 - 3 cuarto actua como experimento kirchoff objeto radian energia longitud onda frecuencia
      no poder ver

.00 - 4 ser ver aparato comportamiento luz color absorber luz

.00 - 5 falta luz no poder afirmar si existir no objeto

```

Tabla 10. Grupos de participantes por pregunta. Fuente: Elaboración propia.

En el plano factorial podemos ver que dos personas de la encuesta se separan de la respuesta de los demás, porque tienen una percepción muy distinta del fenómeno observado:

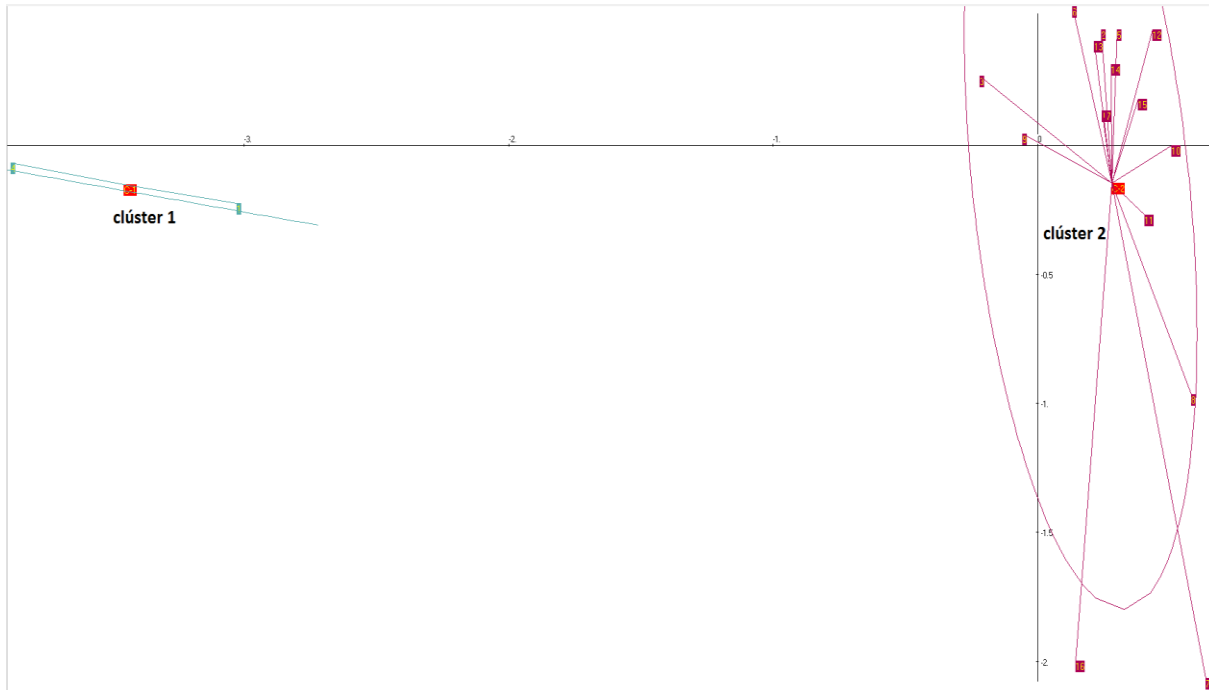


Fig. 9. Mapa factorial de grupos de participantes. Fuente: Elaboración propia.

Clúster 1: El primer grupo de participantes indica que no se pueden observar los objetos porque se necesita de la luz para poder velar la imagen.

Clúster 2: El segundo grupo de participantes indica que no se pueden observar los objetos porque los ojos no pueden percibir la imagen por argumentos como la longitud de onda está en un rango que impide la visualización, el rayo X no se percibe o por la teoría del color.

El mapa factorial permite evidenciar que la mayoría de los individuos participantes, se encuentran más de acuerdo con la segunda participantes y solo dos estudiantes tienen un punto de vista diferente al encontrarse en el primer clúster.

Pregunta B. ¿Se pueden encontrar gráficos y/o palabras que hagan referencia al fenómeno ondulatorio en el comic observado?

En esta respuesta, el histograma de índices muestra que se tienen tres clúster de participantes de los estudiantes acerca de los gráficos observados.

num.	first	seco	eff.	weight	indice	histogramme of indices
18	10	15	2	2.00	.02644	****
19	17	6	2	2.00	.02679	*****
20	9	2	2	2.00	.02827	*****
21	8	16	2	2.00	.03183	*****
22	11	1	2	2.00	.03823	*****
23	19	3	3	3.00	.06272	*****
24	7	12	2	2.00	.06278	*****
25	4	23	4	4.00	.09175	*****
26	21	14	3	3.00	.09788	*****
27	13	24	3	3.00	.12223	*****
28	27	22	5	5.00	.14213	*****
29	18	26	5	5.00	.14912	*****
30	29	25	9	9.00	.17848	*****
31	30	28	14	14.00	.21252	*****
32	5	31	15	15.00	.32060	*****
33	20	32	17	17.00	.53011	*****

Tabla 11. Histograma de índices de grupos de participantes II. Fuente: Elaboración propia.

Clúster 1: Para el primer clúster de participantes, es posible observar gráficos relacionados con el fenómeno ondulatorio porque pueden ser microscópicos o macroscópicos y se pueden caracterizar.

Clúster 2: Para el segundo clúster de participantes no se pueden ver gráficos relacionados con el fenómeno ondulatorio.

Clúster 3: Para el tercer clúster de participantes es posible observarlos desde la física cuántica.

text number	class	characteristic response/individual

text number 1	class 1 / 3	

.64	1	si ser posible porque ser microscopico ser macroscopica
.57	2	ser posible observar
.57	3	caracterizar ser observar perturbar otro ser constante pequeño ser microscopico grande ser
.34	4	si ser posible universal atomico
.29	5	si ser observacion poder caracterizar fisico

text number 2	class 2 / 3	

1.45	1	no porque no ver

text number 3	class 3 / 3	

.98	1	poder cuantica haber permitir crear nuevo
.42	2	si poder visualizar nuevo tecnologicos cuantica haber tener llamar cercano pero permitir ver manipular

Tabla 12. Grupos de participantes por pregunta. Fuente: Elaboración propia.

A continuación se puede apreciar en el mapa factorial como los clúster de participantes dos y tres se separan significativamente del primero evidenciando opiniones muy diferentes en términos de la pregunta b:

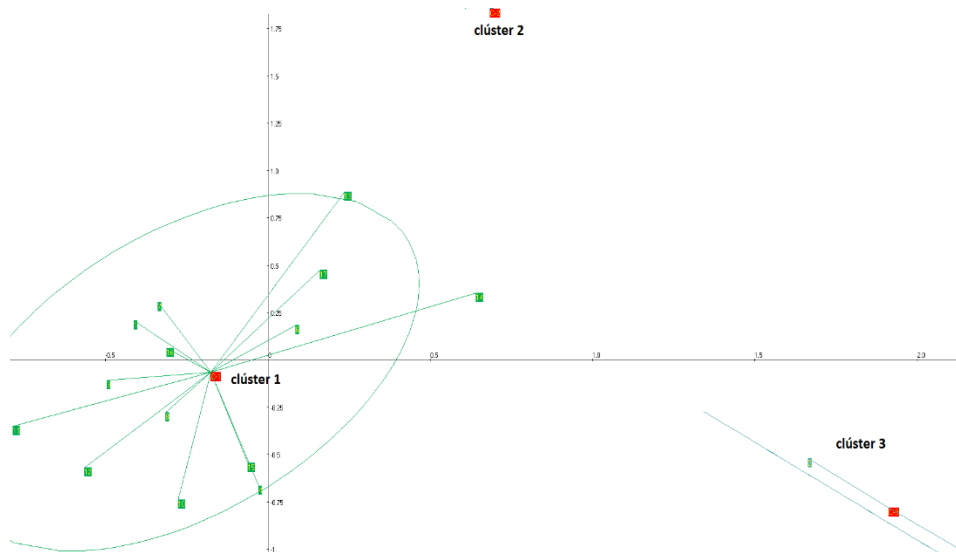


Fig. 10. Mapa factorial de grupos de participantes. Fuente: Elaboración propia.

El mapa factorial presentado proporciona información valiosa de los resultados obtenidos en el desarrollo del trabajo de campo, ya que evidencia que los participantes pueden reconocer los fenómenos ondulatorios pero no los pueden organizar desde las estructuras del modo 2 de producción de conocimiento, ya que solo reconocen estructuras desde el clúster 1, en donde se caracteriza el fenómeno pero con procesos de comprensión desde la observación y no desde la contextualización.

Pregunta C. ¿Cómo cree usted que podría ser la descripción de un rayo X?

El histograma de índices muestra la existencia de 4 clúster de participantes:

num.	first	seco	eff.	weight	indice	histogramme of indices
18	11	9	2	2.00	.00000	*
19	3	1	2	2.00	.01678	***
20	5	15	2	2.00	.01740	***
21	7	6	2	2.00	.02233	****
22	14	13	2	2.00	.02457	****
23	12	22	3	3.00	.03632	*****
24	16	23	4	4.00	.05665	*****
25	8	2	2	2.00	.06102	*****
26	21	10	3	3.00	.06765	*****
27	24	19	6	6.00	.08984	*****
28	17	20	3	3.00	.10108	*****
29	26	4	4	4.00	.11818	*****
30	28	25	5	5.00	.15346	*****
31	29	27	10	10.00	.29195	*****
32	30	31	15	15.00	.37170	*****
33	18	32	17	17.00	.58748	*****

Tabla 13. Histograma de índices de grupos de participantes. Fuente: Elaboración propia.

Clúster 1: Las personas que se encuentran en este clúster de participantes, definen un rayo X como aquel que emite una longitud de onda y con él se genera una imagen.

Clúster 2: Para este grupo de personas, un rayo X es una onda que produce una perturbación electromagnética por medio de un electrón.

Clúster 3: Este tercer clúster de participantes define un rayo X como aquel que se comporta como una onda y después de un choque se convierte en partícula.

Clúster 4: Este grupo de personas considera que el rayo X tiene un comportamiento cuántico y se produce en un lugar oscuro.

