



**La experimentación cualitativa exploratoria y su contribución al desarrollo del pensamiento crítico. El caso de los fenómenos ondulatorios en la clase de física.**

Cristian Camilo Orozco Valencia

Santiago Velásquez Tamayo

Claudia Marcela Flórez Ocampo

Trabajo de grado presentado para optar al título de Licenciado en Matemáticas y Física

Asesores

Ángel Enrique Romero Chacón, PhD. En Epistemología e Historia de las Ciencias y las Técnicas.

Natalia Muñoz Candamil, Magister en Educación en Ciencias Naturales.

Universidad de Antioquia

Facultad de Educación

Licenciatura en Matemáticas y Física

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

# EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

---

<b>Cita</b>	(Orozco Valencia, et al., 2022)
<b>Referencia</b>	Orozco Valencia, C., Velásquez, S. & Flórez, M. (2022). <i>La experimentación cualitativa exploratoria y su contribución al desarrollo del pensamiento crítico. El caso de los fenómenos ondulatorios en la clase de física.</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo</b> <b>APA 7 (2020)</b>	

---



Grupo de Investigación Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza (ECCE).

Línea de investigación: Reflexiones sobre la experimentación en ciencias como pretexto para la resignificación de la práctica docente.

Coordinadores de prácticas y asesores: Ángel Enrique Romero Chacón y Natalia Muñoz Candamil.



Centro de Documentación Educación

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano: Wilson Bolívar Buriticá

Jefe departamento: Cártul Vargas Torres

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

# EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

## Dedicatoria

**Cristian:** A mi madre Cecilia, mi hermana Laura y mi abuela Roselia.

**Santiago:** A mi abuelo Héctor, quien me sigue apoyando, a la memoria de mi abuela Rosa, que me motiva a continuar y a mi esposa Camila por su amor y paciencia.

**Claudia:** A mis padres: Albeiro y Miriam y mi novio Valentín por su apoyo y afecto. A mis gatos, Niño y Bicho, por su acompañamiento constante.

## Agradecimientos

**Cristian:** En primer lugar, agradezco a los profesores Ángel Enrique Romero Chacón y Natalia Muñoz Candamil por sus valiosos aportes y espacio-tiempo, tanto para el desarrollo de la Investigación como de las Prácticas Pedagógicas. Sus contribuciones sin duda alguna me permitieron crecer como maestro de ciencias.

Agradezco al profesor Yirsén Aguilar Mosquera, quien en calidad de maestro cooperador me abrió las puertas a sus clases de física y me brindó la oportunidad y el espacio para desarrollar mi práctica pedagógica, gracias además por cada una de sus palabras y recomendaciones en pro de mejora.

A los estudiantes de la Institución Educativa Comercial de Envigado por ser los protagonistas del proceso de investigación, mil gracias por su participación, disposición, aportes e interés en el desarrollo de esta propuesta.

A la Universidad de Antioquia por ser mi Alma Mater.

Por último, agradezco a mi familia por su apoyo incondicional para cumplir mis sueños y metas.

**Santiago:** Cuando pienso en agradecer, me remito a lo que ha sido mi proceso universitario y todo aquello que me ha permitido llegar a este punto del camino y a su vez a quienes han estado presentes a lo largo de este proceso. Es por eso por lo que hoy agradezco primeramente a Dios quien ha sido el autor de esta historia y ha permitido desde todos los matices que existan, que llegue hasta acá. A mis abuelos, que su amor los llevó a guiarme y a motivarme día a día, en especial a mi abuela, pues recuerdo siempre me motiva y me fortalece a no desfallecer. A quien hoy es mi esposa, que desde su amistad estuvo presente dando ánimos para seguir. Agradezco también a mi equipo de trabajo, Cristian y Claudia, por su paciencia, por la confianza y porque a pesar de los momentos difíciles que pudimos pasar, logramos llevar a cabo un buen trabajo, junto a ellos también a los asesores, Ángel y Natalia y al profesor cooperador de la práctica, quienes guiaron este proceso. A mis compañeros de universidad, con los cuales he podido crecer, especialmente a Juan Acevedo por sus consejos y acompañamiento. Finalmente, agradezco a la Universidad de Antioquia especialmente a la Facultad de Educación pues fue el espacio que me ha permitido formarme como profesional y como persona.

**Claudia:** Agradezco a mis compañeros Santiago y Cristian por su apoyo y paciencia, a nuestros asesores Natalia Muñoz y Ángel Romero por su dedicación, a los directivos, docentes y estudiantes de la IECE por abrirnos las puertas de este espacio, a mi familia por su gran apoyo, por último y no menos importante, a la Universidad de Antioquia en su diversidad, llena de grandes oportunidades que nos conducen a una mejor calidad de vida, así como a seguir nuestras pasiones y sueños.

# EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

## Tabla de Contenido

Resumen .....	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Planteamiento del Problema .....	13
Justificación .....	21
Objetivos.....	25
Objetivo General.....	25
Objetivos Específicos .....	25
Marco Teórico. ....	26
Análisis Histórico-Epistemológico de los Fenómenos Ondulatorios .....	26
Una breve conceptualización de la acústica. ....	26
Breve descripción de la óptica.....	34
Experimentación Cualitativa Exploratoria. ....	48
Consideraciones teóricas sobre la experimentación cualitativa exploratoria. .....	48
Experimentación cualitativa exploratoria en el fenómeno ondulatorio.....	50
El papel de la experimentación cualitativa exploratoria en la clase de física. .....	55
Desarrollo del Pensamiento Crítico en la Clase de Física. ....	57
¿Qué es el pensamiento crítico? .....	57
Argumentación y flexibilidad de pensamiento. ....	59
Estándares del pensamiento crítico.....	62
Marco Metodológico. ....	65
Enfoque y Método de Investigación.....	65
Caso y Contexto. ....	67
Implementación de la Propuesta Didáctica. ....	68
Sistematización y Análisis de la Información .....	73

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Triangulación de la Información. ....	77
Hallazgos .....	80
Construcción de los Conceptos de Onda Mecánica y Onda Electromagnética. ....	80
Experiencias Físicas Para Establecer Diferencias Entre la Mirada Ondulatoria vs Mirada de Partícula.....	90
Experimentación y Desarrollo de Pensamiento Crítico.....	108
Conclusiones.....	117
¿Qué Nos Aporta la Investigación a Nuestra Formación Como Maestros en Ciencias?.....	120
Cristian Orozco Valencia.....	120
Santiago Velásquez Tamayo .....	121
Claudia Marcela Flórez Ocampo .....	122
Recomendaciones y Perspectivas de Trabajo .....	124
Referencias .....	125
Anexos .....	130
Anexo 1: Propuesta pedagógica .....	130
Anexo 2: Protocolo Ético. ....	147
Anexo 3: Matriz de Unidades de Análisis.....	152
Anexo 4: Registro Fotográfico. ....	159

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

### Lista de tablas

Tabla 1 <i>Estándares de habilidades de pensamiento crítico</i> .....	63
Tabla 2 <i>Red de Categorías e indicios</i> .....	75

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

### Lista de figuras

Figura 1 <i>Figuras de Chladni</i> .....	32
Figura 2 <i>Tubo de Kundt</i> .....	33
Figura 3 <i>Propagación de luz en ondas esféricas</i> .....	42
Figura 4 <i>Anillos de Newton</i> .....	44
Figura 5 <i>Experimento primero de Grimaldi</i> .....	51
Figura 6 <i>Estudiantes experimentando con la cubeta de ondas</i> .....	70
Figura 7 <i>Línea de tiempo de aplicación de instrumentos</i> .....	73
Figura 8 <i>Triangulación entre instrumentos</i> .....	79
Figura 9 <i>Preguntas finales de la implementación</i> .....	89
Figura 10 <i>Frentes de onda circular y plano</i> .....	94
Figura 11 <i>Difracción en ondas de agua</i> .....	96
Figura 12 <i>Experimento de la doble ranura en una cubeta de ondas</i> .....	97
Figura 13 <i>Luz láser atravesando una doble rendija (ilustración)</i> .....	102
Figura 14 <i>Respuesta a pregunta de la guía y representación</i> .....	103
Figura 15 <i>Experimento de la doble rendija (variación)</i> .....	104
Figura 16 <i>Manuscrito de grupo de estudiantes</i> .....	106

# EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

## **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>IECE</b>	Institución educativa Comercial de Envigado
<b>MEN</b>	Ministerio de Educación Nacional
<b>DBA</b>	Derechos Básicos de Aprendizaje
<b>PEI</b>	Proyecto Educativo Institucional
<b>ECCE</b>	Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

### Resumen

Este Trabajo de Grado es el informe final del proyecto de investigación adelantado en la Práctica Pedagógica de la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia). La investigación tuvo como propósito analizar cómo la experimentación cualitativa-exploratoria contribuye a articular el desarrollo de habilidades críticas y la comprensión de los fenómenos ondulatorios en la clase de física. Asumiendo como fundamento los aportes de las reflexiones de la historia y la epistemología de las ciencias en la enseñanza, se adelanta un análisis histórico-epistemológico sobre la acústica y la óptica, que permite identificar algunos episodios experimentales claves para la comprensión de los fenómenos ondulatorios; complementariamente, se conceptualiza acerca de la experimentación cualitativa-exploratoria como perspectiva pertinente para la comprensión de los fenómenos mencionados, y se discute su importancia el desarrollo del pensamiento crítico en la clase de física. El análisis adelantado permitió la estructuración de una secuencia didáctica, focalizada en actividades experimentales sobre el fenómeno ondulatorio, que se implementó en la Institución Educativa Comercial de Envigado con estudiantes del grado décimo. La investigación se desarrolló a través de una metodología cualitativa-interpretativa, con estudio de caso instrumental; para la sistematización y análisis de la información recolectada se construyó una red conceptual de categorías. El análisis de dicha información permite poner en evidencia que la experimentación cualitativa-exploratoria es un escenario idóneo para poner en juego en la clase de física habilidades críticas como la argumentación y la flexibilidad de pensamiento, a la vez que favorece la construcción colectiva del conocimiento.

**Palabras claves:** *Enseñanza de la física, experimentación cualitativa exploratoria, habilidades del pensamiento crítico, fenómeno ondulatorio, historia y epistemología de las ciencias.*

### Abstract

This Work is the final report of the investigation project carried out in the Pedagogical Practice of the Degree in Mathematics and Physics of the University of Antioquia (Medellín, Colombia). The purpose of the research was to analyze how qualitative-exploratory experimentation contributes to articulating the development of critical skills and the understanding of wave phenomena in physics class. Assuming as a basis the contributions of the reflections of the history and epistemology of science in education, a historical-epistemological analysis of acoustics and optics is advanced, which allows the identification of some key experimental episodes for the understanding of wave phenomena; In addition, qualitative-exploratory experimentation is conceptualized as a pertinent perspective for comprehension the aforementioned phenomena, and its importance in the development of critical thinking in physics class is discussed. The analysis performed allowed the structuring of a didactic sequence, focused on experimental activities on the wave phenomenon, which was implemented in the Envigado Commercial Educational Institution with tenth grade students. The research was developed through a qualitative-interpretative methodology, with an instrumental case study; For the systematization and analysis of the information collected, a conceptual network of categories was built. The analysis of this information makes it possible to show that qualitative-exploratory experimentation is an optimal scenario to bring into play critical physical skills such as argumentation and flexibility of thought, while at the same time favoring the collective construction of knowledge.

**Keywords:** *Physics teaching, exploratory qualitative experimentation, critical thinking skills, wave phenomenon, history and epistemology of science.*

### **Introducción**

En esta investigación se presenta los fundamentos teóricos y metodológicos de una propuesta didáctica dirigida a estudiantes de grados décimo y undécimo, producto de la práctica pedagógica de la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia. Este trabajo teje una relación entre la experimentación cualitativa exploratoria en el aula de clase y su contribución al desarrollo de pensamiento crítico y la comprensión de los fenómenos físicos, con habilidades tales como la argumentación y la flexibilidad de pensamiento.

La estructura del trabajo se compone de cinco ejes. En el primero se presenta el planteamiento del problema y la justificación de la investigación; para ello se propone una revisión contextual y documental en torno a la enseñanza de las ciencias y de la física, para luego situarse en los fenómenos ondulatorios y configurar la pregunta que orienta el estudio, así como, de los objetivos que orientan la realización de la misma.

En el segundo eje se exponen las consideraciones de orden teórico, las cuales giran alrededor de tres aspectos: el primero, es un análisis histórico epistemológico sobre acústica y óptica; en este se reconoce que el estudio de las ondas inicialmente se da desde fenómenos físicos tan presentes en la cotidianidad como lo son el sonido y la luz. Es indispensable tener en cuenta que el concepto de onda que conocemos actualmente ha sido el producto de un largo camino intelectual lleno de peripecias y que en conjunción con la experimentación se han desarrollado construcciones teórico-experimentales que dan explicaciones sobre el fenómeno en cuestión. En ese sentido, se presentan algunos episodios históricos sobre la acústica y la óptica, identificando cómo el fenómeno ondulatorio ha evolucionado como hecho científico y concepto estructurante en la física. El segundo aspecto, se refiere a la experimentación cualitativa exploratoria; para ello, se presenta una conceptualización en la cual se develan algunas características y cualidades que indican la importancia de este tipo de experimentación para el desarrollo y evolución de la ciencia, así mismo, se propone una reflexión sobre la implicación de dicha experimentación en la enseñanza de las ciencias. El tercer aspecto es el pensamiento crítico, en el cual se lleva a cabo una conceptualización a partir de una relación entre las ideas de varios autores, centrándose la reflexión en habilidades

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

como la argumentación y flexibilidad de pensamiento; además, se presenta una estructura de estándares sobre lo que significa pensar críticamente.

En el tercer eje, se presentan las consideraciones de orden metodológico, en donde se expone el enfoque y método de investigación, el contexto y los participantes con quienes se desarrolló; así mismo, se exponen las fases de implementación de la secuencia didáctica, registro, sistematización y análisis de la información, finalizando con el modo en el cual se realizó la triangulación de la información y las consideraciones éticas tenidas en cuenta.

En el cuarto eje, se presenta los hallazgos de la investigación, mediante el análisis de los discursos de los estudiantes por categorías; allí se evidencia la articulación entre la experimentación cualitativa exploratoria con el desarrollo de pensamiento crítico y la comprensión del fenómeno ondulatorio.

Por último, en el quinto eje se explicitan las conclusiones de la investigación, en ellas se reúnen las apreciaciones generales en cuanto al producto investigativo, dando lugar también a algunas percepciones pedagógicas de los investigadores en torno a los aportes a su formación como maestros, cerrándose con algunas recomendaciones sobre la propuesta.

### **Planteamiento del Problema**

Actualmente en Colombia se han visibilizado múltiples problemáticas sociales a raíz de la pandemia generada por el virus COVID 19, estas coyunturas han impactado en la educación colombiana y la manera en la que se llevan a cabo los procesos de enseñanza. Uno de los cambios que se evidenció fue la interrupción de la educación presencial y la adopción de medios virtuales para el desarrollo de esta.

Dicho lo anterior, es necesario poner sobre la mesa las consecuencias de esta nueva modalidad de educación, en un país donde los estudiantes que habitan tanto ciudades como zonas rurales poseen dificultades de conectividad, es decir, no disponen de un computador, una buena conexión a internet y de un ambiente pedagógico para la realización y elaboración de las actividades escolares propuestas.