text number 1 class 1 / 4

- .43 - 1 rayo x ser emitir longitud onda corto
- .36 - 2 rayo x ser proyeccion rayo luz cargar atomos electrón chocar dispersan medio onda
- .30 - 3 rayo x ser visible momento tomar examen
ver reflejar imagen
- .27 - 4 rayo x ser haz radiacion poder atravesar cuerpo para generar imagen
- .25 - 5 rayo x ser radiacion electromagnetico invisible ojo humano capaz atravesar cuerpo opacos

text number 2 class 2 / 4

- .50 - 1 referir onda tipo electromagnetico ser emitir electrón interno atomo
- .43 - 2 onda electromagnetico producir perturbar sistema cuantico electrón
- .27 - 3 emitir electrón luego pasar catodo llegar anodo reflejar electrón llamar haz rayo x despues llegar paciente
- .14 - 4 ser onda emitir espectro electromagnetico corresponder longitud onda nuestra ver no alcanza percibirla utilizar aparato medida dar evidenciar

text number 3 class 3 / 4

- .45 - 1 tubo rayo x irradian mas partícula onda
- .45 - 2 inicialmente comportar como onda chocar convertir partícula
- .32 - 3 infinidad elemento comportamiento onda partícula direccionar rendija definir nuestro cuerpo
- .19 - 4 ser partícula energía electromagnetico atravesar cuerpo para unir igual manera traves proceso revelacion poder visualizar desear ver
- .18 - 5 describir rayo x poder describir como paquete energía transportar medio como partícula aceleradas fin impactar algo generar reaccion

text number 4 class 4 / 4

- .33 - 1 ser radian longitud corto lugar oscuro
- .22 - 2 frente concepto cuantico comportamiento deber ser pensar necesidad observador

Tabla 14. Grupos de participantes por pregunta. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que los 4 cuatro grupos muestran posiciones diferentes frente al rayo X, porque la definición se da en términos de una longitud de onda, o de un punto de vista electromagnético, o de un fenómeno onda-partícula o de un punto de vista cuántico.

Pregunta D. De acuerdo con el video observado, ¿qué escenas se pueden interpretar como una explicación de un fenómeno físico?

El corte del histograma de índices sugiere que se requieren dos clúster de participantes para el análisis textual de esta pregunta abierta:

num.	first	seco	eff.	weight	indice	histogramme of indices
18	12	11	2	2.00	.00000	*
19	2	4	2	2.00	.00000	*
20	9	1	2	2.00	.00005	*
21	16	10	2	2.00	.00010	*
22	14	5	2	2.00	.00022	*
23	3	17	2	2.00	.00069	*
24	6	18	3	3.00	.00086	*
25	15	8	2	2.00	.00122	*
26	21	22	4	4.00	.00256	*
27	13	25	3	3.00	.00389	*
28	19	23	4	4.00	.00812	**
29	24	20	5	5.00	.00944	**
30	7	27	4	4.00	.03090	*****
31	28	26	8	8.00	.03798	*****
32	30	29	9	9.00	.13608	*****
33	31	32	17	17.00	.46254	*****

Tabla 15. Histograma de índices de grupos de participantes. Fuente: Elaboración propia.

Clúster 1: Este clúster de participantes en el que se encuentra el primer grupo de personas, considera que la escena en la cual se puede interpretar como una explicación de un fenómeno físico es aquella en la cual aparece el experimento de la doble rendija en el que se aprecia una onda, y al mismo tiempo, el comportamiento de un electrón como parte de la descripción del fenómeno de dualidad onda – partícula.

Clúster 2: Este grupo de personas, considera que la escena del fenómeno físico se encuentra en el experimento de la doble rendija en el cual aparece el

fenómeno de la dualidad onda – partícula, como parte de la comprensión del fenómeno cuántico estudiado en el desarrollo de la tesis doctoral.

 text number 1 class 1 / 2

- .77 - 1 parte video explicar experimento rendija
- .48 - 2 comportamiento onda rendija agua
- .40 - 3 caso hablar comportamiento electron ser fenomeno pasar rendija
- .33 - 4 video poder observar profesor laboratorio hacer experimento rendija
 explicar reacción realizar transformar ser onda explicar patrón
 interferencia onda hacer transicion dimensión
- .18 - 5 fenomeno no alterar propiedad materia ser proceso

 text number 2 class 2 / 2

- .80 - 1 dos dimensión
- .60 - 2 escena dos abertura ranuras mostrar particula cumplir funcion
- .44 - 3 escena particula pasar traves linear electrón pasar particula comportar
 onda
- .38 - 4 escena mostrar fenomeno interferencia onda
- .32 - 5 experimento rejilla particula onda

Tabla 16. Grupos de participantes por pregunta. Fuente: Elaboración propia

Como cierre del proceso de obtención y discusión de los resultados de los instrumentos aplicados se realiza un análisis conjunto de la información para construir nuevos clúster a partir del análisis de correspondencias múltiples, en donde individuos con respuestas parecidas pertenecen a un mismo grupo y se pueden agrupar en una misma sección de la información obtenida

Por medio de los mapas factoriales, se resume el resultado de un análisis de correspondencias múltiples para observar la distribución de los individuos y de las variables, como se muestra a continuación:

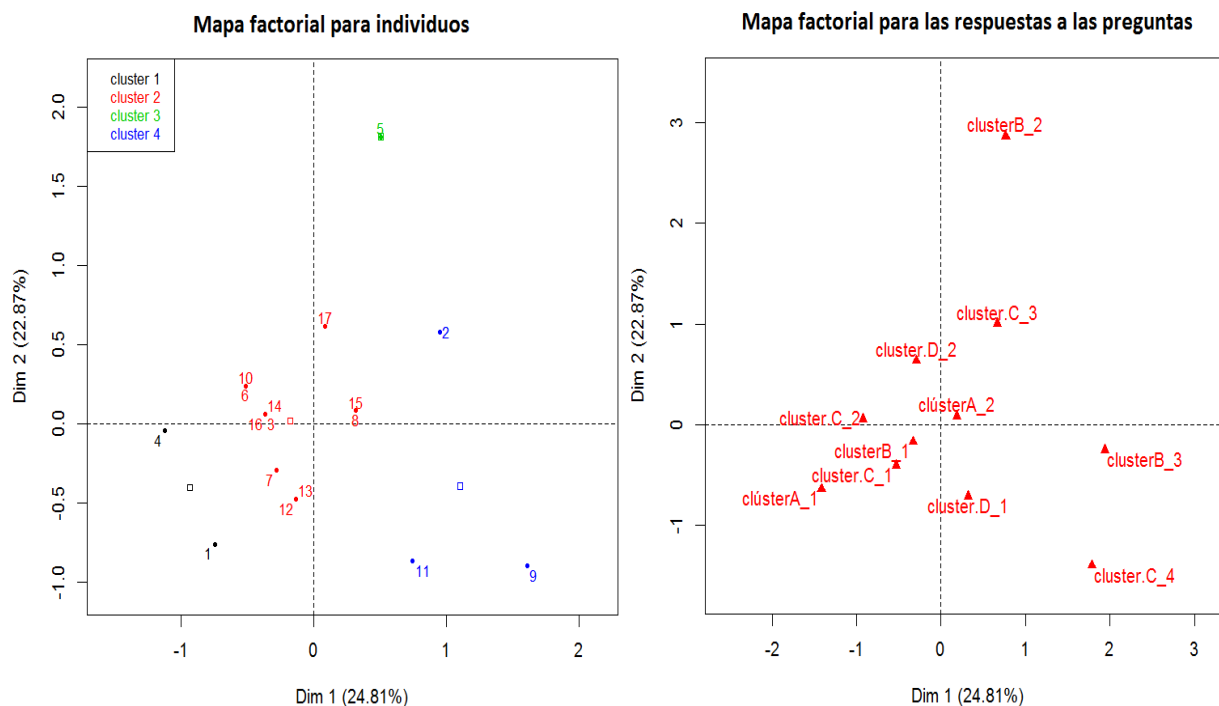


Fig. 11. Mapa factorial de conglomerados. Fuente: Elaboración propia.

Los colores indican que se pueden formar 4 clúster o conglomerados en el que se agrupan individuos con respuestas similares en el instrumento del taller de contextos, desarrollado por sesiones el cual abordaba preguntas sobre el análisis del fenómeno dualidad onda – partícula.

La interpretación sugiere que por ejemplo el individuo 5 es el único que corresponde al clúster 3 y es diferente de los demás porque se caracteriza en tener la característica de pertenecer al clúster 2 creado en la pregunta B; según el cual no se pueden observar los gráficos del fenómeno ondulatorio.

Lo anterior significa que la caracterización del clúster depende de la aglomeración de individuos de un mismo color en correspondencia con la posición de las variables que se encuentran alrededor y que de la forma más próxima definen sus características.

Es por esto que para el caso de los individuos del clúster 1, que son las personas identificadas en la base de datos con los códigos 1 y 4 respectivamente, la característica que define su conglomerado es pertenecer al clúster 1 de la pregunta A, según el cual no se pueden observar los objetos porque no se tiene la luz para velar cada imagen.

Para el caso del clúster cercano al origen, que es el 2, se observa que pertenecer al clúster 1 de la pregunta B, identifica a sus individuos dentro del panorama de una caracterización frente a las preguntas del cuestionario y de allí que consideran que los fenómenos observados con respecto al fenómeno ondulatorio son microscópicos.

Finalmente, en el clúster 4 se observa una caracterización de los individuos por ser del clúster 3 en la pregunta B y del clúster 4 en la pregunta C; considerando así que sus respuestas apuntan a la conceptualización desde la física cuántica de los fenómenos observados. El gráfico para determinar el total de clúster o conglomerados:

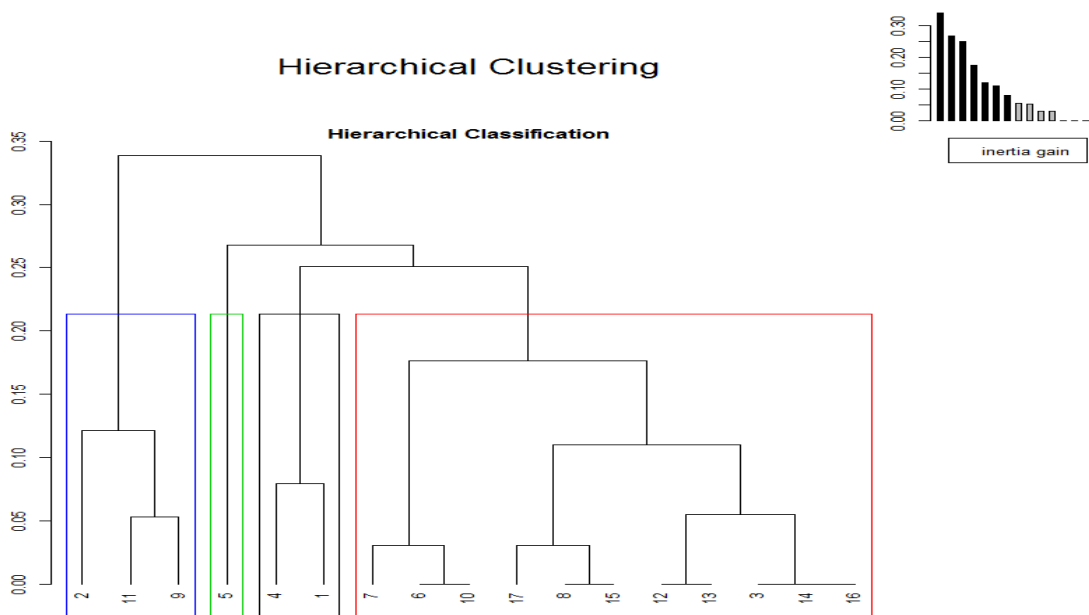


Fig. 12. Conglomerados totales. Fuente: Elaboración propia.

Todos los participantes que pertenecen al grupo de participantes 1 son del grupo I de radiología, el clúster 2 tiene participantes de los dos grupos y el clúster 4 tiene participantes del grupo de licenciados en físicas. Por su parte en la base de datos se observa que el único participante del clúster 3 pertenece al grupo I de radiología. Este resultado es un indicio de que en general todos los participantes, independiente del grupo de trabajo, tienen acuerdos en las respuestas y se encuentran en el clúster 2. Las conclusiones obtenidas anteriormente indican que no existe asociación entre el clúster conformado y el grupo de trabajo al cual pertenecen los participantes que aplicaron los instrumentos.

Según la caracterización observada anteriormente, se puede definir cada clúster de forma gráfica así:

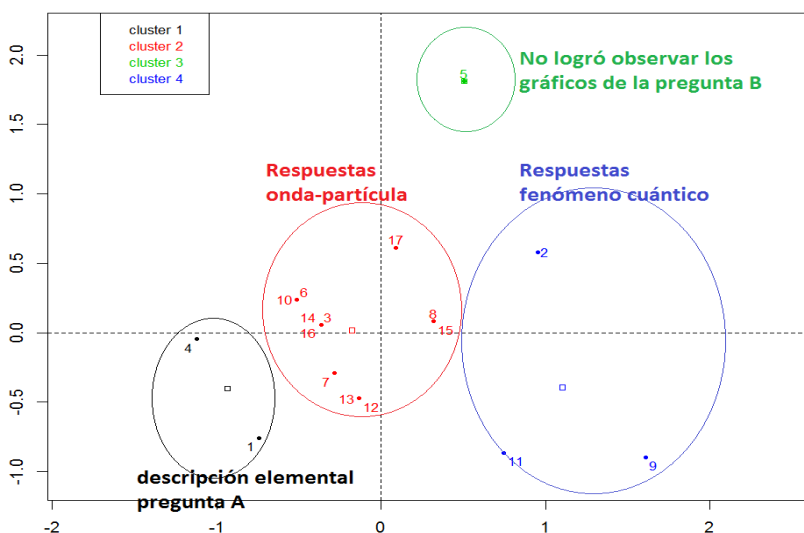


Fig. 13. Grupos de participantes por conglomerados. Fuente: Elaboración propia.

La gráfica presentada muestra que para generar procesos de comprensión desde el modo 2 de producción de conocimiento de un tema particular, es necesario generar esquemas de trabajo contextualizados, a través de instrumentos que proporcionen los escenarios de trabajo cualitativo, en donde los estudiantes identifiquen los fenómenos y establezcan los esquemas de conocimiento.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y PROYECCIONES

En este capítulo se hace referencia a las conclusiones que se desprenden del proceso de investigación realizado sobre el abordaje del fenómeno dualidad onda – partícula desde el acercamiento al modo 2 de producción de conocimiento y al mismo tiempo, se presentan las proyecciones que para el abordaje desde la producción de conocimiento se pueden proponer para continuar procesos de investigación de Educación en Ciencias, particularmente de la Física.

CONCLUSIONES

Desde el abordaje teórico presentado en el desarrollo de la investigación de la tesis doctoral, se puede evidenciar que el modo 2 de producción de conocimiento trabajado por Gibbons y otros (1997), proporciona un camino de transición en la forma cómo se trabajan los enfoques de conocimiento en la física, ya que, esta forma de trabajo prioriza el análisis del contexto, con la finalidad de encontrar explicaciones concretas a fenómenos naturales.

En este sentido, el contexto en el análisis de fenómenos físicos presenta una posibilidad de trabajo a los docentes de física, debido a que se generan procesos de formalización caracterizados por la comprensión del fenómeno y sus factores de ocurrencia, sumado a las posibilidades de tipo cognitivo que se pueden encontrar en la exploración de un fenómeno desde su cotidianidad.

Respecto a la formulación del problema y la pregunta de investigación ¿Cuál es el aporte de conocimiento que se desea proponer en torno al análisis del fenómeno de la dualidad onda - partícula desde una perspectiva interdisciplinar que atienda necesidades del contexto?, se puede decir, que al caracterizar el fenómeno de dualidad onda – partícula en el desarrollo del trabajo de

investigación, se buscó inicialmente la contextualización del fenómeno desde los principios teóricos de la Mecánica Cuántica, para ubicar el desarrollo del fenómeno desde los referentes disciplinares.

Desde lo epistemológico se realizó el abordaje a partir de los modos de producción de conocimiento, con el fin de ubicar los referentes teóricos de la disciplina en el modo 1 y referenciar el análisis de contexto al modo 2 de producción de conocimiento, como un eje central que abordaría lo pedagógico y lo epistemológico en el desarrollo de un contexto.

Al mismo tiempo, el acercamiento a los enfoques de conocimiento desarrollados en la tesis doctoral indujeron el tipo de metodología utilizada, ya que al ser cualitativa se implementa un análisis desde el fenómeno, restando un poco de importancia al formalismo matemático presente en el estudio y desarrollo de estructuras cognitivas en procesos de acercamiento al conocimiento en física, reemplazadas por el análisis de contexto y sus implicaciones en los estudiantes al momento de conceptualizar un fenómeno desde su proceso de ocurrencia.

En cuanto al desarrollo del objetivo general *Proponer nuevas maneras de abordar los fenómenos físicos desde una perspectiva epistémica en ambientes interdisciplinares que atiendan necesidades de contexto en la producción de conocimiento a través de la formulación de estrategias de comprensión del fenómeno de dualidad onda – partícula*, el desarrollo de la tesis doctoral permitió identificar que para abordar temas desde el punto de vista fenomenológico, es necesario contar con las bases teóricas adecuadas para realizar un barrido desde los fundamentos teóricos del fenómeno, para luego establecer los escenarios contextuales, en donde el conocimiento del problema gira en torno a las explicaciones que se dan de dicho fenómeno, usando escenarios de abordaje cotidiano que proporcionan un esquema de trabajo desde el contexto.

En el desarrollo de los objetivos específicos *Revisar los fundamentos teóricos de la transición epistemológica del modo 1 de producción de conocimiento al modo 2 a través del análisis de fenómeno de la dualidad onda – partícula*, desde la fundamentación teórica presentada en la tesis doctoral se logró presentar los esquemas ubicados en el modo 1 de producción de conocimiento, y los esquemas trabajados desde el modo 2 de producción de conocimiento reflejados en la estructura de presentación del capítulo 2 y 3 desarrollados en la tesis, en los cuales se presentan las distinciones de ambos desarrollos.

Con respecto al objetivo específico *Construir estrategias de comprensión del fenómeno dualidad onda – partícula desde el modo 2 de producción de conocimiento*, en la aplicación de los instrumentos CMI, taller de aplicación de contextos y entrevista semiestructurada se logró que los participantes encontrarán a partir de un contexto (análisis de un proceso de toma de radiografía diagnóstica) una forma de comprender el fenómeno expuesto y al mismo tiempo, establecer conexiones con la cotidianidad a través de la solución de preguntas sobre el fenómeno y su ocurrencia real.

En el desarrollo del objetivo específico *Identificar los esquemas de producción de conocimiento de los estudiantes frente a la dualidad onda - partícula desde el modo 2 de producción de conocimiento*, en el desarrollo de la aplicación de la entrevista semiestructurada los participantes identificaron que desde las estructuras de conocimiento la comprensión del fenómeno dualidad onda – partícula depende de la forma de abordaje, ya que si se realiza desde lo disciplinar no es fácil entender las estructuras que provee el formalismo matemático, mientras que, desde lo contextual, los gráficos proporcionan un escenario de abordaje más amplio y no restringen las formas de comprensión de los sujetos.

Desde las implicaciones teóricas, en el desarrollo de la tesis doctoral se presentaron las perspectivas desde los fundamentos disciplinares, haciendo un

recorrido desde los escenarios de la formalización de los fenómenos físicos abordando la importancia de generar procesos de comprensión en la disciplina destacando los esquemas de organización de los conocimientos en los diferentes procesos físicos; los fundamentos históricos de la Mecánica Cuántica que muestran las bases de ese conocimiento físico y a su vez presentan el esquema de contextualización del abordaje del fenómeno dualidad onda – partícula.

Ahora bien, desde los desarrollos epistemológicos se presenta en el desarrollo de la tesis doctoral el enfoque fenomenológico de las ciencias, el cual provee una contextualización propia del fenómeno estudiado y determina las estructuras de abordaje desde el contexto y su apropiación con la realidad, con el fin de mostrar que los procesos de acercamiento al saber en una disciplina se pueden enriquecer si se abordan desde el contexto y sus implicaciones en la explicación de fenómenos naturales.

Desde lo pedagógico, el trabajo aquí planteado se centró en la búsqueda de un escenario coherente y de contraste con el desarrollo ya presentado, por esta razón se trabajó la estructura de los modelos en ciencias, como una estructura de saber que proporcionaba los elementos indispensables para entender un fenómeno desde la realidad y llevarlo a pensar sus propias estructuras de conocimiento.