A lo anterior se le suma las dificultades económicas, sociales y políticas que han estado presente en el país, y, por tanto, en los hogares de los estudiantes. Esto último fue una de las causales que en el mes de mayo de 2021 se gestara un estallido social a nivel nacional, el cual generó la unificación multitudinaria de diferentes gremios, dando lugar a un paro nacional durante varios meses que tuvo eco en las diferentes esferas del país y en las aulas; de este modo, maestros y estudiantes se vieron inmersos en la lucha social, manifestando su postura política por medio del cese de sus actividades, lo cual afectó el desarrollo de las clases.

Las dificultades descritas influyeron notablemente en las dinámicas educativas. Las clases virtuales a través de plataformas digitales a pesar de ser un medio de comunicación relativamente efectivo, trajo consigo dificultades de socialización entre los estudiantes y maestros; de cierta manera la participación de estos agentes educativos en su proceso de aprendizaje fue limitada por la interacción producida en los medios digitales. Lo dicho hasta acá lo pudimos notar en los encuentros de la clase de física virtual en la Institución Educativa Comercial de Envigado (IECE), centro de práctica donde adelantamos nuestra Práctica Pedagógica, dado que la mayoría de los estudiantes no habilitaban su micrófono para participar y responder a las temáticas que el maestro proponía durante la clase; también se evidenciaron dificultades para entender los conceptos, para argumentar, reflexionar y sentar

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

posiciones críticas frente a los cuestionamientos realizados en la clase, lo cual los llevó a asumir un papel pasivo frente a su aprendizaje, los contenidos y temáticas que estudian.

A las dificultades anteriores se suma la realización de actividades prácticas, en particular en lo concerniente a la experimentación en las áreas de ciencias naturales, puesto que a través de la virtualidad no se cuenta con los espacios, medios y materiales necesarios para la construcción de experimentos, esto llevó a que en las clases de ciencias se limite la realización de dichas actividades. Con base en lo expuesto, se formularon las siguientes preguntas: ¿Es posible que la ausencia de procesos experimentales en las clases de ciencias afecte la comprensión de los fenómenos naturales y los procesos dialógicos entre los estudiantes? Por lo anterior, se hizo necesario dar una mirada a los documentos rectores de la educación colombiana, con el fin de identificar qué dicen acerca del papel de la experimentación y su realización en las aulas de clase.

Los Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales propuestos por el Ministerio de Educación Nacional (MEN, 1998) reconocen un carácter dialógico y argumentativo de la experimentación, en ellos se afirma que experimentar requiere de un compromiso intelectual por parte de los estudiantes, quienes deben de tener cuestionamientos previos a la actividad experimental, de lo contrario dicha acción es vacía. De esta manera, en dichos documentos la experimentación se concibe como “un instrumento para construir conocimiento válido y convincente. El experimento debe encontrarse siempre como una pieza clave dentro de un proceso de argumentación” (p. 63).

Al revisar los Estándares Básicos de Competencias del área de ciencias sociales y ciencias naturales se encontró que no se conceptualiza la experimentación; solo al final de tales documentos, en donde se enuncian los estándares para cada grado en lo referente a “me aproximo al conocimiento como científico natural”, se menciona la realización de experimentos (MEN, 2004). Además, en los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA) del área de ciencias naturales las actividades experimentales solamente se proponen para abordar ciertas temáticas específicas y no para todas (MEN, 2015).

En el Proyecto Educativo Institucional (PEI) de la IECE, se evidenció en su modelo pedagógico un énfasis en la formación de sujetos en ciencia y tecnología como ejes

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

transversales junto a la dimensión ético-social. De esta manera, la formación científica resulta útil para la comprensión del ser humano y su acción social, con el fin de que los estudiantes asuman una posición crítica en su interacción con el mundo y las implicaciones que tiene la ciencia en torno a los contextos socioculturales (Institución Educativa Comercial de Envigado [IECE], 2019). Así, la experimentación, aunque no se haga explícita desde el PEI, tiene que ver con la formación integral.

Por otro lado, se hace necesario reconocer la conceptualización dada a la enseñanza de las ciencias en los Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales, donde se menciona que:

La tarea de enseñar ciencias se convierte en la tarea de simular para el alumno un ambiente equivalente a aquél en el que el científico construye teorías y diseña arreglos experimentales para contrastarlas, con el fin de que, al igual que el científico, el estudiante construya, o para ser más precisos, reconstruya conocimiento acerca de los fenómenos estudiados por las ciencias naturales. Esta actividad de reconstrucción es el mejor camino para lograr la comprensión cabal de estos fenómenos. (MEN, 1998, p. 65)

Ahora veamos, la concepción de enseñanza de ciencia que se adopta en el PEI de la IECE, en este se resalta que:

En este caso la enseñanza de la ciencia debe centrarse en la generación de contextos imaginarios de construcción y validación de explicaciones por parte de los estudiantes y profesores, en donde se parte de las ideas previas de los estudiantes para llegar, a través de un proceso, a lo ya establecido por la comunidad científica. Desde esta perspectiva, el maestro y el estudiante desempeñan un papel activo ya que se encuentran comprometidos con la construcción del conocimiento y no con la mera transmisión y recepción de lo construido por otros. (IECE, 2019, p. 60)

Conociendo el contexto sobre lo que dice los documentos rectores tanto a nivel nacional como de la institución educativa sobre la enseñanza de la ciencia y la experimentación, es necesario situar la problemática en el contexto particular en donde se centró la investigación. Desde el MEN y los entes territoriales se dio la autorización para

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

regresar a la educación presencial en el segundo semestre del año 2021, momento en el cual se desarrolló la implementación de esta propuesta investigativa. En el tránsito de la educación virtual a la educación presencial y en el contexto que se está tratando se logró evidenciar varias dificultades en torno a los procesos de enseñanza aprendizaje al interior de la IECE. En primer lugar, los maestros y directivos de la Institución manifestaron las dificultades que tienen los estudiantes a nivel académico debido a las dinámicas educativas acaecidas por la pandemia COVID 19, ya que presentaron bajos niveles, es decir, en el consolidado de evaluación del centro educativo varios educandos tenían más de 3 materias perdidas, porque no alcanzaron las competencias básicas en torno a las áreas de estudio. Desde la coordinación se planteó la posibilidad de realizar proyectos para la mejora de dichas dificultades académicas.

En segundo lugar, particularmente en la clase de física en los grados décimo y undécimo, se logró identificar una serie de dificultades ligadas a la participación asertiva de los estudiantes en la clase; así mismo, a la hora de responder preguntas o proveer explicaciones, a algunos estudiantes se les dificulta la argumentación, la reflexión y la postura crítica frente al proceso de construcción de conocimiento. A esto le podemos sumar también la dificultad para entender los conceptos que se trabajan en clase para aplicarlos a la resolución de problemas, cuando se interactuó con ciertos estudiantes se evidenció que no comprendieron los contenidos de física trabajados en las sesiones; cabe resaltar que la gran mayoría de estudiantes no disponían de las herramientas matemáticas previas para acercarse a la interpretación de los problemas físicos. Para resumir, se identificó que para los estudiantes la física poco tiene que ver con su vida cotidiana, la falta de comprensión de este campo causa que los estudiantes le otorguen una significación y manera de ver que no les permite motivarse a aprenderla.

Es necesario señalar que, debido a la normatividad de distanciamiento social, el trabajo experimental no podía realizarse en la Institución Educativa, aunque cuando se flexibilizaron dichas normas, se desarrollaron actividades experimentales que en su mayoría fueron bien recibidas por el estudiantado.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

A partir de este contexto documental en relación con las coyunturas sociales e institucionales presentadas, se procedió a analizar en la literatura especializada qué se ha dicho al respecto, para situar la problemática a través de algunas investigaciones desde el campo de enseñanza de las ciencias. Para iniciar, ¿qué tiene que ver las problemáticas sociales y la enseñanza de las ciencias?

Una de las dificultades en el ámbito educativo y en la enseñanza de las ciencias es que en ocasiones lo transmitido a los estudiantes no responde a su contexto conceptual, es decir, está desconectado de sus concepciones de mundo y, por lo tanto, la ciencia que se enseña no resulta comprensible y necesaria para ellos (Ayala, 2006). De cierta manera se ha privilegiado en el aula de clase una imagen de que la ciencia no tiene que ver con aquellas problemáticas sociales y es un producto humano que solo acaece en centros académicos y se relaciona poco con la forma en la que viven los estudiantes. En este sentido, es un asunto problemático que los procesos de enseñanza- aprendizaje se desconecten del contexto en los cuales se desarrolla la educación, pues desde los Lineamientos Curriculares propuestos por el MEN (1998) se reconoce que “toda forma de conocimiento solo se hace posible dentro de un contexto social” (p. 11), lo cual implica que es necesario adaptar los contenidos para que los estudiantes puedan vivenciarlos en su entorno.

De acuerdo con esta dificultad, algunos investigadores han concebido que, en la acción pedagógica de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, la imagen de ciencia que más se propone en el aula de clase es aquella que asume las ciencias como producto, en otras palabras, hay una lógica conceptual heredada de los científicos y en la cual se debe aprender una concepción dada de mundo para que los conceptos científicos adquieran significado y sentido. De esta manera, la enseñanza de las ciencias no se inscribe en el contexto conceptual y social de los estudiantes sino en el contexto conceptual de los gestores de las teorías; en consecuencia, el conocimiento científico está desarticulado de las dinámicas sociales, en gran parte por la manera en la que significa la ciencia. Pero entonces ¿cuál imagen de ciencia se debe privilegiar para que en la enseñanza de las ciencias se aborde el conocimiento científico en conjunción con las realidades socio culturales de los estudiantes? (Ayala, et al., 2013).

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

A partir de lo dicho, en la enseñanza de la física gran parte de las dificultades están “en que la comprensión lograda por los estudiantes de los conceptos, leyes o teorías que se enseñan no les permite dar cuenta de los fenómenos que están inscritos en el dominio fenomenológico de la teoría” (Moreira et al., 1988, citado en Ayala, 2006, p. 23), además no se conoce más acerca de cómo funcionan los fenómenos, sino que se hace un énfasis excesivo en la formulación matemática (Ayala, 2006). Así, la enseñanza de la física recae en lo “formal” proveniente de la visión positivista de la ciencia.

En esta perspectiva dogmática de la enseñanza de la física se privilegia una visión teórica, esta última considerada por Ferreirós & Ordóñez (2002) desde la filosofía de las prácticas experimentales como una perspectiva donde la ciencia es simplificada y estilizada a un tratamiento matemático, así lo que más importa en la actividad científica es el desarrollo de teorías.

Dicha perspectiva influye en la enseñanza de la física, puesto que en las instituciones educativas y en concordancia con la imagen de física como producto, se brinda un conocimiento terminado, muy teórico y en el que se expresa que la física encierra verdades únicas (Giraldo, 2014), lo cual conlleva a reducir la participación en el aprendizaje por parte de los estudiantes, así como a restringir la posibilidad de cuestionar, debido a lo cual se disminuye la reflexión y el desarrollo de las habilidades críticas en los estudiantes.

De acuerdo con lo anterior, se evidencia la necesidad de promover una reflexión crítica en cuanto a la enseñanza de la ciencia ya que el MEN (2004) en los Estándares Básicos de competencia mencionan:

Así entonces, el estudio de las ciencias debe dejar de ser el espacio en el que se acumulan datos en forma mecánica, para abrirse a la posibilidad de engancharse en un diálogo que permita la construcción de nuevos significados. Por esta razón es importante invitar a los y las estudiantes a realizar análisis críticos del contexto en el que se realizan las investigaciones, así como de sus procedimientos y resultados. (p. 98)

Si bien los contenidos propuestos por el MEN son llevados al aula muchas veces sin que los maestros propicien los debates en torno a lo que enseñan, con esto se quiere decir que

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

se quedan en una mera reproducción (Tobón, 2016). Ante esto surge la siguiente pregunta para configurar la problemática ¿se incentiva el pensamiento crítico en las aulas de clase?

A partir de todas las anteriores dificultades y delimitando el problema de investigación, la temática disciplinar en la cual se centró la fue la enseñanza del fenómeno ondulatorio, considerando que como algunos de los “efectos” de las ondas no se perciben a simple vista se hace necesario el diseño de instrumentos que permitan ponerlas en evidencia y posibiliten la construcción de fenomenologías, dado que los fenómenos no se producen repentinamente y tienen sentido a través de prácticas de experimentación que muestran los modos en los que se comporta la naturaleza (Amelines, 2015). Esta experiencia no es explorada en las aulas regulares de la secundaria ni en las de los maestros en formación de ciencias<sup>1</sup>.

Normalmente el estudio del fenómeno ondulatorio se inicia al introducir los conceptos de movimiento armónico simple y oscilatorio, seguido por la representación matemática de las ondas como funciones sinusoidales que se ilustran en gran medida con cuerdas (imaginarias); después de toda esta teorización se definen las ondas mecánicas como aquellas perturbaciones que requieren de un medio para desplazarse. Luego se continúa el estudio con un énfasis menor en las ondas electromagnéticas: se parte de una representación matemática en un plano cartesiano que ilustra al vector campo eléctrico perpendicular al vector campo magnético, esto para decir que se trata de una onda transversal que puede transmitirse a través del vacío. Sin embargo ¿son estas representaciones las más claras para enseñar este fenómeno? Da la impresión de que las ondas mecánicas y electromagnéticas están desconectadas y no tienen relación entre sí; las segundas pueden evidenciarse en muchos de los aparatos tecnológicos que usamos habitualmente, no obstante, no las podemos percibir con nuestros sentidos y no hay manera de observarlas como se pueden ver las perturbaciones en el agua en el caso de las ondas mecánicas<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Desde nuestra experiencia como maestros en formación de ciencias y como estudiantes, no hemos tenido este acercamiento y consideramos que se hace necesaria en el proceso científico.

<sup>2</sup> Esta afirmación se realiza de acuerdo con nuestra experiencia como maestros en formación, llegando a un consenso de que a través de esta manera hemos aprendido el fenómeno ondulatorio.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Con base en las ideas anteriormente mencionadas se realiza la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera la experimentación contribuye a articular el desarrollo de habilidades críticas y la comprensión de los fenómenos ondulatorios en la clase de física?

### **Justificación**

Ante las dificultades mencionadas anteriormente, se requiere una enseñanza de las ciencias contextualizada, en otras palabras, en función de los problemas y de las condiciones de los contextos socioculturales específicos. (Ayala, 2006). De acuerdo con lo anterior, la enseñanza de las ciencias debe tener en cuenta los eventos sociohistóricos (por ejemplo, el COVID 19 y el paro nacional) para apuntar a la formación de sujetos culturales que vinculen el conocimiento científico con los procesos de construcción de significados y sentidos necesarios para afrontar y responder de forma crítica ante estas situaciones y además incidir en la constitución de un futuro más aceptable para nuestra sociedad (Romero, 2013).

En esta propuesta se concibe la ciencia como un proceso y actividad la cual tiene un carácter inacabado que se renueva en múltiples contextos complejos, espacios donde se discuten y debaten las formas de pensamiento para propiciar el paso de una forma de ver el mundo a otra (Ayala, et al, 2013). Por tanto, se hace necesario reconocer la ciencia como lo plantea Romero (2013): “Así, tanto la ciencia (en sus contenidos, metodologías, formas de comunicación, etc.) como lo que concebimos como conocimiento científico es dependiente de los cambios de los procesos sociales acaecidos a lo largo de la historia” (p. 80).