Desde lo pedagógico, la tesis doctoral se centró en la búsqueda de un escenario coherente y de contraste con el desarrollo ya presentado, por esta razón se trabajó la estructura de los modelos en ciencias, como una estructura de saber que proporcionaba los elementos indispensables para entender un fenómeno desde la realidad y llevarlo a pensar sus propias estructuras de conocimiento.

La discusión aquí presentada proporciona una ruta para la comprensión y análisis de los fenómenos físicos abordados desde el modo 2 de producción de conocimiento, pero ello no implica que sea el único camino para lograr una

comprensión de los fenómenos que suceden en la naturaleza. En el desarrollo teórico y metodológico presentado se establece un esquema de trabajo proporcionado por el modo 2 de producción de conocimiento, el cual plantea una perspectiva de análisis desde la modelización de los fenómenos como uno de los mecanismos de interpretación de la realidad.

Aunque la pretensión de la tesis doctoral no es el planteamiento de generalizaciones, se considera desde los hallazgos que es necesario explorar nuevos espacios de configuración para la Educación en Ciencias que permita responder a las exigencias que desde la educación se demandan para este siglo de complejidad.

Un factor limitante en el desarrollo de la tesis doctoral se evidencia en la comprensión de los fenómenos desde la disciplina misma, ya que han pasado 100 años de trabajo en Mecánica Cuántica y aun no se han podido entender los fenómenos físicos desde la perspectiva de la educación en ciencias.

Por su parte, Leblond (1990) afirma que

... se trata de saberes de alcance cultural, algunos conocimientos científicos modernos, por ejemplo en cosmología o en física cuántica, tienen ciertamente la misión de modificar nuestras representaciones del mundo. En efecto, para que un saber específico pueda exhibir toda su dimensión cultural, se requiere que esté íntimamente relacionado al conjunto del cuerpo de los conocimientos, y en primer lugar al saber común, (p. 57);

Esto significa que los procesos de acercamiento a la producción de conocimiento se encuentra ligados a las transformaciones culturales que se han ido gestando a lo largo de la evolución científica, y la Mecánica Cuántica no ha sido ajena a esta transformación, lo cual se ha convertido en una limitación ya que no se han comprendido sus desafíos y procesos de trabajo para incorporar sus explicaciones en las situaciones cotidianas.

Desde esta perspectiva, la tesis doctoral responde a procesos de conocimiento en donde, los esquemas de producción de conocimiento se fundamentan en las reflexiones sobre las construcciones de las ciencias y sus diferentes aplicaciones, según Gómez y Vallejo (2011) "...Este hecho conlleva la generación de nuevas posturas epistemológicas y nuevos problemas que tienen que ver con el papel del sujeto en la comprensión del objeto lo que se entiende como real en términos ontológicos, la posibilidad del mismo conocimiento, su validez y su objetividad", (p. 17).

En el sentido epistemológico, los desarrollos teóricos de la Mecánica Cuántica han determinado el progreso de los abordajes científicos, de acuerdo con Gómez y Vallejo (2011) "... se lucha por establecer nuevas teorías o paradigmas de interpretación que expliquen lo que asumen como nuevo o inédito en los procesos socio – culturales, científicos e históricos de la humanidad, sin desconocer la sabiduría de las generaciones pasadas", (p. 13); lo que significa que el progreso de la ciencia se encuentra implícito en los avances científicos que en cada época se presentan en el desarrollo de una ciencia, y este factor puede considerarse como un factor limitante si los avances no contribuyen a los progresos que debe ofrecerle la ciencia a la sociedad.

PROYECCIONES

Las perspectivas de desarrollo de la tesis doctoral frente a la propuesta de nuevas investigaciones proporcionan posibilidades de trabajo frente al fenómeno en disciplinas como la física, ya que muestran un abordaje centrado en las experiencias y contextos en conocimientos científicos.

De tal manera, que la producción de conocimiento puede ser un enfoque para ser trabajado en el aula de clase, como un complemento a los procesos de formalización planteados por los docentes en el desarrollo de una disciplina. Al mismo tiempo, el planteamiento desde el fenómeno induce en los estudiantes y los docentes de física una posibilidad de encontrar escenarios de trabajo concertados frente al objeto de conocimiento.

El análisis del fenómeno es un eje de trabajo que debe desarrollarse desde los escenarios de la educación en ciencias, como una perspectiva de formación de sujetos desde lo disciplinar y lo aplicado, ya que, proporciona una construcción desde el objeto de conocimiento y no desde las bases rígidas del formalismo matemático.

La producción de conocimiento traza un camino para pensar los procesos de Educación en Ciencias como un eje fundamental de la formación de docentes para un escenario posconflicto, en donde se busque la promoción del ser humano y de su entorno a través de la reflexión pedagógica y científica de las ciencias.

La escuela del siglo XXI debe consolidarse como una estructura de conocimiento que reflexiona en sí misma y que desarrolla espacios de divergencia en torno a los procesos de innovación de las disciplinas y su abordaje en los esquemas de producción de conocimiento.

El desarrollo de esta tesis doctoral plantea una ruta de conocimiento para la organización y comprensión de los fenómenos de la naturaleza analizados desde un área disciplinar, como es el caso de la física, en donde la Educación en Ciencias provee elementos desde la producción de conocimiento.

En este sentido, la tesis doctoral es un aporte significativo a la generación de un cambio cultural en el abordaje de las ciencias en los espacios académicos, con el fin de generar esquemas de producción de conocimiento, Leblond (1990) reconoce que este tipo de saberes hacen parte de las dimensiones culturales no solo abordadas por quienes entienden de ciencias, sino también por todas las personas que deseen un acercamiento al conocimiento significativo de las ciencias.

Desde la producción de conocimiento la tesis doctoral deja abierta la posibilidad de explorar mecanismos de generar conocimiento y de comunicarlo a los diferentes actores educativos, según Gibbons y otros (1997) “...*la difusión y organización del conocimiento en las diferentes culturas académicas sobre una amplia gama de lugares potenciales de diferentes contextos de aplicación o uso*”, (p. 1); permite ubicar el desarrollo de estructuras de pensamiento que se convierten en estrategias sociales de acercamiento al saber en cualquier contexto.

De acuerdo con Capra (2000) “La influencia que la física moderna ha tenido en casi todos los aspectos de la sociedad humana es notable. Se ha convertido en la base de las ciencias naturales, y la combinación de las ciencias naturales y las ciencias técnicas ha cambiado fundamentalmente las condiciones de la vida”, (p. 5); de tal modo, la tesis doctoral reconoce la importancia de los análisis presentados en el abordaje de los fenómenos de la Mecánica Cuántica como parte de la generación de conocimiento en contexto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acher, A., Arca, M., Sanmartí, N., (2007). *Modeling as a Teaching Learning Process for Understanding Materials: A Case Study in Primary Education*. En: www.interscience.wiley.com recuperada el 20 – 05 -2015.

Adúriz, A., Eder, M. (2001). Aproximación epistemológica a las relaciones entre la didáctica de las ciencias naturales y la didáctica general. En: Red Académica, Universidad Pedagógica Nacional.

Adúriz, A (2002). *Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma*. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. 1 – 3.

Arcá y otros. (1990). *Enseñar ciencias. Cómo empezar reflexiones para una educación científica de base*. Barcelona: Paidós Educador

Ayala, M., Garzón, I. Malagón, F (2008). *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos*. Colombia: Bogotá y Medellín, Universidad de Antioquia, Universidad Pedagógica Nacional, p. 129.

Ayestarán, I., García, A. (2010) *Filosofía de la naturaleza y la sostenibilidad: un conocimiento renovado para el siglo XXI*. En: Eikasía. Revista de Filosofía, año VI: 35

Blaschke, J. (2013). *Los gatos sueñan con física cuántica y los perros con universos paralelos*. México, México: Ediciones Robinbook

Bautista, G. (1998). *Sobre la formación del profesional de física*. En: Preimpresos. Postgrados del Departamento de Física. Universidad Pedagógica Nacional, 2.

Bautista, G (2016). *Entrevista por N.Y. Céspedes*. Archivo de audio. Profesor del Departamento de Física. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá: Colombia.

Birtwistle, G. (1928). *The New Quantum Mechanics*. Cambridge, Cambridge: Cambridge Library Collection.

Bombal, F. (1999). *Los modelos matemáticos de la Mecánica Cuántica*. En: La ciencia en el siglo XX. Seminario “Orotava” de Historia de la Ciencia, Consejería de Educación del Gobierno de Canarias. Islas Canarias, 115 – 146

Bohr, N (1963). *“Nuevos ensayos sobre física atómica y conocimiento humano”*. Madrid, España: Aguilar Ediciones

Burns N, Groven S. (2004) Introducción a la investigación cualitativa. En: Investigación en Enfermería (3ª Ed.), Elsevier España S.A.; (11) 385- 430.

Caamaño, A (2014). *Indagar y modelizar en contextos*. En: Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales, 78, p. 5 – 6.

Cabello (2003). *Introducción*. En: Revista Investigación y Ciencia: Fenómenos Cuánticos, Edición española Scientific American, 1er trimestre 2003, 2 – 4.

Cadena, Y. (2004). *Epistemología, Ontología y Complementariedad en Niels Bohr*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid : España, Tesis Doctoral

Capra, F. (2000). *El Tao de la Física*, Málaga: España, Editorial Sirio, p. 141.

Cassidy (2003). *Heisenberg, imprecisión y revolución cuántica*. En: Revista Investigación y Ciencia: Fenómenos Cuánticos, Edición española Scientific American, 1er trimestre 2003, 6 – 13.

Casado, C (2007). *De la equivalencia matemática entre la Mecánica Matricial y la Mecánica Ondulatoria*. En: La Gaceta de la Real Sociedad Matemática Española, p. 103 – 128.

Castrillón, J., Freire, O., Rodríguez, B., (2014). *Mecánica Cuántica fundamental, una propuesta didáctica*. En: Revista Brasileira de Ensino de Física, 36 – 1.

Catalogou, E. (2002). *Testing the development of student conceptual and visualization understanding in quantum mechanics trough the undergraduate career*. En: American Journal of Physics Education, 70 – 3.

Clemente, A. (2000). *Física cuántica para filo – sofos*. Fondo Cultura Económica. FCE. La ciencia para todos, 3° edición.

Comics usados en el taller de contextos. En: http://plqhq.blogspot.com.co/2010_06_01_archive.html recuperada el 22 - 08 - 16.

Concari, S. (2001). *Las teorías y los modelos en las explicaciones científicas: implicancias para la enseñanza de las ciencias*. En: Ciencia & Educación, 7 – 1.