Ubicándonos particularmente en la enseñanza de la física, se hace necesaria una imagen en donde el mundo físico se sitúe en el contexto conceptual adecuado (especificando la concepción de mundo y la forma como es abordado). Lo dicho supone la clase de física como escenario para que los estudiantes puedan participar activamente en la construcción de las formas de representación del mundo natural y social, con el propósito de enfrentar los múltiples y complejos conflictos que afectan a sus comunidades (Ayala, 2006).

Es de resaltar que no cualquier perspectiva de experimentación apunta a la solución de las problemáticas mencionadas, por consiguiente, se considera la experimentación cualitativa exploratoria como aquella que permite articular la formación de pensamiento crítico (con habilidades tales como la flexibilidad de pensamiento y la argumentación) con la comprensión de los fenómenos físicos. Para sustentar lo anterior Restrepo et al. (2013) afirman que “la experimentación cualitativa y exploratoria favorece la construcción del

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

conocimiento que se oponen a prácticas verificacionistas e instrumentalistas y contribuye al desarrollo de procesos discursivos para una mejor comprensión de los fenómenos” (p. 132).

Esta perspectiva se inscribe en la mirada de la experimentación como un proceso fundamental en la construcción de conocimiento científico y para la producción de fenomenologías, por medio del diálogo entre la actividad experimental y la teoría, cuya máxima es vincular las relaciones conceptuales y las prácticas para la creación de hechos científicos y la comprensión de los fenómenos naturales (Amelines, 2015). Pero ¿de qué manera se puede comprender un fenómeno físico?

De acuerdo con Guidoni et al. (1990) los estudiantes tienen deseos de comprender y conocer el mundo que los rodea y por ello están en una creación continua de redes que conectan diversos hechos de su cotidianidad con otros que aparentemente están desconectados. Así, la comprensión tiene que ver con la experiencia de la vida y su intercambio con otros a través del lenguaje. Por tanto, en la enseñanza de la física se debe articular aquello que el estudiante conoce y vive con el conocimiento científico tratando de hacer explícitas esas relaciones que existen entre la experiencia cotidiana y el conocimiento científico.

Como los fenómenos naturales no están lo bastante bien explicados en algunos libros de texto de literatura científica usados para la enseñanza (Barragán & Ramírez, 2013), en este caso concebimos que para comprender un fenómeno físico se hace indispensable la experimentación, ya que este proceso permite construir nuevas explicaciones y transformar las que se tienen previamente, ampliando de esta manera la experiencia y concepción sobre los fenómenos (Gómez & Flórez, 2013).

La experimentación favorece la comprensión de los fenómenos porque juega un papel importante en la explicitación de la experiencia sensible que los vincule con la construcción de la fenomenología de estudio (Malagón, et al, 2013). En otras palabras, la actividad experimental potencia en el sujeto el conocimiento que posee de su experiencia sensible, percepciones y relaciones que tiene del y con el mundo, sin embargo, cuando el fenómeno para el sujeto es nuevo y por tanto no tiene conexiones explícitas con él, entonces la actividad experimental está orientada a crear la posibilidad de construir la experiencia sensible.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Por lo anterior, la comprensión se da a partir de la construcción de una serie de experiencias que permiten organizar las cualidades de los fenómenos físicos. En ese sentido, “comprender la fenomenología significa establecer algún tipo de relaciones y poner de presente que las cualidades no son en sí mismas, es decir, las cualidades son en tanto se trata de dar cuenta de la forma como se entiende o comprende el fenómeno” (Malagón, et al, 2013 p. 97). Esto implica revisar cómo se está concibiendo la enseñanza de las ciencias en el sentido de la construcción de campos fenomenológicos para la comprensión, propiciando en el aula de clase nuevas experiencias para construir conocimiento científico y crear situaciones que permitan determinar si realmente los estudiantes comprenden lo enseñado.

Según Ayala (2006), lo anterior se puede posibilitar por medio del diálogo y la discusión en el aula, pues para manifestar la comprensión de determinado conocimiento es suficiente con su exposición o socialización a otros, dado que “los estudiantes necesitan participar en procesos de construcción de modelos cualitativos y de aplicación de estos modelos para predecir y explicar fenómenos del mundo real” (p. 24). Esto implica que la participación de los estudiantes en clases de ciencias no debe reducirse a la interpretación de fórmulas, pues esto reduce o incluso elimina toda posibilidad de comprensión.

De acuerdo con lo expuesto, pensamos que por medio de la experimentación cualitativa exploratoria se favorece las dinámicas de relación del sujeto con el mundo y así mismo la significación de los fenómenos físicos, porque se trata de un proceso discursivo en donde convergen las interpretaciones de los sujetos sobre el mundo, en tanto un individuo en un colectivo acepta ciertas relaciones conceptuales y significados que posibilitan la comprensión y la formación crítica.

En este sentido, para posibilitar la comprensión de los estudiantes del fenómeno ondulatorio, se propone construir una fenomenología, según Malagón et al. (2013 como se citó en Tobón, 2016) “se trata de describir, interpretar y comprender la organización de experiencias y observaciones intencionadas de un fenómeno. Esta organización está acompañada de una comprensión conceptual y una disposición experimental” (p. 15). Lo anterior nos conlleva a preguntarnos ¿En el aula de clase se organiza la fenomenología en

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

torno al fenómeno ondulatorio? Consideramos que este es un problema por resolver y una de las principales cuestiones para ocuparnos en esta investigación.

Conforme a lo dicho, se hace necesario realizar una investigación en torno a la enseñanza del fenómeno ondulatorio privilegiando un enfoque experimental cualitativo exploratorio, con un énfasis en la actividad discursiva para constituir un espacio de reflexión en torno al conocimiento científico, además de crear la posibilidad en el aula de construir y validar dicho conocimiento (Giraldo, 2014), considerando que las actividades experimentales escolares son un medio para adquirir nuevos significados para la construcción y comprensión de los fenómenos físicos (Amelines, 2015).

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar cómo la experimentación cualitativa exploratoria contribuye a articular el desarrollo de habilidades críticas y la comprensión de los fenómenos ondulatorios en la clase de física.

### **Objetivos Específicos**

Examinar los discursos de los estudiantes alrededor de su comprensión del fenómeno ondulatorio.

Identificar a través de un análisis histórico epistemológico episodios experimentales en relación con los fenómenos ondulatorios para construirlos en el aula de clase.

Describir los aportes de una propuesta experimental al desarrollo de habilidades críticas en los estudiantes, por medio de plenarias y debates sobre las perspectivas de onda y partícula

### **Marco Teórico.**

El trabajo de grado está estructurado en tres ejes conceptuales construidos mediante una revisión bibliográfica en diferentes bases de datos, estos son: análisis histórico-epistemológico de los fenómenos ondulatorios, experimentación cualitativa exploratoria y el pensamiento crítico, a continuación, se presentan.

#### **Análisis Histórico-Epistemológico de los Fenómenos Ondulatorios**

##### ***Una breve conceptualización de la acústica.***

Uno de los principales fenómenos físicos que ocurren en la naturaleza es el sonido, por ello desde la prehistoria los humanos se han interesado en identificar los diferentes tipos de efectos sonoros acaecidos en su diario vivir. Esto ha ocurrido de la mano del nacimiento de la música, cuando el sonido de la piel tensa de animal al ser golpeada generaba ritmos que fundamentaban los rituales; de este modo en la edad de piedra, edad de los metales y posteriormente surgieron diferentes instrumentos musicales como parte de la expresión cultural de las civilizaciones. Como se puede ver el sonido es un factor importante que afecta la vida humana, aspecto por el cual, siguiendo a Raichel (2006), emergió como ciencia, es decir la acústica.

Se considera precursor de la acústica a Pitágoras (570-497 AC), quien por medio de algunos experimentos determina las propiedades de los cuerpos vibrantes, observando que “el movimiento del aire generado por un cuerpo sonoro que hace retumbar una sola nota musical también es vibratorio y de la misma frecuencia que el cuerpo” (Pierce, 2019, p. 3).

A partir de este principio, y aplicando sus matemáticas, el filósofo logra describir las consonancias musicales (la octava, la quinta y la cuarta), y consigue establecer que la proporcionalidad entre la longitud de una cuerda vibrante con su tono es inversa. De modo que comienza la interpretación física de las consonancias musicales y la descripción de las frecuencias de las cuerdas vibrantes (Pierce, 2019; Raichel, 2006 & Berg, 2019).

Hay que notar que en el estudio de Pitágoras lo que más importaba era el tono, pero ¿cómo se relaciona esta manifestación de tonos musicales con el desarrollo del concepto de onda? En consonancia con Aristóteles (384-322 AC) se sugirió que el sonido se propaga por

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

medio del aire, afirmando que la sonoridad se mueve por la perturbación que produce una fuente que empuja de la misma manera al aire contiguo. Esto pudo surgir de la observación del agua agitada de la cual proviene la noción de onda. Por otro lado, los filósofos Crisipo (281-205 AC), Vitruvio (80- 15 AC) y Boethius (480-524) abrieron la posibilidad de considerar que el sonido, de manera análoga a las ondas del agua, también fuese un fenómeno ondulatorio. Así, la onda se concibe inicialmente como una perturbación oscilatoria originada en una fuente que no transporta cantidades diferenciables de materia (Pierce, 2019; Raichel, 2006 & Berg, 2019).

Se puede ver cómo desde la antigua Grecia y Roma se empieza a construir el concepto de onda aplicado al sonido; aunque las explicaciones dadas son más de carácter filosófico que experimental, se empezó a explicar la propagación y reflexión del sonido a través de este concepto. Por su parte, Vitruvio tomando como analogía las ondas circulares formadas en el agua, determina un mecanismo para la descripción de cómo se transmiten las ondas sonoras y expone que estas viajan en un mundo tridimensional y se expanden en ondas de forma esférica. Así, este filósofo pudo contribuir al diseño acústico de los teatros, en la medida que se dice que colocaba algunos jarrones vacíos para la absorción de la baja frecuencia; acorde con esto, más tarde, Boethius considera que la percepción del tono está relacionada con la frecuencia (Raichel, 2006 & Berg, 2019).

En la edad media no hay registros de avances en la acústica, solo en el renacimiento con Leonardo da Vinci (1452-1519) se retoma la concepción ondulatoria del sonido en la que se reconoce que este se manifiesta a través del movimiento del aire. Además, reanuda la analogía entre las ondas generadas por un objeto arrojado en el agua y la propagación de las ondas sonoras. El genio renacentista a través de sus experimentos de acústica en los que hace que el sonido pase por medio de diferentes materiales y medios, identifica que este tiene una velocidad definida y además se percata de la resonancia simpática que más tarde identifica Galileo (Raichel, 2006).

Inicialmente se encuentra una perspectiva del sonido como una perturbación que hace que el aire contiguo a la fuente que lo emana se mueva, identificándose en analogía con las ondas de agua y con base en esto se plantea un mecanismo de descripción y explicación de

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

la transmisión del sonido. Se puede ver, en este sentido, cómo a través de la identificación de regularidades en un fenómeno más inmediato se pueden asociar similitudes con otro que es un poco más abstracto y que a través de cuerpos y cuerdas vibrantes se podía percibir y a la vez sentir el sonido (aunque no se “vieran” las ondas esféricas de aire).

Un episodio importante en la acústica como la ciencia que se conoce actualmente, se da gracias a los aportes de Galileo Galilei (1564-1642) y Marin Mersenne (1588-1648). Mersenne es considerado por algunos como el “padre de la acústica” hizo estudios sobre la vibración de las cuerdas estiradas, realizando una descripción detallada en su obra *Harmonie Universelle* (1636), en donde describe científicamente la frecuencia de un tono audible (a 84 Hz), demostrando a su vez la relación de frecuencia absoluta de dos cuerdas en vibración, estas emiten una nota musical y su octava con una relación de frecuencia 1:2; la armonía percibida se explica teniendo en cuenta la analogía con el fenómeno ondulatorio del agua, es decir, la perspectiva en donde los sonidos musicales causan el movimiento del aire de forma oscilatoria, por lo tanto la consonancia percibida en las notas se explica si la relación de las frecuencias de oscilación del aire también son 1:2 (Pierce, 2019; Raichel, 2006 & Berg, 2019).

Estos estudios están consolidados en las tres leyes de Mersenne y se consideran la base de la acústica musical moderna. Asimismo, en ese momento se conocía que la velocidad del sonido viajaba con una velocidad finita<sup>3</sup>. Más aún, era conocimiento común que las ondas sonoras se doblan en las esquinas (relacionado con la difracción) otra propiedad que es observada en las ondas de agua, tal que se reafirma esa perspectiva antigua sobre la semejanza entre estos dos fenómenos naturales (Pierce, 2019; Raichel, 2006 & Berg, 2019).

Ahora bien, independientemente de los estudios de Mersenne, Galileo en *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias* (1638) expone sus estudios de las vibraciones y da explicaciones sobre la equivalencia de frecuencias, es decir, la correlación entre el tono y la

---

<sup>3</sup> Se percata que el sonido viaja a una velocidad finita comparando el número de latidos del corazón durante el intervalo que ocurre entre el destello de un disparo.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

frecuencia emitida por una fuente de sonido, para ello se sirve de los péndulos (Raichel, 2006 & Berg, 2019).

En la obra de Galileo anteriormente mencionada, dicho autor sustenta los fundamentos de su mecánica como ciencia en contraposición con la física aristotélica, en ella expone también sus estudios sobre el sonido mediante el diálogo de sus tres personajes icónicos; Simplicio, Sagredo y Salviati. Es así como Galileo (2003) realiza una interesante analogía entre un sistema de péndulos y el sonido como corresponde:

**Salviati:** Ya que tanto te complaces con estas primicias [Dirigiéndose a Sagredo], es forzoso que yo te indique el modo, como también los ojos, no solamente el oído, puedan recrearse, viendo los mismos entretenimientos que el oído siente. Suspende tres bolas de plomo u otros cuerpos pesados semejantes, de tres hilos de diferente longitud, pero tales que, durante el tiempo en el que más largo cumple dos oscilaciones, el más corto haga cuatro y el mediano tres; lo que sucederá cuando el más largo tenga dieciséis cuartas u otras medidas, de las cuales el mediano tenga nueve y el menor cuatro. Alejados todos simultáneamente de la plomada y liberados después, se podrá ver una curiosa danza de estos hilos, con varios entrecruzamientos, pero tales que, a cada cuarta oscilación del más largo, los tres juntos llegarán simultáneamente al mismo término, y después partirán de ahí, para reiterar el mismo periodo. Esta mezcla de oscilaciones es la misma que, efectuada por las cuerdas, da al oído la octava con la quinta en medio. Y si con procedimientos semejantes se van graduando las longitudes de otros hilos, de modo que sus oscilaciones correspondan a los de otros intervalos musicales, pero consonantes, se verán más y más entrecruzamientos, y siempre tales que, en determinados tiempos y después de un número determinado de oscilaciones, todos los hilos (lo mismo si son tres que si son cuatro) coincidan en alcanzar en el mismo instante el término de sus oscilaciones, y en comenzar, partiendo de ahí, otro nuevo periodo.(p.145)

Es bueno mostrar que en la acústica también existía una perspectiva corpuscular del sonido, un punto de vista en el cual no se aceptó que la transmisión de este se daba semejante a una ola de agua, sino que se expresó como una propagación por medio de partículas que no

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

podían verse y que son producidas en la fuente de sonido viajando en el espacio hasta el oído de quien lo percibe. Inscrito en esta posición, Pierre Gassendi (1582-1655), contemporáneo tanto de Mersenne como de Galileo, apuntó a una teoría de los rayos en la cual el sonido se describe como una corriente de partículas emitidos por el cuerpo sonoro; con esto en mente, la velocidad del movimiento de los átomos corresponde a la velocidad del sonido y la frecuencia es el número de partículas emitidas por unidad de tiempo (Raichel, 2006 & Berg, 2019).

Esta perspectiva corpuscular del sonido fue apoyada experimentalmente por Athanasius Kircher (1602-1680) quien en su *Musurgia Universalis* (1650), describe su experimento de “campana en el vacío”. Este último trata de introducir una campana en un recipiente (con soportes para que pudiera moverse al ser inducida magnéticamente desde el exterior) y con una bomba de vacío se bombea el aire fuera del mismo frasco. Kircher se percató supuestamente que cuando se saca todo el aire de la cámara aún se podía escuchar el sonido de la campana; concluyendo así, que el aire no era necesario para transmitir el sonido<sup>4</sup> (Raichel, 2006 & Berg, 2019).

Robert Boyle (1626-1691) con su asistente Robert Hooke (1635-1703) establecen una construcción experimental (1660), colocando un reloj en una cámara de vidrio y evacuando parcialmente el aire de su interior con su bomba de vacío (estos científicos habían mejorado la tecnología de vacío). Encontraron que a medida que se sacaba el aire (acercándose virtualmente a cero) de la cámara, también disminuye la intensidad del sonido del reloj hasta que se vuelve prácticamente inaudible. De esta manera, proporciona evidencia experimental sobre la necesidad de la presencia del aire para la producción o transmisión del sonido. En otras palabras, se requiere de un medio como el aire para la transmisión de ondas sonoras<sup>5</sup>, de acuerdo con Raichel (2006); Pierce (2019) & Berg, (2019) esta conclusión dio fuerza a la perspectiva ondulatoria del sonido.

---

<sup>4</sup> Es bueno resaltar que realmente la cámara no estaba libre de aire y además el sonido pudo ser conducido a través de los soportes de la campana.

<sup>5</sup> Esta explicación es muy adecuada para la descripción del fenómeno ondulatorio, sin embargo, como explicación del experimento en sí no es tan acertada, ya que la razón por la que el sonido del reloj disminuye es por impedancia acústica, es decir el sonido no se transmite de manera eficiente por el aire que queda en el interior de la cámara y mucho menos por la cámara de vidrio hacia el exterior.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Es preciso prestar atención al tratamiento del fenómeno, dado que, por aspectos prácticos y de simplicidad se optó por una visión de sonido en términos conceptuales de rayo rectilíneo de partículas, a pesar de reconocerse dicho fenómeno como ondulatorio. Esto puede interpretarse como una razón para inclinarse hacia la mirada corpuscular y no por la complejidad de las ondas.

Con respecto a lo anterior, Raichel (2006); Pierce (2019) & Berg (2019) sustentan que se comienza a estructurar toda una teoría matemática en torno a la descripción de la propagación del sonido, las bases matemáticas fueron establecidas por la invención del cálculo por Isaac Newton (1642-1727) y Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716).

Por su parte, Newton en sus Principia (1687) da una interpretación mecánica del sonido como un pulso de presión que se transmite por medio de partículas contiguas, incluso postula una medida de la velocidad del sonido que motivo a varios científicos<sup>6</sup> de la época a realizar mediciones experimentales. (Raichel, 2006; Pierce, 2019 & Berg, 2019).

En palabras de Newton (1846) tenemos que:

Las últimas Propositiones respetan los movimientos de la luz y los sonidos; porque como la luz se propaga en líneas rectas, es cierto que no puede consistir solo en acción (por las Prop. XLI y XLII). En cuanto a los sonidos, como salen de los cuerpos trémulos, no pueden ser otra cosa que impulsos del aire propagados por él (por la Prop. XLIII); y esto lo confirman los temblores que los sonidos, si son fuertes y profundos, excitan en los cuerpos cercanos a ellos, como experimentamos en el sonido de los tambores; porque los temblores rápidos y breves se excitan con menos facilidad. Pero es bien sabido que cualquier sonido, al caer sobre cuerdas al unísono con los cuerpos sonoros, excita temblores en esas cuerdas. (p. 368)

Con el problema de los cuerpos vibrantes y con el desarrollo del cálculo, se expone a mediados del siglo XVIII un gran progreso en la descripción matemática de las ondas de sonido con la ecuación de onda que plantea Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783) y nutrida con los trabajos de Leonhard Euler (1707-1783), Joseph Louis Lagrange (1736-1813), entre

---

<sup>6</sup> John Flamsteed (1646-1719), Edmund Halley (1656-1742), Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), Jean Picard (1620-1682) y Ole Rømer (1644-1710), entre otros.

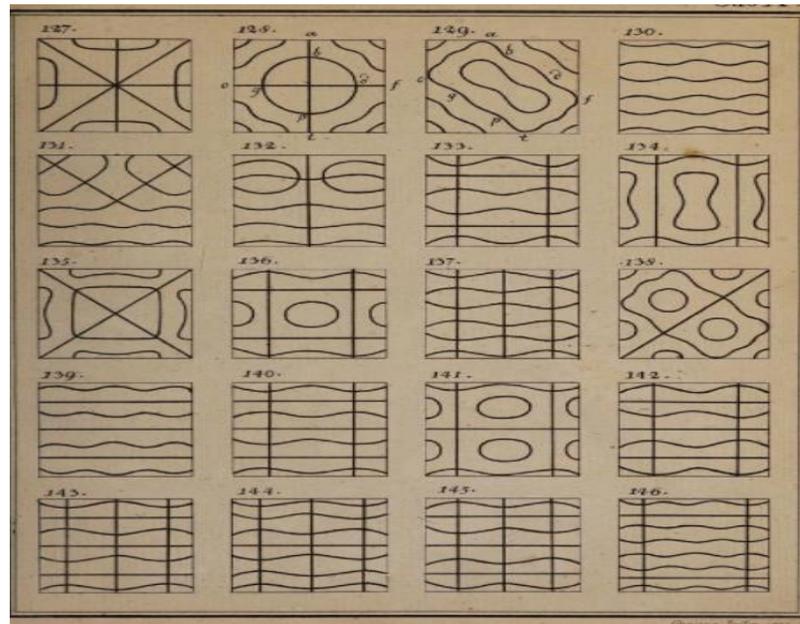
## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

otros, es así como en este contexto se dan grandes desarrollos respecto a la descripción matemática del sonido (Berg, 2019).

De acuerdo con Raichel (2006) & Berg (2019) en el periodo histórico del siglo XIX se destacan varios trabajos experimentales de acústica. Entre ellos, los realizados por Ernst Chladni (1756-1827) quien es reconocido por sus obras sobre las vibraciones torsionales y la medición del sonido en los metales usando varillas vibratorias y tubos resonantes. Este científico introduce una técnica para observar los patrones de ondas estacionarias en placas vibratorias, es decir, en una placa de metal que estaba sujeta a una base por su centro, se le rociaba arena y usando un arco de violín se producían diferentes vibraciones en la placa, que dependiendo de su forma producía a su vez diferentes figuras sobre la superficie<sup>7</sup>, tal como se puede ver en la figura 1.

### Figura 1

*Figuras de Chladni*



*Nota.* Por Ernst Chladni (1787), tomada de su obra titulada *Entdeckungen über die Theorie des Klanges*, tabla 10 de su libro.

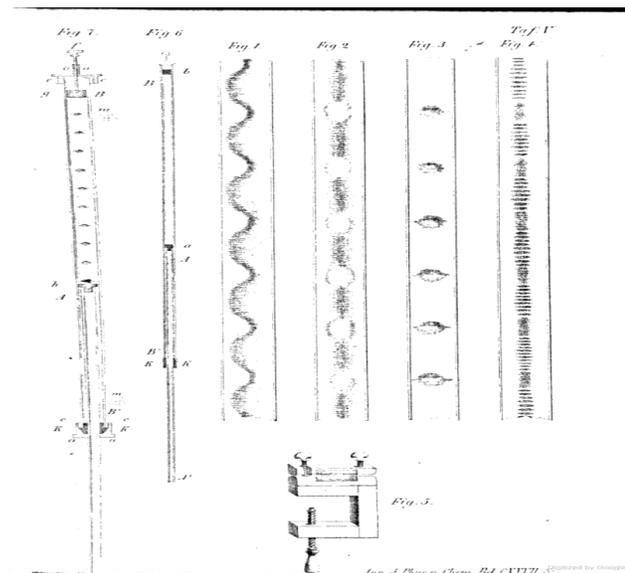
<sup>7</sup> La explicación de la teoría vibratoria fue refinada por Sophie de Germain y posteriormente por Gustav Robert Kirchhoff.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Más tarde August Kundt (1839 –1894), quien realiza estudios experimentales sobre las propiedades de las ondas sonoras, propone un tubo que lleva su mismo nombre como se puede ver en la figura 2. Este se compone de un cilindro transparente con una disposición geométrica en la cual la altura es mucho mayor que el radio; dentro de la cavidad de la superficie cilíndrica se vierte polvo y en uno de los extremos se ubica una fuente sonora y en la otra un émbolo móvil. Cuando se estimula el tubo con vibraciones sonoras se puede ver en el instrumento un patrón de ondas estacionarias; dado que es posible visualizar los nodos que se producen en las zonas donde el aire está quieto, lo cual permite conocer la distancia entre los montones de polvo y la relación con la longitud de onda del sonido en el aire. Además, dependiendo de la frecuencia del sonido emitida entonces se puede encontrar la velocidad del sonido en el aire o en el gas que está dentro del tubo (Berg, 2019).

### Figura 2

*Tubo de Kundt*



*Nota.* Por August Kundt (1866) tomado de su artículo original titulado Ueber eine neue Art Akustischer Staubfiguren und über die Anwendung derselben zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in festen Körpern und Gasen.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Con estos experimentos brevemente descritos al final, se puede ver y percibir las ondas sonoras y las formas que tienen en diferentes medios, son experiencias claves para entender el fenómeno ondulatorio del sonido.

### *Breve descripción de la óptica*

El estudio de la luz inicia desde muy temprano, dado que es uno de los fenómenos que tienen gran valor en el mundo y el desarrollo de la vida. Para iniciar, se parte nuevamente de los griegos quienes no se preocuparon en estudiar el fenómeno de la luz en sí, sino que su objetivo principal fue la explicación de la visión como facultad humana, dicho efecto físico configuró el punto de partida para los estudios de óptica. En ese sentido, una de las primeras ideas en esta rama fue la aceptada por los pitagóricos, quienes afirmaban que el ojo proyectaba una emisión que viajaba a los objetos; por otra parte, para los atomistas que hacían parte de la escuela de Demócrito (460-c. 360 AC), tenían una visión contraria a la anterior, para ellos, los objetos eran los que proyectaban una emisión al ojo (Ronchi, 1970).

Empédocles de Agrigento (500-430 AC), por su parte pensaba que la luz se trataba de una emanación de un fuego elemental externo que llega al ojo a través del espacio; otro rasgo es que para él también debería existir simultáneamente a la anterior, una emisión desde el interior del ojo hacia el exterior. Esto es, entonces la existencia de dos flujos, tanto interno como externo, en los cuales se relacionan las partículas extrínsecas materiales con la acción del ojo, considerando la existencia de un fuego invisible que fluye de ellos (Ronchi, 1970 & Zajonc, 1993).

Aunque los aportes de Aristóteles (384- 322 antes de nuestra era) no son muy claros, por las interpretaciones que se han hecho sobre su trabajo, se evidencia que dicho filósofo consideró a la luz como un fenómeno de carácter mecánico. Insinuando que esta era el alma de un cuerpo diáfano, propuso además que si existiese un vacío total la visión sería imposible (Ronchi, 1970).

A su vez, Euclides se inscribió en la noción de la luz como emisión de rayos provenientes de los ojos, construyendo un modelo basado en su pensamiento matemático

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

deductivo a partir de una serie de postulados<sup>8</sup>. En tales postulados se distinguen tres aspectos importantes: el primero, conceptualiza al rayo como la dirección de propagación de la luz; en el segundo, se expone que la luz viaja a lo largo del rayo emitido por el ojo; y en el tercero, propone la propagación de la luz en línea recta. Con base en esto, se evidencia el fundamento de la óptica geométrica (Ronchi, 1970& Zajonc, 1993).

Es preciso reconocer aquí el papel de la creación de conceptos para entender la complejidad de la naturaleza: se construyó la noción de “rayo” como concepto geométrico para poder explicar y comprender la naturaleza y propagación de la luz. De acuerdo con esta creación se podía razonar para comprender el fenómeno óptico. Así a partir de esta concepción se construye la óptica geométrica y se estudia a la luz desde sus características geométricas, comenzándose a conceptualizar la reflexión, refracción y las manifestaciones en espejos planos y esféricos. En definitiva, esta cosmovisión fue la predominante durante el periodo de la antigüedad, destacándose la visión pitagórica en consonancia con la noción euclidiana (Ronchi, 1970).

Luego en la edad media, el científico árabe Alhazen (965 – 1040) plantea que la visión no es producida por rayos emitidos por los ojos y para ello fabrica un modelo de la luz que partió de la idea de propagación de trayectorias lineales que estimulaban el ojo, atribuyendo también las propiedades de reflexión y refracción. Se consideró, entonces, que la luz parte de un objeto luminoso y se difunde en todas las direcciones por medio de cuerpos diáfanos que no podían alterar su naturaleza de ninguna manera (Ronchi, 1970).

La visión era producida entonces por la refracción de la luz en el ojo, pero desde esta perspectiva, no se podía explicar por qué la luz mantenía el orden de la imagen cuando algún obstáculo intervenía en su propagación. Esto se esclarece a partir del experimento denominado “cámara oscura”<sup>9</sup>, a partir del cual Alhazen concluye que la luz seguía líneas rectas en cuerpos diáfanos sin peligro de mezclarse con otros rayos luminosos. Es necesario

---

<sup>8</sup> Si el lector quiere profundizar en estos aspectos puede leer el libro *Naturaleza de la luz*, cuyo autor es Vasco Ronchi, encontrará en la página 17 los postulados.

<sup>9</sup> En este experimento se dispone unas velas en frente a una pared con un agujero dando la cara a una pantalla puesta al otro lado del muro, allí vio tantas imágenes como velas había. Cuando apagó una de las velas notó que la imagen correspondiente también desaparecía y cuando se volvía a encender la imagen que producía la vela volvió a aparecer en el mismo lugar.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

resaltar que años más tarde se retoma este experimento para dar una explicación del mecanismo de la visión mucho más satisfactoria (Ronchi, 1970 & Zajonc, 1993).

Aproximadamente en el siglo XIII, los vidrieros fabricaban lentes para anteojos con el fin de corregir algunos de los problemas que causaban mala visión, no obstante, no se explicaba su funcionamiento. Luego los holandeses combinaron varios tipos de lentes para amplificar las imágenes, lo que desencadenó la invención del telescopio y su posterior uso por Galileo para la exploración astronómica. Dada la importancia, Kepler<sup>10</sup> (1571-1630) estudió la refracción de la luz en lentes, aunque no logró encontrar una “ley general”, si propuso que para ángulos pequeños, el ángulo de incidencia y de refracción podrían considerarse proporcionales (Ronchi, 1970 & Vohnsen, 2004).