Daros, W. (sf). *El conocimiento científico*. En: <https://williamdaros.files.wordpress.com/2009/08/w-r-daros-teoria-del-metodo-en-popper.pdf> recuperada el 12 - 08 – 2016.

Díaz, A. (1997). *La explicación científica. Una polémica desde la teoría del conocimiento*. En: Epistemología y objeto pedagógico. ¿Es la pedagogía una ciencia? México, CESU.

Diéguez, A. (1996). *Realismo y teoría cuántica*. En: Revista Interdisciplinar de Filosofía, 1, 2..

Dirac, P. (1958). *The Principles of Quantum Mechanics*. Oxford Press University, 4° edición.

Doncel, M. (2002). *La revolución cuántica: nueva visión en física y filosofía*. En: *Física Cuántica y Realidad*, Facultad de Filosofía, Universidad Complutense de Madrid

Dushl, R. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias*. Madrid, España: Narcea Ediciones

Einstein, A (1950). *La educación*. En: *Mis creencias*, Editorial El Aleph

Ibarra, A, Mormann, Th. (1997), *Representaciones en la ciencia*. Madrid: Ediciones Bronce

Fanaro, M. (2009). *La enseñanza de la Mecánica Cuántica en la escuela media*. Universidad de Burgos, Burgos, España, Tesis doctoral.

Feynman, R. (2000). *Física: Mecánica Cuántica*. México, México, Prentice Hall Ediciones.

Fourez, G. (1994). *La construcción del conocimiento científico*. Madrid, Ediciones Narcea.

Gratton, J. (2003). *Introducción a la Mecánica Cuántica*. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, Curso Introductorio Mecánica Cuántica.

Greca, I., Herscovitz, V., (2002). *Construyendo significados en Mecánica Cuántica: fundamentación y resultados de una propuesta innovadora para su introducción en el nivel universitario*. En: *Enseñanza de las Ciencias*, 20 - 2.

Greca, I., Moreira, M., (1998). *Modelos Mentales, Modelos Conceptuales y Modelización*. En: Revista Cad. Cat. Enseñanza de la Física, 15 – 2, p. 107 – 120.

Gribbin, J., (1984). *En busca del gato de Schrödinger*. Barcelona: España, Ediciones Biblioteca Científica Salvat, p. 245.

Gibbons, M., Limoges C., Nowotny H., Shchwartzman S., Scott P., &Trow M. (1997). *La nueva producción del conocimiento*. Barcelona, España: Ediciones Pomares – Corredor S.A.

Gómez, J., Vallejo, A. (2011). *Pensar y sentir desde la Unidad, la Diversidad y el Movimiento" En: Colombia. Ediciones Usta. Universidad Santo Tomas ISBN: 978-958-631-691-0 v. 500, p. 248.*

Gutiérrez, M., Correa M., (2008) *Argumentación y concepciones implícitas sobre física: Un análisis pragmadialéctico*. En: Acta Colombia de Psicología, 11 – 1.

Hacking, I. (1992). *Representar e Intervenir*, México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Harlen, W. (2007) *Enseñanza y aprendizaje de las ciencias*. Madrid, España: Ediciones Morata.

Heidegger, M., (sf). *Ser y tiempo*. Disponible en: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/133547/84adb28abdfb74f7cf4884e11780742b.pdf?sequence=1>

Henao, B. y Stipcich S., (2008). *Educación en ciencias y argumentación: la perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos*

contemporáneos para la enseñanza de las Ciencias Experimentales. En: Revista Electrónica de la Enseñanza de las Ciencias, 7 – 1.

Hernández Sampieri, R. y Fernández C. (2010). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.

Hessen, J. (1981). *Teoría del conocimiento*. Madrid: Espasa – Calpe. Colección Austral, No. 107.

Hovis R. y Kragh H., (2003). *Dirac y la belleza de la física*. En: Revista Investigación y Ciencia: Fenómenos Cuánticos, Edición española Scientific American, 1er trimestre 2003, 14 – 19.

Husserl, E., (1982). *La idea de la fenomenología: Cinco Lecciones*. México, México: Fondo de Cultura Económica.

Kragh, H. (1997). *Generaciones cuánticas*. Madrid, España: Ediciones Akal.

Knuuttila, T., Voutilanen, A., (2003). *A Parser as an Epistemic Artifact: A Material View on Models*. En: Philosophy of Science, 70, p. 1484 – 1495.

Latour, B. (1991). *Joliot: punto de encuentro de la historia y de la física*. En: Historia de las Ciencias, Madrid: España: Ediciones Cátedra.

Lévy Leblond, J. (1990). *Quantics: Rudiments of Quantum Physics*. Madrid, España: Elsevier Science Publishers.

Lévy, Leblond, J. (2000). *¿Se puede enseñar la física moderna?* En: Unir los conocimientos. Madrid, España: Plural.

López, L. y otros (2004). *Cuántica y Relatividad*. Disponible en: http://www.ehu.eus/zorrilla/juanma/Cuantica_Relatividad.pdf

Mach, E. (1948). *Conocimiento y error*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Espasa – Calpe.

Marin, J (2012). *La investigación en educación y pedagogía*. Bogotá, Colombia: Ediciones Usta.

Martínez. M (2004). *Ciencia y arte en la metodología cualitativa*. México: Trillas.

Maxwell, R (1993). *Induction and scientific realism: Einstein and van Fraassen*. En : The British Journal for the Philosophy, 44: 1 – 3.

Moreira, M (2003). *Investigación básica en educación en ciencias: Una visión personal*. En: Conferencia dictada en el I Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales, La Serena, Chile

Müller, R., Wiesner H. (2002). *Teaching quantum mechanics on an introductory level*. En: American Journal of Physics Education, 4 – 2.

Navarro, L., (sf). *Status del teorema de equipartición de la energía a la luz del Primer Congreso Solvay 1911*. Disponible en: dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/62097.pdf

Nieto, M (sf). *Historia de la Ciencia*. Disponible en: <https://historiadela-ciencia-mnieto.uniandes.edu.co/pdf/ISAACNEWTON.pdf>

Nicolescu, B. (sf). *La Transdisciplinariedad Manifiesto*. México: Multidiversidad Real.

Nussbaum, M. (2010) *Sin fines de lucro ¿Por qué la democracia necesita de las humanidades?* Madrid: Katz Editores.

Olsen, R. (2002). *Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: a study in Norway. En: International Journal of Science Education, 24 – 6.*

Open University (1975). *Curso Básico de Ciencias unidad 29: Teoría Cuántica.* Inglaterra: The Open University Press.

Osterman, F & Moreira, M (2000) Umarevisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física moderna e contemporânea no ensinomédio *Investigações em ensino de ciências.* 5(1) Obtenida en mayo de 2014 de http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5_n1_a2.htm

Pacheco, J (1996). *La clasificación múltiple de ítems y el análisis de escalogramas multidimensionales.* En: *Suma Psicológica*, 3, 1, p. 25-37

Páramo, P (2008). *La investigación en ciencias sociales, técnicas de recolección de información.* Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.

Pérez, N., Setién, E. (2008). La interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad en las ciencias. Una mirada a la teoría bibliológico-informativa. *Acimed*, 18 – 4. Disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol18_4_08/aci31008.htm.

Peisajovich, B. (2005). *La modelización en la enseñanza de las ciencias naturales.* En: *Correo del Maestro*, 107.

Quintanilla, M. (2000). *Teoría del conocimiento.* Disponible en: <http://www.filosofia.org/enc/dfc/conocimi.htm>

Ramírez, A. (2009). *La teoría del conocimiento en investigación científica: una visión actual*. En: Anales Facultad de Medicina, 70: 3, p. 217 – 224.

Ramírez, A y González, J. (2000). La estructura de la teoría física un ejemplo: Mecánica Clásica. *Revista Educación y Cultura*, 1 – 6.

Rivadulla, A (2002). *Prefacio*. En: Física Cuántica y Realidad, Facultad de Filosofía, Universidad Complutense de Madrid

Rosnay, J. (2000). *Conceptos y operadores transversales*. En: Unir los conocimientos. Madrid, España: Plural.

Sánchez, J. (2001). *Historia de la física cuántica*. Barcelona. Editorial Crítica.

Stanford Encyclopedia of Philosophy. (2003). *Phenomenology*. November. Disponible en: <http://plato.stanford.edu/entries/phenomenology/#1>

Segura, A., Nieto, V., Segura, E. (2012). *Un análisis profundo del fenómeno dualidad onda – partícula para la comprensión del mundo cuántico*. En: Latin American Journal of Physics, 6 – 1.

Serrano, J. (sf). *La teoría del conocimiento de Albert Einstein*. Ponencia presentada en el III Coloquio Nacional de Filosofía. Disponible en: http://publicaciones.anuies.mx/pdfs/revista/Revista33_S2A3ES.pdf

Sini, C. (sf). *La fenomenología y el problema de la interpretación*. Disponible en: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/221/22283_La%20fenomenologia%20y%20el%20problema%20de%20la%20interpretacion%20n.pdf?sequence=1

Szisali, W. (1959). *Introducción a la fenomenología de Husserl*. Amorrortu Editores, Buenos Aires, p. 27.

Schrödinger, E. (1975) *¿Qué es una ley de la naturaleza?* Fondo de cultura económica, México, p.191.

Schwarz, C y otros (2009). *Models: Defining a Learning Progression for Scientific Modeling*. En: Paper presented at the Learning Progressions in Science (LeaPS) Conference, June 2009, Iowa City, IA

Tashakkori, A. y Teddlie, C. (2010) *Handbook of Mixed Methods in Social and Behavioral Research*. United States of America: SAGA Publications.

Tegmark, M y Wheeler, J. (1999) *Cien años de misterios cuánticos*. En: Revista Investigación y Ciencia: Fenómenos Cuánticos, Edición española Scientific American, 1er trimestre 2003, 20 – 28.

Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Nueva York: Cambridge University Press.

Tuay, N. (2011). *Aproximación al debate de los modelos científicos desde una perspectiva inferencialista*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED, España. Tesis doctoral.

Ueda, H., Perea, M., (2010). *Método general de lematización con una gramática mínima y un diccionario óptimo. Aplicación a un corpus escrito dialectal*. En: Development of diachronic database of social events in Spanish-speaking world and its application for policy decision making, 1 – 12.