Se hace preciso resaltar aquí el carácter de las analogías para la construcción de los conceptos físicos. Según Ronchi (1970) & Park (1997), la luz y el color hasta el siglo XVII eran dos fenómenos completamente diferentes. En un intento por reconciliar ambos conceptos, Descartes (1596 -1650) realiza su primera analogía para explicar la luz. Para ello estableció una relación entre un hombre ciego que con un bastón detecta y siente los objetos que lo rodean y el fenómeno óptico. La analogía considera que la luz como cuerpo luminoso es un movimiento muy rápido que se desplaza hacia los ojos atravesando el aire y otros cuerpos transparentes, de igual manera que el contacto con los cuerpos que encuentra el invidente pasa a su mano a través del bastón. Así ver colores era algo parecido a distinguir el tipo de movimiento que realizan los cuerpos cuando se palpan con un palo. Es adecuado resaltar que en esta postura se considera la función del aire y de los cuerpos transparentes con la del bastón, lo que significa que estos elementos eran los transmisores de la acción que estimula el sentido de la vista.

Una segunda analogía que se establece es una cuba llena de uvas y zumo fluyendo a través de ellas para salir por dos orificios en el fondo; esto daba a entender que un fluido mana mejor si no existen los obstáculos. Con base en esta idea, Descartes diseñó un segundo modelo para explicar la idea de la transparencia y la propagación de la luz a través de la

---

<sup>10</sup> En realidad, el trabajo de Kepler sobre la naturaleza de la luz es muy amplio, no obstante, para los fines de este trabajo se decidió no incorporar dichas reflexiones en profundidad.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

materia. Por último, este mismo científico formula un tercer modelo para estudiar la luz: considera a un proyectil en movimiento y trayectorias comparables a un rayo luminoso y los relaciona con los chorros de arena formados por incontables partículas. De acuerdo con esta idea explicó la reflexión y otros fenómenos de la luz en interacción con superficies: es preciso resaltar que la luz dejó de ser una acción y ahora se conceptualiza como un proyectil (Ronchi, 1970 & Park, 1997).

En los trabajos de Descartes se expone la experimentación con proyectiles y al describir la mecánica de estos sin tener en cuenta la gravedad, extendió estas explicaciones al fenómeno óptico. Estudiando de esta manera la ley de reflexión y refracción, aunque esta última ya había sido descrita por Snell (1591-1626) tiempo antes; vale la pena resaltar que concluye que la velocidad de la luz era mayor en el medio más denso (Ronchi, 1970).

Cabe mencionar que, para Fermat (1601—1665) la naturaleza tiene una tendencia de actuar por el camino más corto<sup>11</sup>, lo cual implica que, a partir de este principio demostró que de él se podía derivar directamente la ley de la refracción<sup>12</sup>, pero si un rayo debía ir de un punto ubicado en el aire a un punto ubicado en el agua, para poderse cumplir dicho principio la velocidad de la luz en el aire debía ser mayor que en el agua. Lo cual contradice directamente a Descartes por lo expuesto anteriormente (Park, 1997).

Se evidencia hasta aquí que, en la óptica para la explicación de la luz, desde sus inicios se gestó un modelo corpuscular. Partiendo de la idea de rayo rectilíneo como una acción hasta describir a la luz como un conjunto de proyectiles o partículas que se transmiten a velocidad infinita. Con este modelo se explicaron fenómenos como la reflexión y refracción, aunque esta última con algunas contradicciones sobre la velocidad de la luz en un segundo medio (exceptuando el principio de Fermat).

En el trabajo de Grimaldi (1618-1663), se expone algunos experimentos que ponen de manifiesto que los puntos de vista tradicionales (podría decirse que el modelo corpuscular) sobre la naturaleza de la luz en la época eran inadecuados, por ejemplo, al realizar experimentos que consistieron en hacer pasar la luz por un pequeño hueco u obstáculo,

---

<sup>11</sup> Esto se conoce como principio de Fermat.

<sup>12</sup> Esta es la ley de Snell.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

encontró unas franjas en una pantalla ubicada frente a dicho orificio, dándose cuenta de que la propagación de la luz se daba de manera muy peculiar. Lo dicho hasta aquí supone que se trataba de un fenómeno misterioso, pues la sombra ya no estaba separada de la región iluminada y la complejidad de la naturaleza de la luz invadía la sombra geométrica con bandas oscuras que se intercalaban en las regiones iluminadas, a dicho fenómeno lo nombró difracción (Ronchi, 1970 & Park, 1997).

Para intentar explicar este fenómeno, Grimaldi comparó la luz con las ondas que se forman alrededor del punto donde la piedra golpea la superficie del agua, de esta manera concibe la luz como un fluido, sugiriéndose por primera vez la idea de que el fenómeno luminoso se propagaba a través de cuerpos transparentes como una onda, considerándose entonces que se transmitía por acciones esféricas secundarias<sup>13</sup>. No obstante, Grimaldi objetó su propia idea por estar en contra de la evidencia de la propagación lineal de la luz, aquí se evidencia el pensamiento arraigado de la época y cómo influyó en el trabajo de dicho científico (Ronchi, 1970 & Vohsen, 2004).

Continuando con el desarrollo histórico de la óptica, para Newton (1642-1726) la luz estaba compuesta por corpúsculos muy pequeños de diferentes masas y muy rápidos los cuales denominó rayos de luz. Para este autor dichos rayos seguían una propagación rectilínea en medios homogéneos y transparentes, sin ser afectados por la materia ni por los rayos cercanos (Ronchi, 1970).

En palabras de Newton (1952):

Por rayos de luz, entiendo sus partes mínimas, y también las sucesivas en las mismas líneas, como sincronizadas en varias líneas. Pues es evidente que la luz consta de partes, sucesivas y simultaneas; porque en el mismo lugar puedes detener lo que viene en un momento y dejar pasar lo que viene inmediatamente después, y al mismo tiempo puedes detenerlo en cualquier lugar y dejarlo pasar en cualquier otro. A esa parte de la luz que se detiene sola sin el resto de la Luz, o se propaga sola, o hace o

---

<sup>13</sup> Lo que luego se atribuye a Huygens.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

sufre cualquier cosa sola, que el resto de la luz no hace o no sufre, la llamo rayo de luz. (p. 1)

Es evidente que para Newton el concepto de rayo es muy diferente al que trabajaron sus precursores; se encuentra en el fragmento anterior que Newton no se refería a la trayectoria de la luz, sino a la mínima luz que podía aislarse. Aunque se encuentra una ambivalencia entre lo que componía la luz, por un lado, tenía en mente a la luz como un enjambre de partículas con masa diferente según su color y por otro lado también concebía a la luz como un conjunto de rayos, no como los definidos por los matemáticos sino como partes sucesivas y diferentes que componen la luz (Ronchi, 1970). Noción física de rayo como secuencia o chorro de partículas.

Con base en las anteriores ideas e inscrito en un modelo corpuscular, a medida que construyó diferentes procesos experimentales, Newton vio la posibilidad de explicar la reflexión, refracción y la dispersión considerando la variedad de masa de las partículas. En particular, si se acepta una atracción entre el cuerpo en donde incide la luz y los corpúsculos, estos se desvían siguiendo una nueva línea rectilínea que depende de la ley de refracción planteada por Descartes y Snell, esto requería que la velocidad resultante del corpúsculo fuera mayor en el medio más denso. Acorde con esta perspectiva, la luz se inscribió en un modelo corpuscular que sigue la teoría gravitatoria. Es preciso mencionar que para Newton los rayos con diferentes tamaños causaban diferentes colores, los más grandes producían el color rojo y así sucesivamente en el espectro visible hasta llegar a la violeta formada por los rayos más pequeños (Ronchi, 1970 & Park, 1997).

Newton intentó explicar la difracción, para ello realizó varios experimentos, encontrando por ejemplo que si proyectaba la luz sobre un cabello humano su sombra era mucho más ancha que la predicha por la óptica geométrica; si la luz incidía a través de una rendija el haz de luz se volvía más ancho; a esto le suma el hecho de la formación de franjas oscuras en donde se supone que debería haber iluminación. Otro estudio importante, fue el de los anillos de colores observados entre una superficie esférica y una plana de material transparente. En consecuencia, los rayos pierden la propiedad de viajar absolutamente en

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

línea recta y el mismo Newton supone un carácter ondulatorio (Ronchi, 1970 & Vohsen, 2004).

Aquí se evidencia una breve descripción del modelo de la luz atribuido a Isaac Newton, es de gran valor porque su obra está cargada de experimentos de óptica que incluso muestran que el modelo corpuscular no es suficiente para representar la totalidad de los efectos luminosos creados. Es contradictorio porque en la obra de Newton se logra apreciar que tuvo grandes dificultades en la utilización de la perspectiva corpuscular e incluso se vio impulsado hacia la mirada ondulatoria, aunque se negó a aceptarla rotundamente porque no lograba conciliarla con la propagación rectilínea, aun cuando en los fenómenos de difracción demostrara que era necesario negar un comportamiento absolutamente rectilíneo de los corpúsculos (Ronchi, 1970 & Park, 1997).

Huygens (1629—1695) inicia su trabajo dando a entender la insuficiencia de los modelos de la luz existentes en el momento para describir la naturaleza óptica. Este científico no concebía las nociones de los modelos de Descartes, Newton e incluso Grimaldi, en los cuales la luz corpuscular puede penetrar la materia sin sufrir un desorden y difusión. En su razonamiento expresó la idea que la luz era el movimiento de la materia existente entre el cuerpo visto y el ojo, consideró el movimiento propagado en direcciones cruzadas y la condición de una superposición de ambos sin que se perturbaran entre sí; no obstante, esto es imposible si se considera partículas materiales, dado que estas se chocan (Ronchi, 1970).

Su forma de explicarlo es interesante porque Huygens hace una comparación directa con el fenómeno del sonido, en palabras del mismo autor (1690):

Sabemos que, por medio del aire, que es un cuerpo invisible e impalpable, el sonido se difunde alrededor del lugar donde se ha producido, mediante un movimiento que se transmite sucesivamente de una parte del aire a otra; y que la propagación de este movimiento, que tiene lugar con la misma rapidez en todos los lados, debe formar superficies esféricas cada vez mayores y que golpean nuestros oídos. Ahora bien, no cabe duda de que la luz también llega del cuerpo luminoso a nuestros ojos por algún movimiento impreso en la materia que está entre los dos; ya que, como ya hemos visto, no puede ser por el transporte de un cuerpo que pasa de uno a otro. Si, además,

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

la luz tarda en pasar —que ahora vamos a examinar— se deducirá que este movimiento, grabado en la materia intermedia, es sucesivo; y en consecuencia se esparce, como el sonido, por superficies esféricas y ondas: porque las llamo ondas por su semejanza con las que se ven formarse en el agua cuando se arroja una piedra en ella, y que presentan una sucesiva difusión en forma de círculos, aunque estos surgen por otra causa, y están solo en una superficie plana. (p.11)

Luego de establecer una relación de la luz con el sonido, se embarcó en construir un modelo que explicara los fenómenos ópticos. Ya se ha expresado que para Descartes la velocidad de la luz era infinita, empero, Rømer (1644-1710) determinó la velocidad en 1675. Para Huygens esto era una prueba que favorecía el paralelo entre la luz y el sonido, pero esta comparación se veía debilitada porque en el fenómeno acústico no se evidenciaba sombras y además primó una mirada rectilínea de la luz, siendo más difícil establecer dicha relación cuando con los experimentos de bombas de vacío se mostró que el sonido requería del aire para propagarse mientras que la luz no (Ronchi, 1970 & Park, 1997).

Es así como Huygens comienza a preocuparse por un medio para la propagación de la luz, ya que, el sonido se propaga en el aire por la reacción a la compresión y este estaba compuesto por partículas materiales pequeñas y móviles, además que experimentalmente se había determinado que mientras más densa es la sustancia mayor es la velocidad de propagación de las ondas. Entonces, para la explicación de la propagación de ondas luminosas admitió la existencia de un medio etéreo tenue, duro y uniformemente elástico; el cual penetraba todo espacio y materia (Ronchi, 1970).

Al preguntarse por la propagación de las ondas luminosas en el éter, consideró la idea de acciones esféricas secundarias en movimiento hacia todas las direcciones (tal como se había considerado antes por Grimaldi e incluso Newton), de esta manera describe el movimiento ondulatorio como un envolvimiento de ondas pequeñas secundarias (las cuales se conocen como ondículas). Su razonamiento se basó en la llama de una vela (ver figura 3) que emite muchas ondas desde cada uno de los puntos seleccionados, cuando estas ondulaciones entran en contacto con el éter se propagan independientemente unas de otras al

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

igual que el sonido que no es afectado por las partículas materiales del aire (Ronchi, 1970 & Park, 1997).

**Figura 3**

*Propagación de luz en ondas esféricas*



*Nota.* Por Christian Huygens (1690) para ilustrar las ondas esféricas que emite una vela si se considera algunos puntos (página 19).

Con base en lo anterior, si se considera una fuente puntual, se tiene que cada ondícula secundaria que se forma se convierte en un nuevo frente de onda esférico cuyo centro es la fuente misma<sup>14</sup>. Con base en este mecanismo Huygens ve la clave para la explicación de la reflexión, refracción, doble refracción, así como la propagación rectilínea de la luz en medios homogéneos e incluso otros fenómenos que en el momento no se consideraron. (Ronchi, 1970 & Park, 1997).

Si se acepta que la velocidad de la luz es diferente en dos medios distintos, el razonamiento expuesto anteriormente también podría utilizarse para explicar la refracción, pero, como se ha mencionado anteriormente el éter es una sustancia elástica y dura y por ello la velocidad de la luz es tan inmensa que no lograba explicarse cómo la materia alteraba la velocidad si solo dependía de la elasticidad o dureza del medio. Huygens intenta plantear algunas respuestas, pero en realidad se consolidó un problema en torno al éter (Ronchi, 1970).

<sup>14</sup> Esto es lo que conocemos actualmente como principio de Huygens.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Hubo una discusión en los años siguientes entre la perspectiva ondulatoria y corpuscular de la luz, predominando esta última a pesar de la insuficiencia para explicar la difracción y otros fenómenos relacionados con la interferencia. Por la extensión de los estudios que se realizaron en este campo se resaltan principalmente el trabajo de Young y de Fresnel, en torno al desarrollo de la perspectiva ondulatoria de la luz.

Luego de un siglo y medio de crítica al modelo corpuscular Newtoniano, Young (1773-1829) estaba convencido de la deficiencia de este para explicar algunos efectos, por ejemplo, el fenómeno de los anillos de Newton<sup>15</sup>, en cuya explicación dada por este último científico, no podían existir franjas negras (ver figura 4) porque la luz reflejada por la primera superficie siempre debía estar presente, en otras palabras, no se lograba entender realmente el papel de las superficies en la formación de este efecto. En contraste con lo anterior, Young pensó que la luz que es reflejada por ambas superficies se sumaba, de esta manera, las franjas negras producidas donde había luz reflejada por la primera superficie, lo llevaron a pensar que había lugares donde la superposición de las luces reflejadas en ambas superficies se cancelaba entre sí, mientras en otras zonas la luminosidad se fortalece, con esto se inscribe en la idea de que la luz añadida a la luz puede oscurecer una pantalla en lugar de iluminarla más (Ronchi, 1970).

---

<sup>15</sup> Es fenómeno en el que se crea un patrón de interferencia producido por la reflexión de la luz entre dos superficies; una superficie esférica y una superficie plana de contacto adyacente.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

**Figura 4***Anillos de Newton*

FIG. 2.

*Nota.* Por Isaac Newton (1704) tomado de la obra *Opticks or a treatise of the reflections, refractions, inflections, colours of light* del año 1952, libro 2, parte 1, página 199.

Para Young también existía una estrecha similitud entre la naturaleza del sonido y la luz y a pesar de las características que por muchos años se habían considerado, aún no había argumentos convincentes para probar dicha relación. Con base en esta idea, se puede decir que Young diseñó nuevos experimentos, por ejemplo, produjo franjas brillantes en la sombra oscura de un hilo, esta experiencia le mostró que para la formación de franjas era necesario que la luz saliera de ambos lados del hilo; y para que esto pasara, la propagación de la luz no podía ser rectilínea, pues estos experimentos de difracción mostraban que la luz podía cruzar los obstáculos. Con estas consideraciones Young favoreció el modelo ondulatorio (Ronchi, 1970 & Park, 1997).

Para desarrollar estas ideas Young retomó la propuesta de Huygens y luego efectuó el experimento en el cual una fuente puntual de luz incidía a través de dos agujeros extremadamente pequeños uno al lado del otro, observando que estos se convirtieron en dos fuentes de luz, es decir, dos haces divergentes, los cuales se superponían y de esta manera formaron franjas de interferencia de acuerdo con la “ley de interferencia” que él mismo había formulado. Con base en esta actividad experimental, realizó múltiples mediciones

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

construyendo la medida de la periodicidad de la luz para varios colores<sup>16</sup>(Ronchi, 1970 & Park, 1997).

En definitiva, es un trabajo importante en la consolidación del modelo ondulatorio; no obstante, Young intentó explicar el fenómeno de difracción solo a partir de la interferencia y, por tanto, no logró convencer a la comunidad científica.

Otro episodio importante en la consolidación del modelo ondulatorio es el trabajo de Fresnel (1788-1827) quien inicia su actividad experimental con instrumentos rudimentarios y variando ciertos parámetros; en su actividad experimental exploratoria se da cuenta por ejemplo que las franjas de los patrones de difracción eran más claras sin usar vidrio esmerilado (lo cual lo habían realizado sus antecesores). Con base en esto omitió este componente y solo usó una lupa para recibir los rayos de sol en su ojo, usando además un micrómetro, que le permitió hacer mediciones precisas y darse cuenta cómo se originaban las franjas en los bordes de los obstáculos de difracción (Ronchi, 1970).

Fresnel más enfocado en una perspectiva ondulatoria por su actividad experimental, sigue el trabajo de Huygens y la propagación de las ondículas secundarias. Como se mencionó anteriormente, este último autor en mención había utilizado la envolvente de ondículas secundarias, mientras que Fresnel ya sabía que las ondas podían producir interferencias entre sí y por ello era necesario tener presente la diferencia de fase. Así, combina el principio de las ondículas con el de interferencia<sup>17</sup> y de esta manera explicaba todos los fenómenos de difracción (Ronchi, 1970 & Park, 1997).

Basta como muestra, los experimentos de los espejos de Fresnel para encontrar las franjas de interferencia; no obstante, es una actividad experimental muy delicada y difícil de llevar a cabo porque cuando no se dispone de una luz monocromática es difícil determinar la posición de un espejo con respecto al otro, para este científico, era un argumento a favor de la teoría ondulatoria, pues esta lograba explicar este fenómeno con gran sencillez (Ronchi, 1970).

---

<sup>16</sup> Determinando la longitud de onda para el color rojo y para el color violeta.

<sup>17</sup> Esto es lo que actualmente se considera como principio de Huygens Fresnel.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Al explicarse la difracción, había otros fenómenos como la polarización<sup>18</sup> y la doble refracción que aún no habían sido descritos por la teoría ondulatoria, Fresnel en ese momento disponía de medios experimentales más refinados y por tanto abordó estos fenómenos obteniendo resultados importantes. Vale la pena señalar que con el descubrimiento de la polarización la analogía entre las ondas de luz y las ondas de sonido se quiebra, pues el sonido no se puede polarizar (Park, 1997 & Ronchi, 1970).

Fresnel ya tenía conocimiento de que para crear la interferencia las ondas deben ser homogéneas y coherentes, con longitudes de onda iguales y una diferencia de fase constante. En otras palabras, una superposición de ondas emitidas por una misma fuente, cuando experimentó con sustancias de doble refracción encontró que la superposición entre los haces ordinarios y extraordinarios no producían interferencia entre sí, por tanto, dos haces polarizados de forma diferente no podían influir entre sí (Ronchi, 1970).

Aquí vale la pena traer a colación que, de acuerdo con esta situación anterior y la noción del éter de la época, este fluido según la mecánica de la época tenía características para el movimiento de vibraciones de tipo longitudinal, más aún, hasta este momento Fresnel había considerado sus explicaciones para ondas longitudinales. Pero como la interferencia no se producía entre los rayos ordinarios y extraordinarios en las superficies de doble refracción, tuvo que concluir que no se trataba de una longitudinal sino transversal, solo de esta manera podía explicar las cualidades de los fenómenos de difracción (Ronchi, 1970 & Park, 1997).

Esta perspectiva causó un enrarecimiento mucho mayor al éter, pues es difícil concebir un fluido elástico con propiedades de un cuerpo rígido. Así, con esta consideración en complementariedad con la actividad experimental, todos estos misterios (difracción, doble refracción, polarización, interferencia, entre otros) que no habían sido posible explicarlos desde un modelo corpuscular fueron descritos de manera natural y completa por la perspectiva ondulatoria (Ronchi, 1970).

Es así como, en la primera mitad del siglo XIX, el fenómeno de la luz se describía como una vibración transversal que se propagaba por el éter, con longitudes de ondas entre 0,8 micrómetros y 0,4 micrómetros a una velocidad de 300000 km por segundo en el vacío,

---

<sup>18</sup> Construida en los trabajos de Malus a finales de la primera década del S. XIX.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

así mismo con una frecuencia aproximadamente de  $5 \times 10^{15}$   $\left(\frac{\text{Ciclos}}{\text{segundo}}\right)$  . Si la vibración era paralela a un plano que, a su vez era paralelo a la dirección de propagación con cierta simetría a este, entonces la onda y por tanto la luz estaba polarizada, cuando no existía tal simetría se trataba de luz natural (como la proveniente del sol). Por otra parte, en la segunda mitad del siglo XIX con los estudios de electromagnetismo de Maxwell (1831-1879), se postuló que las ondas de luz eran electromagnéticas (Ronchi, 1970 & Park, 1997).

Luego con el trabajo experimental de Hertz (1857-1894) se da el inicio de la óptica de ondas electromagnéticas, pues se llamaron de esta manera porque la creación del efecto ondulatorio mediante un circuito eléctrico oscilante mostraba las características de reflexión, refracción, difracción, interferencia y polarización. Además, obedecía los principios formulados para describir el comportamiento de la luz, de esta manera la luz dejó de ser considerada como una onda que requería un medio elástico y comenzó a ser considerada como una onda electromagnética que no requerían de un medio material para propagarse según las ecuaciones de Maxwell (Ronchi, 1970).

El experimento de Hertz consistió en un bucle de cable eléctrico con un espacio (en el cual se generaba chispas), este científico logró apreciar en un segundo bucle a una cierta distancia que cuando saltaba una chispa a través del espacio del primer bucle, se podía ver una chispa moverse en el segundo bucle si estaba oscuro. Cuando dispuso una pantalla entre ambos bucles evidencio que la chispa era más débil, probó con diversos materiales para determinar su influencia y se dio cuenta que presentaba características similares a las ondas, encontró varios materiales que detenían esta propagación y otros que la dejaban pasar sin influir mucho en ella (Park, 1997).

La historia de la luz continúa, sin embargo, exceden los objetivos de este trabajo en el cual se quiere mostrar componentes históricos-epistemológicos sobre el desarrollo de los fenómenos ondulatorios en el caso de la acústica y la óptica, resaltando el papel de la construcción experimental en el desarrollo de este modelo, a su vez es el punto de partida para seleccionar algunos episodios experimentales para construirlos en la clase de física, respondiendo de esta manera a uno de los objetivos de la experimentación.

**Experimentación Cualitativa Exploratoria.***Consideraciones teóricas sobre la experimentación cualitativa exploratoria.*

Para Ferreirós & Ordóñez (2002), es necesario distinguir entre experimentos cualitativos y cuantitativos, pues el papel de las mediciones precisas por sí solas no han desempeñado un rol importante en la construcción del conocimiento científico; es por ello, que los experimentos cualitativos han jugado un papel fundamental en la formación de conceptos (como se profundizará a continuación). Por lo anterior, dichos autores plantean una clasificación cuatripartita de los tipos de experimentos, en donde existe experimentación cualitativa tanto exploratoria como guiada y así misma experimentación cuantitativa guiada y exploratoria.

De acuerdo con lo anterior, en la filosofía de la ciencia ha primado el enfoque experimental en el cual a partir de una teoría se pronostica cierto efecto, no obstante, la experimentación exploratoria tiene el propósito de formular regularidades a través de la variación de los parámetros del experimento, intentando así identificar cuáles afectan o son esenciales en la creación del efecto físico. Se hace preciso resaltar también, que en el proceso anterior se obtienen resultados experimentales que no son adecuados a la luz de conceptos y categorías existentes, y por lo tanto se hace necesario la formación de otros marcos explicativos en los cuales haya una formulación general y estable de estos (Steinle, 2003).

Desde esta mirada de experimentación, los instrumentos están diseñados para permitir variaciones con el fin de estar abiertos a la posibilidad de una mayor variedad de resultados, es decir, la capacidad de captar algunos efectos que pueden ser inesperados. Es así, como la experimentación exploratoria a pesar de haber sido renegada en la filosofía e historia de la ciencia, tuvo (tiene) un papel preponderante en la investigación científica, dado que epistemológicamente cuando los conceptos de un campo determinado no ofrecen orientación para la actividad experimental; es necesario que se construyan a partir de la exploración (Steinle, 2003).

Complementando esta idea, el mismo Steinle (1997) dice que este tipo de experimentación es crucial en los periodos en los cuales el desarrollo científico ha sido incipiente, ya que cuando los marcos conceptuales no están bien formulados o son

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

fuertemente cuestionados por parecer no adecuados, en ese sentido se requiere un tipo de experimentación que clasifique regularidades.

De este modo es imprescindible dotar de importancia epistémica a la experimentación exploratoria, entendiendo que las relaciones que teje entre los instrumentos, la teoría y la misma manera de hacer experimentación son diferentes a los que son generados por la experimentación impulsada por la teoría, pues desde esta visión, los instrumentos tienen diseños específicos con base en una teoría que se supone bien formulada y que enmarca a los resultados experimentales como previstos, dado que, posee un arreglo instrumental rígido y deja poco espacio a resultados no esperados (Steinle, 1997).

Es aquí en donde se resalta la actividad experimental exploratoria “impulsada por el deseo elemental de obtener regularidades empíricas y de encontrar conceptos y clasificaciones apropiados por medio de los cuales esas regularidades puedan ser definidas” (Steinle, 1997, p. 70). Es preciso enunciar también que al decirse que es una actividad flexible no quiere decir que carece de un carácter sistemático y estructurado; es requisito que los montajes experimentales tengan la cualidad de cambiar los parámetros para determinar las condiciones indispensables en la generación de los efectos físicos, y así, definir los factores fundamentales para la formulación de principios o representaciones estables y claras (Steinle 1997).

Según Steinle (1997), esa búsqueda de marcos clasificatorios y conceptuales es una tarea compleja que debe probar su idoneidad, en otras palabras, a falta de criterios preestablecidos es necesario que los esquemas de los resultados experimentales sean apropiados, de lo contrario, es preciso modificarlos o sustituirlos por otros. Esto hace que el trabajo de tipo exploratorio sea sometido a muchas revisiones y ensayos que lo hace un trabajo intenso y continuo en la búsqueda de la estabilidad conceptual.

Por todo lo anterior, es preciso dotar de importancia epistemológica a la experimentación exploratoria, dado que implica el desarrollo de nuevos modos de pensar en los diferentes campos de la ciencia y también tiene que ver con la toma de decisiones sobre la base de los conceptos, es decir, en la selección de regularidades es necesario definir cuáles dejar y cuáles no, proceso que es clave en el desarrollo científico. Además, es de resaltar que

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

estas consideraciones no se generalizan en un cuantificador universal; no toda actividad de experimentación exploratoria es fundamental tanto a nivel epistemológico, como para la formación de todos los marcos conceptuales (Steinle, 1997).

***Experimentación cualitativa exploratoria en el fenómeno ondulatorio.***

Aquí se sugiere la idea que el desarrollo del campo de los fenómenos ondulatorios estuvo (está) permeada por la experimentación exploratoria, para iniciar, consideremos los trabajos de Grimaldi que se encuentran en su libro intitulado *Physico-mathesis de Lumine, Coloribus et Iride* escrita en 1665, desde el inicio de su libro hace un desarrollo de experimentos de óptica (ver figura 5) en los cuales interpreta los resultados de la naturaleza de la luz bajo su visión. Por ejemplo, Grimaldi en los experimentos con pequeñas fuentes de luz, varió los parámetros experimentales; en primer lugar, interpuso un obstáculo en el camino de la luz para observar la sombra sobre una pantalla blanca, mientras que en un segundo tipo de experimento colocó una pantalla de tipo opaco con un hueco pequeño para que solo pasara un haz de luz muy estrecho y mirarlo sobre la misma pantalla.

En el primer caso, observó que la luz invadía la sombra, es decir, era mayor de lo que se esperaba de la proyección geométrica del obstáculo sobre el plano de la pantalla, a esto se le suma que alrededor del borde de la sombra encontró tres bandas luminosas coloreadas (Series), con la característica que la intensidad y ancho de estas bandas disminuyeron a medida que aumentaba la distancia de la sombra. Al variar las circunstancias del experimento y con requisitos determinados, logró un efecto aún más extraño, aparecían en la región de la sombra otras series similares a las anteriores y simétricas al borde de la sombra. Las primeras series eran de un tipo más constante, mientras que las segundas cambiaban fácilmente sus características (Ronchi, 1970).

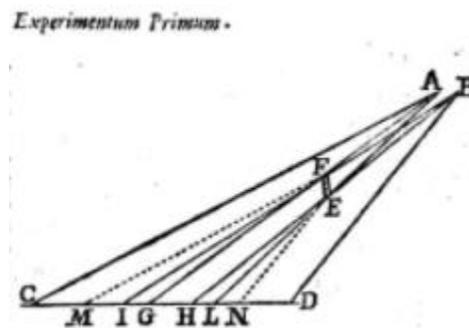
En el segundo caso, dicho autor encontró que a pesar de que incidió un pequeño haz de luz, la imagen que este formaba en la pantalla era mucho mayor de lo que se esperaba de la proyección geométrica, ante este resultado Grimaldi realizó varias pruebas, cambió la distancia de la pantalla blanca al obstáculo, la forma, el color, el material, sustancia, la posición del obstáculo. De esta manera se percató que al alterar la distancia de la pantalla donde se observaban las series “no están ni en una línea recta que pasa por la fuente y tangente

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

al obstáculo, ni en una línea recta que une el agujero con el punto de la pantalla en el que se observan las series” (p. 129). Además, dichas series no tenían cambios a pesar de que se le interpusiera un cuerpo más o menos opaco, más o menos denso, rugoso o liso, duro o blanco, entre otros (Ronchi, 1970).

**Figura 5**

*Experimento primero de Grimaldi*



*Nota.* Por Grimaldi (1665) es el primer experimento que realiza en su obra respecto a la difracción.

Así mismo, según Ronchi (1970) al variar el material o sustancia del obstáculo y al permanecer las series de luz inalteradas, le dio a entender a Grimaldi que no se debía a la refracción de la luz. Dicho científico formuló un nuevo concepto en el cual enunció que la propagación de la luz se daba de una manera extraña y a este fenómeno lo llamó difracción.