Vanegas, B. (2010). *La investigación cualitativa: un importante abordaje del conocimiento para enfermería*. En: Revista Colombiana de Enfermería, 6: 6, p. 128 - 142.

Vásquez, A., Acevedo, J., Manassero, M. y Acevedo, P. (2001). *Cuatro Paradigmas Básicos sobre la Naturaleza de la Ciencia*. En: Argumentos de razón técnica, 4.

Vásquez, A., Acevedo, J., Manassero, M. y Acevedo, P. (2004). *Evaluación de las actitudes del profesorado respecto a los temas CTS: Nuevos Avances Metodológicos*. En: Enseñanza de las Ciencias, 22 – 2.

Vásquez, A., Acevedo, J., Manassero, M. y Acevedo, P. (2006). *Actitudes del alumnado sobre ciencia, tecnología y sociedad, evaluadas con un modelo de respuesta múltiple*. En: Revista Electrónica de Investigación Educativa, 8 – 2.

Viau, J. y otros (sf). *El modelado en la Educación Científica. Su relevancia en la formación de profesores*. En línea: <http://www.feeye.uncu.edu.ar/web/posjornadasinve/area4/Formacion%20docente%20y%20evaluacion%20en%20la%20formacion%20docente/197%20-%20Viau%20y%20Otros%20-%20UN%20Mar%20del%20Plata.pdf> recuperada el 20 -05 -2015.

Zorrilla, J (sf). *Cuántica y Relatividad*. Disponible en: http://www.ehu.eus/zorrilla/juanma/Cuantica_Relatividad.pdf

ANEXOS

ANEXO 1

CUESTIONARIO DE MÚLTIPLES ÍTEMS (CMI)

**INSTRUMENTO No.1
CLASIFICACIÓN DE ÍTEMS MÚLTIPLES
DUALIDAD ONDA – PARTÍCULA**

NOMBRE: _____
SEMESTRE _____

OBJETIVOS

Identificar las representaciones de los estudiantes de Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional y los estudiantes de Física Básica de Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas sobre el concepto de la dualidad onda – partícula a través de las percepciones sobre su realidad.

PROPÓSITO

Este instrumento tiene como finalidad la contextualización del fenómeno de la dualidad onda – partícula en escenarios reales a partir de la producción de conocimiento.

INSTRUCCIONES

Esta investigación es un acercamiento hacia los estudiantes de Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional y los estudiantes de Física Básica de Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas con el fin de observar cómo conceptualizan algunos aspectos sobre el análisis del fenómeno dualidad onda – partícula, que se estudia en los contextos que se desarrollan en la Mecánica Cuántica.

Encuentra 28 tarjetas con palabras características correspondientes en el fenómeno analizado de la dualidad onda – partícula y 4 tarjetas en blanco. Clasifique las tarjetas entregadas en grupos, de manera que dentro de cada grupo existan características comunes de clasificación, a cada grupo debe asignarle un nombre de categoría diferente.

Puede elegir cualquier criterio para clasificar las palabras dadas, tenga en cuenta, que no hay respuestas correctas o incorrectas, lo importante es su participación. Cualquier inquietud, es libre de manifestarla en el desarrollo de la actividad.

PREGUNTAS 1

1. ¿Cómo establecería una categoría para los criterios dados por usted a su clasificación?
2. ¿Qué tipos de criterios puede establecer con cada palabra?
3. ¿En qué contexto cree que se ubican las palabras entregadas?

PREGUNTAS 2

1. ¿Qué ventajas y / o dificultades encontró al realizar la clasificación de las tarjetas?
2. ¿Cuál palabra le pareció significativa al contexto?
3. ¿Cómo se puede identificar un contexto significativo para el análisis de un fenómeno físico?
4. ¿Es claro el proceso de trabajo en la clasificación de las palabras?
5. ¿Utilizó algún concepto aprendido con anterioridad para realizar las clasificaciones pertinentes?

ANEXO 2

TARJETAS CUESTIONARIO DE ÍTEMS MÚLTIPLES (CMI)

Nombre Tarjeta	Tarjeta
Imagen	1
Electrón	2
Trayectoria	3
Energía	4
Paciente	5
Onda	6
Partícula	7
Fotón	8
Universo	9
Ciencias de la salud	10
Naturaleza	11
Materia	12
Resonancia magnética	13
Estados	14
Interferencia	15
Átomo	16
Sistema	17
Medición	18
Fenómeno	19
Emisión	20
Absorción	21
Radiación	22
Rayo x	23
Radiografía	24
Escáner	25
Técnica	26
Sistema óseo	27
Diagnóstico	28

ANEXO 3

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EN EXCEL CMI

	A	B	C	D	E	F	G
58	EXAMEN	TIPOS, MATERIALES, RESULTADO	24,26,22,23,28,1				
59							
60	RADIOLOGIA	DIAGNOSTICO	22,23,20,24				
61	PROCEDIMIENTO	EXAMENES	26,13,23,25				
62	CUERPO HUMANO	SISTEMA ÓSEO	10,5,27	SISTEMAS	27,17	EXAMENES, MEDICINA, ANATOMIA	5,10,17,27,28
63	RADIACIÓN	ENERGIA, MOLECULAS	15,22,21,18,8,7,2, 20,6,16	MECANISMOS	15,6,3,17		
64	MEDIO AMBIENTE	COMPOSICIÓN	9,11,12,14				
65	ELECTRICIDAD	LUZ	4,8,2				
66	ESTUDIO	FISICA	20,15,18,6,14,21, 12,7,6,14,12,4,2,8				
67							
68	PROCEDIMIENTOS RADIOLÓGICOS	EXAMENES, RESULTADOS, ANALISIS, TECNICAS	1,5,13,20,22,23,2 4,25,26,27,28				
69	CIENCIAS DE LA SALUD	RADIOLOGIA	10				
	EMISIONES		2,3,4,6,7,8,15,17				

ANEXO 3**ASIGNACIÓN DE CRITERIOS DE ANÁLISIS CMI**

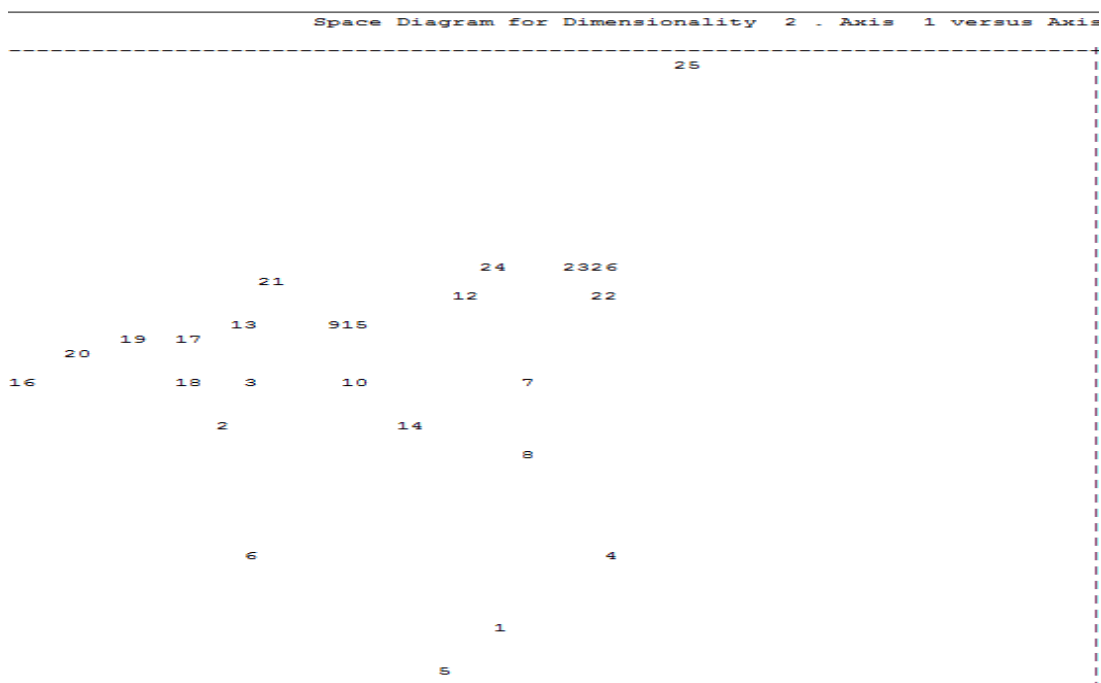
nomb Tarjeta	Tarjeta
imagen	1
electrón	2
trayectoria	3
energía	4
paciente	5
onda	6
partícula	7
fotón	8
universo	9
ciencias de la salud	10
naturaleza	11
materia	12
resonancia magnética	13
estados	14
interferencia	15
átomo	16
sistema	17
medición	18
fenómeno	19
emisión	20
absorción	21
radiación	22
rayo x	23
radiografía	24
escáner	25
técnica	26
sistema óseo	27
diagnóstico	28

ANEXO 3

CLASIFICACIÓN DE LAS TARJETAS POR CRITERIOS

Tarjeta	E1-CS1	E1-CS2	E1-CS3	E2-C1	E2-C2	E2-C3
1	1	1	1	3	1	1
2	1	1	1	2	1	1
3	2	2	2	1	2	2
4	2	3	1	3	2	1
5	1	1	1	3	2	1
6	1	1	2	3	2	2
7	1	1	2	3	2	2
8	1	3	2	1	2	2
9	2	1	1	2	1	1
10	1	1	2	3	2	2
11	2	1	2	1	2	2
12	2	2	2	2	2	2
13	1	1	1	3	1	2
14	2	3	3	1	2	3
15	3	2	2	2	3	1
16	1	3	3	3	2	1
17	2	2	2	1	1	2
18	2	3	3	2	2	2
19	1	3	1	3	3	3
20	3	1	3	1	3	3
21	2	3	2	2	2	1
22	3	1	3	3	2	1
23	2	3	1	1	1	2
24	3	1	3	2	1	2
25	1	3	2	3	2	2
26	2	1	3	1	2	2
27	2	3	1	2	2	3
28	1	2	3	3	3	3

ANEXO 4

DIAGRAMA DE CORRELACIÓN DE PUNTOS SOBRE EL INSTRUMENTO
CMI

ANEXO 5

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXCEL HUDAP TALLER DE CONTEXTOS

ESTUDIANTE	PREGUNTAS				
	RELACIONES ASOCIACIONES	Y GRÁFICOS Y PALABRAS	RELACIÓN DE CONCEPTOS EN EL COMIC	CONCEPTOS FÍSICOS EN EL COMIC	CLAROS CONCEPTOS
ESTUDIANTE 1	la relación es la rx tomada a la rana por el médico radiologo	al momento de tomar la radiografía se libera onda electricas	si es posible porque las ondas eléctricas activan las partículas para tomar la imagen	onda, partícula, foton, rx, electricidad	
ESTUDIANTE 2	fuerza, energía, trabajo, cambio de estado	si, porque pasan de un estado a otro	si porque pasan de partícula a onda		si, vimos la imagen y fue claro para nosotras, entendimos que los electrones al pasar por el prisma se convierten en ondas
ESTUDIANTE 3	la importancia de la energía y del comportamiento de las partículas	si, el electrón se puede comportar como partícula o como onda. Además muestra como la energía nos ayuda a hacer una proyección visual	si, porque en la proyección radiográfica se comporta como partícula y además por medio de la energía adquirimos la emisión de electrones y por lo tanto los rayos X.	energía, partícula, emisión, electrón, onda, rayos X	si, porque el comic nos muestra como podemos adquirir la radiografía sin necesidad de una máquina especializada pero si en que forma la energía afecta el cuerpo.