A partir de los planteamientos de Ronchi (1970) & Steinle (1997, 2003), se puede notar en el trabajo de Grimaldi un enfoque de experimentación exploratoria, dado que en su actividad hubo variación de los parámetros del instrumento, luego de hacer diferentes agujeros, construyó el más pequeño posible para que el haz que incidía en una habitación oscura, fuera lo más estrecho posible. Esto permitió que el efecto fuese más visible cuando la luz tiene dimensiones pequeñas, lo que da a entender que el tamaño de la fuente de luz es un detalle realmente importante en los experimentos de óptica y fue logrado a través de este tipo de experimentación.

Para reunir lo anterior en palabras de Grimaldi (1665):

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Nos ha brillado otro cuarto método, que ahora proponemos, llamado Difracción porque percibimos que la luz a veces se romperá, y esto es que las partes de ella, separadas por una dificultad múltiple, siguen adelante por el mismo medio en diferentes direcciones de la misma manera que luego explicaremos. (p. 2)

De acuerdo con las líneas anteriores, titula la proposición I de su libro como “La luz se propaga no solo de manera directa, por refracción o por reflexión, existe incluso un cuarto modo, por difracción” (Grimaldi, 1665, p. 1). A su vez en la Proposición II de su obra dice que la luz podría considerarse como un fluido muy rápido y ondulante a través de cuerpos transparentes, una apreciación que se resalta aquí porque se refiere al fenómeno óptico como una ondulación (tal como se expresó anteriormente).

Es muy interesante notar que la experimentación cualitativa exploratoria es fundamental en los periodos en donde los campos de estudio científico se están desarrollando, basta con mencionar a Grimaldi (1665) citado en Ronchi (1970) quien enuncia “seamos honestos, realmente no sabemos nada sobre la naturaleza de la luz y es deshonesto usar palabras grandilocuentes que no tienen sentido” (p.125). Con esto se refiere al estado en el cual se encontraba la ciencia de la luz en el momento de sus investigaciones.

Ahora se trae a consideración el trabajo de placas vibratorias de Chladni, quien fue abogado y doctor en filosofía, pero con interés en la ciencia. Según el propio Chladni (2015):

Noté que la teoría del sonido fue la parte más descuidada de la física, la que hizo nacer en mí el deseo de remediar este defecto y de ser útil a esta parte de la física al hacer un número de descubrimientos. Al realizar numerosos experimentos muy imperfectos en 1785, había observado que una placa de vidrio o de metal desprendía diferentes tonos cuando fue sujetado y golpeado en diferentes lugares, pero no encontré ninguna instrucción en cuanto a la naturaleza de este tipo de vibraciones. (p. 28)

Tal como lo menciona este autor, el campo de la acústica en ese momento histórico aún se encontraba muy incipiente en torno a la clasificación de conceptos estables sobre la naturaleza del sonido, a partir de algunas experiencias con instrumentos musicales, concibe la idea de aplicar un arco de violín para estudiar las vibraciones de los cuerpos, cuando lo

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

aplicó a una placa de bronce redonda, estática en su centro, la placa emitió diferentes sonidos que al compararlos entre sí denotaron cierta proporcionalidad, pero, aún era desconocido en su investigación producir esos movimientos a voluntad. Luego al variar las condiciones del experimento y rociar arena sobre la placa estática en su centro, logró ver que mostró ciertas apariencias (Chladni, 2015).

Según Chladni (2015), luego de la experiencia anterior, logró crear una primera figura (parecida a una estrella), identificando que dependía del tipo de sonido, tras dicha creación que nadie había visto antes. Este autor comenta que “después de haber reflexionado sobre la naturaleza de estos movimientos, no me resultó difícil variar y multiplicar estos experimentos, de los cuales los resultados siguieron con bastante rapidez” (p. 29). Así creó lo que se conoce como figuras de Chladni.

Luego para producir estas figuras, Chladni (2015) escribe que es necesario mantener uno o más puntos inmóviles en la placa, para estimularla con un arco de violín al rociar arena sobre la superficie. En el trabajo exploratorio el científico experimentó con diferentes tipos de superficies e identificó que usar vidrio o metal ayuda a la formación de figuras regulares, lo que no pasa si se usa madera. Para la formación de patrones es preferible las placas delgadas a las gruesas y el tamaño es arbitrario, si las figuras son simples la placa puede tener un diámetro de 3 a 6 pulgadas, empero, para producir figuras complejas se necesita placas grandes con un espesor muy uniforme.

Esta tarea experimental denota bastante trabajo exploratorio, pues es necesario tener en cuenta el punto donde se sostiene la placa, por ejemplo, hay figuras que son muy difíciles de producir porque requieren de sostener la placa en un punto adecuado. Cabe señalar que cuando una figura ha sido realizada y se desea volver a reproducir, se puede marcar los puntos donde se sujeta la placa y donde se aplica el arco. Este último también influye en el proceso experimental, dado que se debe sujetar con suficiente firmeza en dirección vertical y moverlo de manera que siempre roce el mismo punto de la placa (evitando que mueva esta hacia los lados), así mismo, dependiendo de la figura que se quiere formar se aplica presión y velocidad en el arco de violín en la estimulación de la superficie (Chladni, 2015).

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

El material que se esparce sobre la placa puede ser arena o alguno similar (por ejemplo, limaduras de hierro) pues tienen el mismo efecto. Aunque si la arena no es muy fina funciona mucho mejor porque no se adhiere tanto a la superficie, además, si la sustancia es una combinación entre partículas finas y gruesas, se puede lograr ver mejor los centros de vibración (Chladni, 2015).

Se logra apreciar en este trabajo una variación de los parámetros del instrumento, luego de este proceso experimental exploratorio, dicho científico identificó ciertas regularidades y las clasificó en su tratado de acústica para el estudio de placas vibratorias y la conceptualización del sonido. En síntesis, es una técnica importante para la visualización del sonido.

Por último, se trae a colación el trabajo de Young, quien no estaba de acuerdo con la explicación de algunos fenómenos ópticos proporcionada por la teoría Newtoniana de la luz. En su artículo titulado *Experimentos y Cálculos Relativos a la Óptica Física* de 1804, expone una serie de experimentos correspondientes a la naturaleza ondulatoria de la luz. Sus experimentos pueden ser interpretados como una variación de algunos experimentos de Grimaldi, pues, en palabras de Young (1804):

Hice un pequeño agujero en el postigo de una ventana y lo cubrí con un trozo de papel grueso, que perforé con una aguja fina. Para mayor comodidad de observación, coloqué un pequeño espejo fuera de la contraventana, en una posición tal que reflejara la luz del sol, en una dirección casi horizontal, sobre la pared opuesta, y que hiciera pasar el cono de luz divergente sobre una mesa, sobre la que había varios biombos de cartulina. Acerqué al rayo de sol un trozo de cartulina, de aproximadamente un tercio de pulgada de ancho, y observé su sombra, ya sea en la pared o en otras cartulinas sostenidas a diferentes distancias. Además de las franjas de colores a cada lado de la sombra, esta misma estaba dividida por franjas paralelas similares, de dimensiones más pequeñas, que diferían en número, según la distancia a la que se encontraban que se observaba la sombra, pero saliendo de la mitad de la sombra siempre blanca. (p. 2)

Se puede notar como Young retoma las ideas experimentales de Grimaldi y realiza ciertos cambios al instrumento empleado, encontrando algunos resultados experimentales

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

que intentó clasificar en su ley de la interferencia. Se logra evidenciar en su experimento, que identificó unas franjas producidas porque la luz pasa a cada lado del trozo de la tarjeta, esto se demuestra porque cuando interpuso una pantalla en uno de los bordes de la tarjeta, las franjas desaparecieron. En palabras de Young (1804): “Porque, si se coloca una pantalla dentro de unas pocas pulgadas del objeto, a fin de recibir solo uno de los bordes de la sombra, la totalidad de las franjas desaparecen” (p.3).

En la descripción de su experimento, se logra evidenciar que puso una pantalla opaca a diferentes distancias respecto a la tarjeta de cartulina para estudiar la intensidad de la luz en la formación de las franjas, es así como Young cambió de varias maneras la circunstancia del experimento para poder determinar qué influía en la formación de dichas franjas (Young, 1804).

Luego “procedemos a examinar las dimensiones de las franjas, bajo diferentes circunstancias, podemos calcular las diferencias de las longitudes de los caminos descritos por las porciones de luz, que así se ha probado que están interesados en producir esos flecos” (p. 3), de esta manera con base en sus experimentos realiza medidas de las longitudes de las franjas de acuerdo con los colores (Young, 1904).

A partir de estas consideraciones de algunos episodios experimentales, se logra evidenciar el rol de la experimentación cualitativa exploratoria para el desarrollo de la investigación de los fenómenos ondulatorios, pues desde el trabajo de Grimaldi, Chladni y Young se identifica que se desarrolla conjuntamente experimentos y conceptos. En una actividad que describen Ribe & Steinle (2002) como un proceso para establecer una jerarquía, es decir, mientras se va complicando progresivamente el arreglo experimental y agregando nuevas condiciones, se identifican ciertos efectos particulares y se establecen conexiones entre ellos para formar cadenas conceptuales a fin de explicar un fenómeno. Es así, como el camino exploratorio es un estilo experimental que ha jugado un papel importante en la historia de la física.

### **El papel de la experimentación cualitativa exploratoria en la clase de física.**

La incorporación de las reflexiones sobre la experimentación cualitativa exploratoria en la enseñanza de la ciencia apunta directamente a la fortaleza de la práctica científica, pues

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

la actividad experimental constituye un proceso de organización de fenómenos en los cuales los estudiantes asumen un papel activo en la construcción del conocimiento científico, de esta manera hacen más comprensible el mundo que los rodea (García, 2011).

De acuerdo con lo anterior, en el diseño de unidades didácticas para la enseñanza de la física es indispensable tener en cuenta que la historia de este campo de la ciencia está cargada de episodios experimentales y da aportes significativos. En esta perspectiva entonces saber de física está relacionado con el conocimiento teórico y experimental, así el rol de los experimentos cualitativos (y otros, pero aquí se quiere privilegiar este tipo de experimentación) son cruciales para la comprensión fenoménica de la física, puesto que involucra la creación de instrumentos relevantes en la construcción conceptual, así mismo, facilita recontextualizar la clase de física con aspectos del mundo social. Cabe añadir, que en la enseñanza es preciso incorporar reflexiones sobre la experimentación cualitativa exploratoria (por ejemplo) de acuerdo con las consideraciones planteadas por la filosofía de las prácticas experimentales (García, 2011).

Por su parte Restrepo et al. (2013) sugieren también que la experimentación cualitativa exploratoria es indispensable en la construcción del conocimiento y además, incentiva una habilidad de pensamiento crítico como la argumentación, dado que favorece los procesos discursivos para la comprensión de los fenómenos, de esta manera, este estilo de experimentación se opone a prácticas verificacionistas, es decir, a procedimientos enfocados a cálculos y comprobaciones de datos numéricos, posibilitando así, la actividad creativa en el aula de clase. Permite también, la realización de discusiones y una autonomía procedimental, lo cual configura la actividad experimental como un escenario de explicaciones plurales en torno a los fenómenos físicos.

Complementando la idea anterior, Romero & Aguilar (2012) señalan que este tipo de experimentación resalta el carácter sociocultural de la construcción de conocimiento en el aula, por tanto, es importante desde el punto de vista epistemológico para la enseñanza de la física, pues el proceso de variar los parámetros del experimento e identificar regularidades para hacer clasificaciones conceptuales, requiere de construir un lenguaje comunicable a partir de acuerdos y consensos que establecen los participantes que construyen el fenómeno.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

En este mismo orden de consideraciones, Rodríguez (2018) resalta que la experimentación cualitativa exploratoria permite construir el conocimiento científico y una mejor comprensión de los fenómenos, dicha autora sostiene que como los estudiantes pueden manipular los instrumentos y hacer uso de nuevas formas de expresar sus experiencias, se ven inmersos en la tarea del científico, es decir, buscar formas de producir conocimiento. A su vez añade que esta actividad requiere poner en juego operaciones mentales básicas tales como la observación, comparación, clasificación, entre otras, las cuales son necesarias para procesos de pensamiento más complejos (como el pensamiento crítico).

Por lo anterior, la experimentación cualitativa exploratoria es importante en la enseñanza de las ciencias, porque con su implementación en las aulas, los estudiantes construyen fenomenologías sobre los conceptos del campo de la física, siendo necesario los colectivos de pensamiento porque favorecen los procesos de argumentación y además apunta a que los estudiantes obtengan una imagen de ciencia como algo que sí tiene que ver con su vida (Rodríguez, 2018).

### **Desarrollo del Pensamiento Crítico en la Clase de Física.**

#### *¿Qué es el pensamiento crítico?*

El concepto de pensamiento crítico es un asunto polisémico, por lo tanto, existen múltiples investigaciones que lo definen de modos distintos, para iniciar es preciso contemplar algunas definiciones dadas al respecto. Por ejemplo, Saiz & Rivas (2008) manifiestan que el pensamiento crítico tiene que ver con la búsqueda de conocimiento por medio del uso de habilidades de pensamiento como: el razonamiento, toma de decisiones y resolución de problemas, esto dirigido a la obtención de metas y objetivos.

El pensamiento crítico también es definido por Fulton (1989) como “un proceso paralelo por el cual los individuos analizan información en una situación contextualmente específica y crean nuevas ideas, conceptos o construcciones basadas en su análisis” (p.6). El mismo autor enuncia que en el pensamiento crítico se pone en juego de acuerdo con el contexto particular de una situación, dado que, depende de habilidades para identificar las suposiciones que organizan la información que se presenta, así, como para evaluar los parámetros contextuales de las situaciones; con el propósito de reconocer los límites e

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

implicaciones culturales. Cabe añadir también, con base en las características de las colocaciones, se pone a prueba la habilidad creativa en dirección de generar y probar alternativas, lo cual implica una perspectiva donde se evita las verdades universales y las respuestas incuestionables.

Otra perspectiva interesante de este mismo tópico es planteada por Ennis (1985), quien sostiene que pensar críticamente es una actividad práctica, porque tiene que ver con procesos de decidir qué creer o hacer a través de la reflexión y la razón. Añadiendo a lo anterior, en sus palabras dice que “tenga en cuenta que hay actividades creativas cubiertas por esta definición, incluida la formulación de hipótesis, preguntas, alternativas y planes para experimentos” (p. 45). En esta conceptualización de pensamiento crítico indirectamente se teje una correspondencia entre la actividad creativa y la experimentación, a pesar de que el autor no se refiere como tal a la experimentación de la case de ciencias, su definición implica el quehacer práctico que se puede extrapolarse a la actividad experimental propuesta en esta investigación.

Por su parte Díaz Barriga (1998) deja claro que usualmente se asocia el pensamiento crítico a la cualidad de expresar puntos de vistas y opiniones, no obstante, esto no es suficiente, es necesario determinar los sustentos, profundidad y calidad de lo expresado. De esta manera, Díaz Barriga (2001) tiene en cuenta en su investigación un modelo de pensamiento crítico justificado en la comprensión y evaluación de los argumentos propios como de los demás, a su vez expone que en dicho pensamiento juega un papel crucial los procesos comunicativos los cuales no solo tienen un valor cognitivo, sino un componente afectivo, ético y político que también es importante.