			si porque por medio del telescopio se pueden ver		

ANEXO 6

TALLER DE APLICACIÓN DE CONTEXTOS

**INSTRUMENTO No.2
TALLER
ACERCAMIENTO AL FENÓMENO DUALIDAD ONDA – PARTÍCULA**

NOMBRE: _____
SEMESTRE _____

INTRODUCCIÓN

El acercamiento al análisis de los fenómenos trabajados en la Mecánica Cuántica, respectivamente, permite pensar en la educación en física en torno a un tema específico como es la enseñanza de la dualidad onda - partícula en un enfoque de producción de conocimiento que permite problematizar sobre el cambio de postura de saber; esta necesidad, sumada al cambio didáctico que se debe percibir en la enseñanza de la mecánica cuántica, muestra la oportunidad de consolidar un esquema, que permita lograr una mejor comprensión sobre los desarrollos de los conocimientos en mecánica cuántica.

Con respecto a la construcción del fenómeno, este taller aborda el análisis de los conceptos implicados desde las reflexiones establecidas en la contextualización que ofrece un comic, fundamentado en los desarrollos del fenómeno que se analiza, y al mismo tiempo, se posiciona como un escenario de trabajo didáctico que permite a los estudiantes la realización de sus propias reflexiones en torno a un aparte de la Mecánica Cuántica.

De acuerdo con Acher y otros (2007), una propuesta de enseñanza y aprendizaje debe mostrar una serie de interacciones entre los miembros del aula de clase, demostrando una serie de condiciones fundamentales para que se lleve a cabo el modelado de un proceso.

En este sentido, el taller está distribuido en 3 momentos, en los cuales se realizarán actividades de trabajo en grupo de forma general, luego se procederá a realizar trabajo en pequeño grupo y posteriormente una actividad de generalización como cierre de este primer proceso.

SESIÓN I**EXPLOREMOS LA DUALIDAD ONDA – PARTÍCULA****OBJETIVO**

Identificar la percepción de los estudiantes sobre fenómenos físicos a través de la visualización de proyecciones y el análisis de contexto.

ACTIVIDAD**ANÁLISIS CONTEXTUAL DEL DR. QUANTUM**

1. Observe el siguiente video:

<https://www.youtube.com/watch?v=QbTLVri0EdY>

2. A partir de la lectura que se encuentra en el siguiente link

<http://www.oei.es/salactsi/udnano.pdf> responda las siguientes preguntas:

- a. Todos los objetos radian energía, ¿Por qué no podemos ver los objetos radiados en un cuarto oscuro?
- b. ¿Es posible caracterizar un fenómeno físico a través de la observación de un objeto microscópico o macroscópico?
- c. ¿Cómo cree usted que podría ser la descripción de un rayo X?
- d. De acuerdo con el video observado, ¿qué escenas se pueden interpretar como una explicación de un fenómeno físico?

CIERRE SESIÓN I

En el cierre de la actividad de los estudiantes ubicados en grupos realizarán un esquema gráfico, donde identifiquen algunas relaciones básicas a partir de la visualización del fenómeno y la lectura.

Luego, se realizará una socialización de los aportes de cada uno de los grupos con el fin de realizar el análisis de los contextos presentados en esta sesión.

SESIÓN II

¿CONOCES LA DUALIDAD ONDA – PARTÍCULA?

OBJETIVO

Analizar los contextos y el significado físico de fenómenos naturales en el contraste de herramientas gráficas (comics) que generen espacios de producción de conocimiento.

ACTIVIDAD

DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE COMICS

1. El grupo de clase se dividirá en pequeños grupos de 4 integrantes para realizar el análisis de 10 comics diferentes a partir de las siguientes preguntas de análisis gráfico y de contexto
 - a. ¿Qué relaciones y asociaciones se pueden encontrar en los gráficos del comic?
 - b. ¿Se pueden encontrar gráficos y/o palabras que hagan referencia al fenómeno ondulatorio en el comic observado?
 - c. ¿Es posible ver en el comic analizado una relación con los conceptos físicos de onda y partícula?
 - d. Señale en el comic los conceptos físicos que puede encontrar.
 - e. ¿Cree usted que son claros los conceptos observados en las imágenes vistas en el comic?

CIERRE SESIÓN II

En el cierre de la actividad de los estudiantes ubicados en grupos realizarán un esquema gráfico teniendo en cuenta alguna escena de los comics vistos donde identifiquen algunos fenómenos físicos a partir de la visualización del comic

Luego, se realizará una socialización de los aportes de cada uno de los grupos con el fin de realizar el análisis de los contextos presentados en esta sesión.

SESIÓN III

¿CÓMO INTERPRETAMOS UNA ONDA Y/O UNA PARTÍCULA?

OBJETIVO

Describir las representaciones científicas logradas por los estudiantes en el análisis de situaciones de contexto sobre fenómenos físicos.

ACTIVIDAD

COMPROMISOS

El grupo de clase se dividirá en pequeños grupos de 4 integrantes, los cuales previamente ya han sido distribuidos previamente para que no sean los mismos que el desarrollo en grupo anterior.

1. Socializar los esquemas y los comics realizados en las sesiones anteriores respondiendo las siguientes preguntas:
 - a. ¿Cuál comic le pareció significativo para el análisis físico de un concepto?
 - b. ¿Fue claro el proceso de trabajo en el análisis del comic?
 - c. ¿Cuál podría ser un ejemplo de un fenómeno físico que evidencie la aplicación de los contextos de ciencias?

CIERRE SESIÓN III

En el cierre del taller se buscará que el grupo participante proponga una situación gráfica de análisis del fenómeno observado que pueda explicar la dualidad onda – partícula que dé cuenta de los siguientes aspectos:

- ¿Qué aspectos cognitivos evidencio en la actividad realizada?
- ¿Qué aspectos desde la ética evidencio en la actividad realizada?
(Responsabilidad ética)
- ¿Qué aplicación le encuentra a la actividad en la vida cotidiana?

ANEXO 6

CATEGORIAS DE ANÁLISIS CMI

CRITERIOS	SUBCRITERIOS	CATEGORÍA DE ANÁLISIS
CIENCIAS DE LA SALUD	RADIOLOGIA, DIAGNOSTICOS, APLICACIONES	CONTEXTOS
CIENCIAS BASICAS	UNIVERSO, MUNDO,	FORMALIZACIÓN DEL FENÓMENO
FISICA	RADIACIÓN, PARTICULAS, ÁTOMO, MATERIA	FORMALIZACIÓN DEL FENÓMENO
SER HUMANO	SISTEMA OSEO, DIAGNOSTICO, CIENCIAS DE LA SALUD, PACIENTE	CONTEXTOS
PROCEDIMIENTOS	EXAMENES, RESULTADOS, ANALISIS, TECNICAS	COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO
RELACIÓN FÍSICA	MATERIA, SISTEMAS, ESTUDIO	FORMALIZACIÓN DEL FENÓMENO
EXAMENES MEDICOS	DIAGNOSTICO, RESULTADOS, EXAMENES, RESONANCIA	COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO
MEDIO AMBIENTE	NATURALEZA, ORIGEN, ELEMENTOS	CONTEXTOS
TECNOLOGIA	RESULTADOS, PROCESOS, MAQUINAS	CONTEXTOS - COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO

ANEXO 6

CATEGORIAS DE ANÁLISIS CMI

CRITERIOS	SUBCRITERIOS	CATEGORÍA DE ANÁLISIS
CIENCIAS	ESPECIALIDAD, RADIOLOGIA	COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO
NATURALEZA	ENTORNO, MEDIO AMBIENTE	CONTEXTOS
ESTRUCTURA DE LA MATERIA	ENERGÍA, PARTÍCULAS, RAYOS X, ONDAS, SISTEMAS	FORMALIZACIÓN DEL FENÓMENO
PROCEDIMIENTO	DIAGNÓSTICO, ORGANISMO, IMPACTO, TÉCNICAS	CONTEXTOS - COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO
PACIENTE	MÉTODO, ANÁLISIS, CORTES, SALUD, PATOLOGÍA	CONTEXTOS
FISICA	RADIACIÓN, PARTÍCULA, ÁTOMO, ONDA	FORMALIZACIÓN DEL FENÓMENO

ANEXO 6
CATEGORIAS DE ANÁLISIS CMI

CRITERIOS	SUBCRITERIOS	CATEGORÍA DE ANÁLISIS
CIENCIAS DE LA SALUD	EXAMEN, DIAGNÓSTICO	COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO
FISICA	TRAYECTORIA, PARTICULA, ONDA	FORMALIZACIÓN DEL FENÓMENO
ESTRUCTURA DE LA MATERIA	ENERGÍA, UNIVERSO, FENÓMENO, RADIACIÓN	COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO
TECNICAS RADIOLOGICAS	PROCEDIMIENTO, ESQUEMA, NATURALEZA	CONTEXTOS
NATURALEZA	ENTORNO, MEDIO AMBIENTE	CONTEXTOS - COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO

ANEXO 6**CATEGORIAS DE ANÁLISIS TALLER DE CONTEXTOS**

PREGUNTA	CRITERIO	SUBCRITERIO	CATEGORÍA DE ANÁLISIS
a. Todos los objetos radian energía, ¿Por qué no podemos ver los objetos radiados en un cuarto oscuro?	NATURALEZA	ENTORNO, MEDIO AMBIENTE	COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO
b. ¿Es posible caracterizar un fenómeno físico a través de la observación de un objeto microscópico o macroscópico?	ESTRUCTURA DE LA MATERIA	RADIACIÓN, ENERGÍA, SISTEMAS	FORMALIZACIÓN DEL FENÓMENO
c. ¿Cómo cree usted que podría ser la descripción de un rayo X?	FISICA	ONDA, PARTICULA, TRAYECTORIA	FORMALIZACIÓN DEL FENÓMENO
d. De acuerdo con el video observado, ¿qué escenas se pueden interpretar como una explicación de un fenómeno físico?	CIENCIAS	UNIVERSO, MUNDO	CONTEXTOS - COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO
e. ¿Cree usted que son claros los conceptos observados en las imágenes vistas en el comic?	NATURALEZA	ENTORNO, MEDIO AMBIENTE	CONTEXTOS - COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO

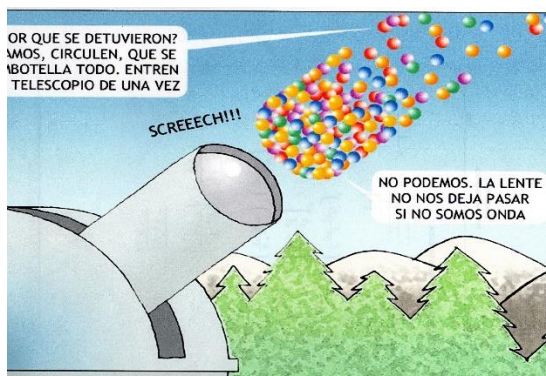
ANEXO 6

CATEGORIAS DE ANÁLISIS ENTREVISTA

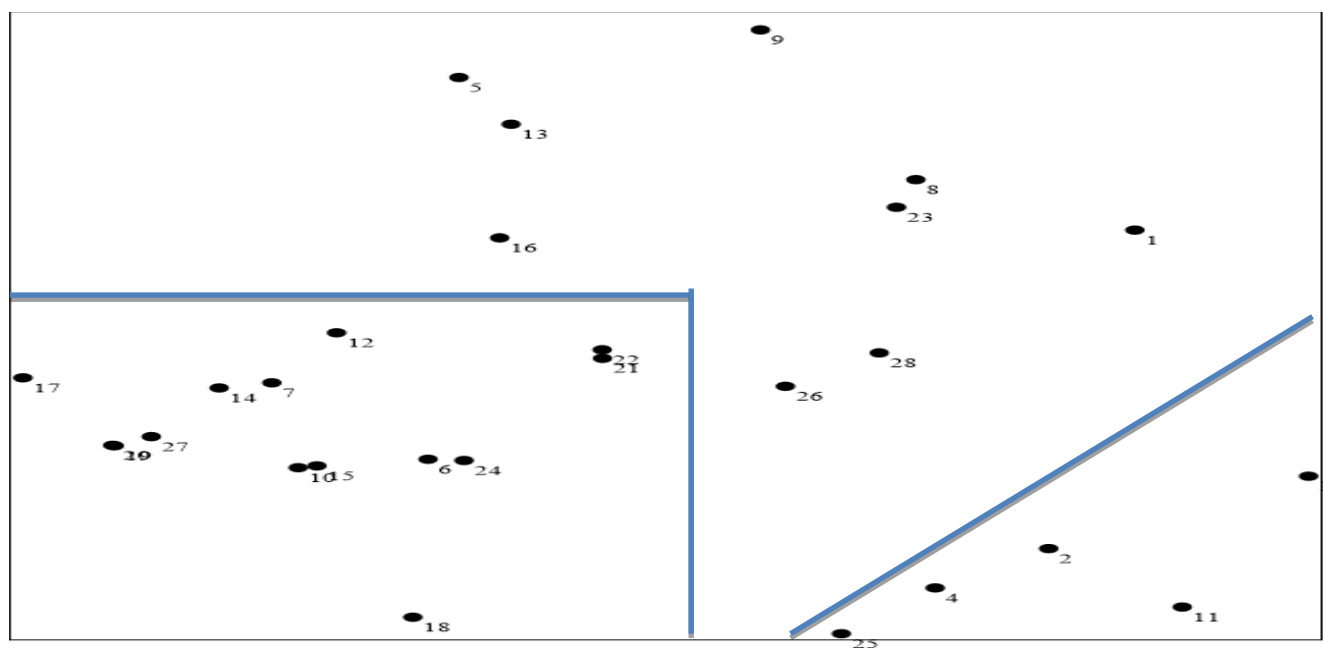
PREGUNTA	CRITERIO	SUBCRITERIO	CATEGORÍA DE ANÁLISIS
¿Es posible reconocer un fenómeno físico en una situación cotidiana? Si, No ¿Por qué? ¿La representación anterior es importante para comprender el fenómeno descrito en la naturaleza?	MEDIO AMBIENTE - CIENCIAS DE LA SALUD	ENTORNO - DIAGNÓSTICO	CONTEXTOS - COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO
¿Cuál puede ser el análisis de la representación de un fenómeno anterior en otra situación de contexto?	NATURALEZA	MATERIA - ENERGIA	FORMALIZACIÓN DEL FENÓMENO
¿Qué fenómeno físico se puede caracterizar en la cotidianidad a través de una representación?			
¿Qué ventajas pueden surgir cuando se analiza un fenómeno físico a través de su representación?	MEDIO AMBIENTE - CIENCIAS DE LA SALUD	ENTORNO - DIAGNÓSTICO	CONTEXTOS - COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO
¿Cree usted que la representación de los fenómenos es un aporte a la construcción de conocimiento?, describa con un ejemplo.	MEDIO AMBIENTE - CIENCIAS DE LA SALUD	ENTORNO - DIAGNÓSTICO	CONTEXTOS - COMPRENSIÓN DEL FENÓMENO

ANEXO 7

COMICS EMPLEADOS EN EL TALLER DE CONTEXTOS



ANEXO 8

DIAGRAMA DE CORRELACIÓN DE PUNTOS ANÁLISIS TALLER DE
CONTEXTOS

ANEXO 9

ENTREVISTA FINAL

ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA INSTRUMENTO FINAL TESIS DOCTORAL

PROPÓSITO

Analizar las representaciones del fenómeno físico de la dualidad onda – partícula registrado por los estudiantes de la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional y los estudiantes de Física Básica de Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas, en los instrumentos aplicados (Cuestionario Múltiple de ítems y el taller de aplicación de conceptos) a fin de contextualizar el fenómeno estudiado en escenarios reales.

Dirigido a: Estudiantes de Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional y los estudiantes de Física Básica de Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas de la Fundación Universitaria del Área Andina que dieron respuesta a los instrumentos iniciales
 Tiempo aproximado de la entrevista: 15 a 20 minutos
 Fecha de entrevista: Mayo 2016

PREGUNTAS

Imagine la siguiente situación desde la dualidad onda – partícula, de la mecánica cuántica

A usted le practican una radiografía de su pierna derecha, las imágenes del reporte corresponden, desde la dualidad onda – partícula, a la formación de un fenómeno físico o simplemente es un hecho aislado en la naturaleza. De acuerdo con esta analice y de respuesta a las siguientes preguntas

- ¿Es posible reconocer un fenómeno físico en una situación cotidiana? Si, No ¿Por qué? ¿La representación anterior es importante para comprender el fenómeno descrito en la naturaleza?
- ¿Cuál puede ser el análisis de la representación de un fenómeno anterior en otra situación de contexto?
- ¿Qué fenómeno físico se puede caracterizar en la cotidianidad a través de una representación?
- ¿Qué ventajas pueden surgir cuando se analiza un fenómeno físico a través de su representación?
- ¿Cree usted que la representación de los fenómenos es un aporte a la construcción de conocimiento?, describa con un ejemplo.

ANEXO 10

SOLUCIÓN DE TALLER DE CONTEXTOS

Sesión I.

Estudiante de Licenciatura en Física

a. ¿Todos los objetos irradian energía? ¿Por qué no podemos ver los objetos irradiados en un cuarto oscuro?

R= Nuestras ojos no alcanzan a percibir rayos gamma, x, sin ayuda a herramientas

b.

R= Si es posible, puesto que los objetos como el microscopio y el macroscopio, nos sirven como herramienta de medida, si estos no se podría perturbar el sistema estudiado.

c.

R= Es una onda emitida en el espectro electromagnético al cual le corresponde un longitud de onda (λ) entre (10^{-8} a 10^{-4}) por lo cual nuestra vista no alcanza a percibirla, por ello se utilizan aparatos de medida para dar evidencia de estos.

d. R= En una parte del video explican el experimento de la doble rendija

Sesión II.

a. nuevamente se evidencia la dualidad de un sistema cuántico, si el sistema cuántico presenta un patrón de interferencia, los sistemas cuánticos empiezan a comportarse como onda y así y solo así podrían atravesar el lente.

b. si se pudo poner en contexto lo que hemos visto en mecánica cuántica.

c. la luz blanca, descomposición de ella a través de un prisma y en la vida cotidiana lo podemos observar en el arcoiris.

ACTIVIDAD 3 ANALISIS CONTEXTUAL DEL PR QUANTUM.

Punto 2.

- no podemos ver los objetos radiados en un cuarto oscuro por que la radiación lo podemos visualizar, ya que de acuerdo a la teoría Einstein, se dio cuenta que la luz podía comportarse como una partícula.
- según Einstein no es posible escribir la luna tiene una posición, definida la miramos o no la miramos, lo mismo debe ser válido para objetos de tamaño atómico, ya que no debe de haber distinción entre estos y el mundo macroscópico.
- Podemos describir que un rayo es invisible, pero son visibles al momento de tomar un examen ya que se le refleja una imagen.
- se puede explicar cuando cuestion al científico sacando la capsula a otra dimensión.
- cuando hicieron los rayos y desaparecieron bolitas que luego eran incertadas en una pared.

POR QUE SE D
AMOS, CIRCULO
MBOTELLA TO
L TELESCOPIC

D

Andrea Bejirano
Jennifer Bulnar
Yeimi Warrant
Vlatny Osorio