De esta manera, dentro de esa variedad de definiciones sobre lo que significa pensar críticamente, se encuentra en Paul & Elder (2005) una propuesta para evaluar habilidades de pensamiento crítico en los estudiantes, para estos autores, “El pensamiento crítico es el proceso de analizar y evaluar el pensamiento con miras a mejorarlo” (p.7). Es un proceso en el cual se reestructura el pensamiento a partir de los resultados producidos en los procesos de análisis y evaluación.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Así, el proceso anteriormente descrito, involucra el pensamiento creativo que en conjunción con el pensamiento crítico guían el proceso de aprendizaje para que los estudiantes entiendan los conceptos e indiquen su significado más allá de la memoria, proporcionando herramientas tanto para internalizar y comprender el contenido como para usarlo en la solución de problemas y cuestiones reales (Paul & Elder, 2005).

De acuerdo con las anteriores consideraciones teóricas, se puede abstraer que el pensamiento crítico involucra tanto los procesos de argumentación como la flexibilidad de pensamiento, pues los procesos de mejora del pensamiento requieren la búsqueda de explicaciones argumentadas y la capacidad de cambiar de perspectiva cuando se encuentra una mejor o satisfactoria. Por lo anterior, la propuesta de investigación se centró en estas dos habilidades de pensamiento.

### *Argumentación y flexibilidad de pensamiento.*

Para Leitao (2012), el pensamiento crítico se desarrolla desde prácticas argumentativas que desencadenan procesos cognitivo-discursivos esenciales para la construcción del conocimiento. Para ello, se requiere de un conjunto de procedimientos metodológicos en situaciones concretas de enseñanza aprendizaje, basta como muestra el uso del debate pedagógico en donde se ven reflejadas habilidades como: la escucha, reflexión y articulación rápida de respuestas, que claramente son beneficios para pensar críticamente.

Cuando un sujeto tiene una divergencia de opinión con otras personas y busca razones que respalden sus puntos de vista y además examina sistemáticamente los fundamentos contrarios, se puede decir que se encuentra realizando un proceso de argumentación. En ese sentido, esta última es una actividad eminentemente discursiva, social y cognitiva, que también implica simultáneamente las dimensiones dialógica y dialéctica; las cuales son entendidas respectivamente como la capacidad de responder y de anticiparse a los planteamientos de los demás, y, el diálogo entre argumentos divergentes elaborados en la discusión consigo mismo o con otros (Leitao, 2012 & Paul, 1991).

La argumentación además de ser un proceso de examinación crítica de argumentos divergentes, posee una dimensión epistemológica, pues permite la construcción de conocimiento. Es por esto, que este tópico debe ser abordado desde dos miradas: la primera,

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

desde la revisión de puntos de vista (creencias, conceptos, entre otros) y la segunda, como un proceso en el cual los individuos reflexionan sobre los fundamentos y límites de sus saberes, es decir un acto de autorregulación del pensamiento (Leitao, 2012).

Con base en lo anterior, cuando un individuo es partícipe de una actividad dialógica, se enfrenta a perspectivas divergentes, las cuales debe responder en un proceso que implica que el sujeto esté evaluando sus declaraciones y tomando decisiones para defender su postura, o, por el contrario, modificarla e inscribirse en la otra. El asunto clave no es si el argumentador cambia su argumento inicial, sino el proceso de revisar la consistencia de sus afirmaciones, esto abre el punto de vista del sujeto y es lo que permite los cambios conceptuales. En otras palabras, la argumentación también es un proceso metacognitivo en el cual el individuo inmerso en la tarea discursivo-cognitiva reflexiona sobre los fundamentos y límites de sus afirmaciones (Leitao, 2012).

Por lo anterior, la argumentación se desarrolla en dos niveles simultáneamente, a nivel cognitivo que implica la reflexión sobre los fenómenos que acaecen a su alrededor y metacognitivo cuando reflexiona sobre sus propias declaraciones de dichos fenómenos. Por lo tanto, la argumentación involucra un paso de lo cognitivo a lo metacognitivo. De acuerdo con esto, es necesario diseñar actividades en la escuela para insertar y aplicar prácticas argumentativas, pues esto contribuye al desarrollo del pensamiento crítico cuando los sujetos se apropian y transforman el conocimiento que circula (Leitao, 2012).

En ese sentido, se ha presentado el uso del debate para contribuir a la mejora de los procesos de enseñanza aprendizaje porque promueve la argumentación en el aula y además es una acción que favorece el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes. No obstante, existen varias perspectivas de debate, el más común es aquel que involucra la competición entre dos grupos que formulan y defienden sus puntos de vista y aquel grupo que logre que su postura prevalezca ante la otra es quien gana el debate (Leitao, 2012).

Por otro lado, existe el debate crítico en donde lo importante no es perder o ganar la discusión, sino resolver un conflicto de opiniones por medio de la exposición de puntos de vista divergentes, presentación de argumentos críticos y razonables a favor de cada uno de los tópicos discutidos, la evaluación crítica y persuasión en torno a los argumentos

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

presentados. Para llevar a cabo esta actividad, se hace necesario identificar una diferencia de opinión para luego definir los roles de los grupos de discusión quienes asumen el compromiso de resolver dicha situación a través de argumentos; después, se realiza la discusión crítica en la cual los grupos deben resolver dudas, interrogantes y desafíos que involucre su grupo antagonista y por último, se realiza el cierre, en el cual se evalúa si la situación problemática ha sido resuelta o no, prestando atención a los cambios en los puntos de vista de los participantes (Leitao,2012).

Según la propuesta de Leitao (2012), las fases que involucra un debate crítico son 5. En la fase apertura del debate, se presenta el estado del arte del tema de debate; luego sucede el debate restringido, en el cual cada grupo expone sus puntos de vista; le sigue el debate abierto, en el que se argumenta y contraargumenta con base en las declaraciones presentadas en la fase previa. En las fases siguientes, cada grupo se reúne con los profesores evaluadores y luego se sintetizan la información relevante, se recoge los argumentos mejor formulados de ambas partes y se redacta la propuesta de resolución del conflicto que incitó la discusión.

Hasta aquí se ha desarrollado el eje conceptual de la argumentación como una habilidad de pensamiento crítico, tratando de resaltar aspectos importantes para la enseñanza de la ciencia y que fundamentan la propuesta investigativa. A continuación, se considera la flexibilidad de pensamiento que si bien, está ligado implícitamente a los procesos argumentativos y al pensamiento crítico, se hace preciso una reflexión, como sigue.

Para abordar la flexibilidad de pensamiento se trae a colación asuntos del enfoque socio cultural de la ciencia, en el cual se rescatan aspectos filosóficos y epistemológicos que pueden relacionarse con el pensamiento crítico, pues tiene que ver con el cambio de las estructuras de pensamiento, la crítica y la construcción colectiva de significados.

Para Toulmin (2003) la validez es una noción establecida al interior de los campos de estudio, es decir, los argumentos de cualquier campo pueden ser enjuiciados de acuerdo con criterios apropiados dentro de ese campo, en ese sentido, el rigor o imposibilidad de los argumentos se deben realizar dentro de los límites de un área en específico. De igual modo, dicho autor añade que “debemos estudiar los modos de argumentar que han quedado establecidos en cualquier esfera, aceptándolos como hechos históricos; sabiendo que pueden

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

ser superados, pero solo como resultado de un avance revolucionario en nuestros métodos de pensamiento” (p. 324).

Esto último se relaciona con el concepto de razonabilidad que según Toulmin (2003 citado en Romero, 2013) puede “considerarse como la disposición a examinar y modificar puntos de vista y perspectivas explicativas a través de la búsqueda, construcción y explicitación de buenas razones, es decir, argumentos que atienden a evidencias, garantías y justificaciones” (p.84).

De acuerdo con lo anterior, el conocimiento científico es una construcción social que se transmite de una generación a otra a través de un proceso de enculturación (Toulmin 1977, citado en Romero, 2013). Esta transmisión conlleva a la modificación y por lo tanto no es su fin máximo legar verdades absolutas, universales y ahistóricas; en ese sentido, el concepto de razonabilidad en esta postura es la posibilidad para comprender de forma crítica otros puntos de vista, encontrar alternativas a problemas, tener disposición al cambio y ser intelectualmente flexible. Todas estas características configuran un carácter plural y cambiante de la ciencia, dado que es una actividad que se transforma cuando surgen marcos que poseen mejores poderes explicativos (Romero, 2013).

Lo anterior se articula a la idea de Fleck (1986) quien enuncia que el paso de los conceptos de una comunidad de pensamiento a otra es un proceso en el cual hay una metamorfosis que permite una transformación de estilos de pensamiento, es decir, un "cambio en la disposición para percibir lo orientado"<sup>19</sup>(p.156), esto permite la creación de nuevos hechos y básicamente es una circulación de pensamiento inter colectiva. Hay que tener en cuenta que la construcción del conocimiento científico es también un proceso de comunicación, en el cual se transforma y se remodela el pensamiento de acuerdo con el estilo, en pocas palabras, se genera un cambio en el pensamiento.

### ***Estándares del pensamiento crítico.***

Para poder decir que un estudiante está desarrollando pensamiento crítico, se hace necesario algún tipo de indicador que muestre acciones o competencias concretas que

---

<sup>19</sup> Así define Fleck estilo de pensamiento.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

realizan los estudiantes (ver tabla 1). Por ello, se siguió la propuesta de Paul & Elder (2005) quienes presentan un conjunto de estándares y competencias de habilidades críticas<sup>20</sup>. A continuación, se presenta una selección de criterios con base en dichos autores.

**Tabla 1***Estándares de habilidades de pensamiento crítico*

Estándar	Descripción.
Inferencias e interpretaciones.	El pensador crítico es aquel que reconoce el rol de las inferencias en la interpretación, es decir, en el proceso en el cual da significado y saca conclusiones sobre las situaciones que se le presentan.
Conceptos, teorías, principios, definiciones, leyes y axiomas	“El pensamiento solo puede ser tan claro, relevante, realista y profundo como los conceptos que le dan forma” (Paul & Elder, 2005, p. 26). Aquí entonces, los estudiantes entienden el papel tan importante de los conceptos en el pensamiento, porque a través de estos se definen las experiencias.
Puntos de vista y marcos de referencia	Los pensadores críticos reconocen los diferentes puntos de vista que giran alrededor de un contenido y buscan una comprensión clara de estos. También pueden cambiar de pensamiento cuando se enfrentan a un razonamiento mejor que con el que comienzan; porque tienen una perspectiva amplia, flexible y de mente abierta.
Evaluación del pensamiento	Los estudiantes reconocen que todos los pensamientos tienen sus puntos fuertes y débiles, esto conlleva a que el sujeto esté en continua autoevaluación para mirar las fortalezas y falencias de sus argumentos, con el propósito de fortalecer su pensamiento a medida que razona a través de problemas o preguntas.
Humildad intelectual	“Para desarrollar la humildad intelectual, uno debe aprender a distinguir activamente lo que sabe de lo que no sabe” (Paul & Elder, 2005, p. 32). Esto implica ser consciente del límite del conocimiento propio, sesgos, prejuicios e ignorancia; con el fin de desarrollar cierta sensibilidad para reconocer que no se está en posesión de la verdad absoluta.
Empatía intelectual.	Los estudiantes desarrollan la capacidad de situarse comprensivamente en la idea del otro, la cual puede ser antagónica. No obstante, tiene la capacidad de articular esos puntos de vista de una manera inteligente,

<sup>20</sup> El texto se puede encontrar completo en “Critical Thinking Competency Standards”

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Estándar	Descripción.
	desarrollando una actitud para pensar dentro de las perspectivas de los demás, incluso cuando no está de acuerdo.
Autonomía intelectual	El pensador crítico reconoce la responsabilidad que implica la autoría de su propio pensamiento, así mismo, este no es dependiente de otros para tomar decisiones y una posición crítica frente a situaciones de su vida, sino que construye criterios propios para la construcción de su entendimiento.
Habilidades en el arte de estudiar y aprender	El estudiante que piensa críticamente se caracteriza porque en su aprendizaje se autodirige y autocontrola, es decir, “No son receptores pasivos de información, sino participantes activos en el proceso de aprendizaje” (Paul & Elder, 2005, p. 42).
Habilidades en el arte de hacer preguntas esenciales	El pensador crítico sitúa las preguntas en el centro de su proceso de aprendizaje. Dirigiendo preguntas para analizar, evaluar, entender con claridad y profundidad las características propias de las problemáticas que enfrenta.

*Nota.* Esta tabla es una selección de algunos estándares para la evaluación de pensamiento crítico en estudiantes, cuyas ideas fueron tomadas de la propuesta de Paul & Elder (2005).

Hasta aquí se presentó el eje conceptual de pensamiento crítico, dado que el problema de la investigación se centró en este aspecto, se hizo fundamental resaltar algunas definiciones entre las muchísimas que existen, a su vez, como es un tópico tan amplio se focalizó en la flexibilidad de pensamiento y la argumentación. Por último, se recogieron algunos estándares con el fin de evaluar en los participantes del proceso investigativo dichas habilidades presentadas, todo esto con el fin de tejer una relación con la enseñanza de la ciencia.

### **Marco Metodológico.**

#### **Enfoque y Método de Investigación.**

Este trabajo está enmarcado en el enfoque de investigación cualitativa, el cual, en palabras de Hernández et al. (2014) “se enfoca en comprender los fenómenos, explorándolos desde la perspectiva de los participantes en un ambiente natural y en relación con su contexto” (p. 358). Se consideró pertinente en esta propuesta, porque da relevancia a la forma en la cual los participantes experimentan y perciben los fenómenos que están a su alrededor, reconociéndose el papel tan importante de las interpretaciones, puntos de vista y significados como ejes centrales en el proceso investigativo.

Complementando lo anterior, la investigación cualitativa desde un punto de vista holístico, permite profundizar en los datos, servirse de una riqueza interpretativa, contextualizar los entornos donde se desarrolla y prestar atención a los detalles de las experiencias investigadas. Vale la pena señalar además que, este enfoque se caracteriza por un modo flexible y cíclico entre los hechos que acaecen en la aplicación de la propuesta metodológica y la interpretación de los investigadores respecto al estudio (Hernández et al., 2014).

De acuerdo con lo anterior, uno de los objetivos de la investigación se configuró alrededor de los significados de las experiencias de los estudiantes en torno al fenómeno ondulatorio, esto para consolidar una perspectiva interpretativa de los participantes en torno al problema de investigación abordado, así, como para valorar como argumentan y asumen una postura crítica contrastada con sus contextos socioculturales. En este sentido y considerando que se quiso investigar un fenómeno social del campo educativo es pertinente un enfoque de índole cualitativo.

En consonancia con lo anterior, la investigación se llevó a cabo a través del método de estudio de caso, más específicamente, el denominado estudio de caso instrumental (Stake, 2007), en donde, a partir de un caso se buscó analizar los discursos y reflexiones propias de los participantes a la luz de sus interpretaciones acerca del fenómeno ondulatorio, a su vez, se consideró adecuado para conocer cómo la experimentación favorece la comprensión de este fenómeno y del desarrollo de habilidades críticas. Esto es coherente con lo que dice

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Stake (2007), cuando se refiere a que los estudios instrumentales se aplican cuando la finalidad investigativa es comprender algo más que un caso en particular, además, es necesario tener en cuenta que “el investigador cualitativo de casos intenta preservar las realidades múltiples, las visiones diferentes e incluso contradictorias de lo que sucede” (p.23).

Al principio y durante la investigación se implementó un estudio documental, con el propósito de constituir la fundamentación teórica, para esto fue necesario llevar a cabo una consulta detallada de algunos documentos existentes alrededor de la epistemología de ondas, el pensamiento crítico y la experimentación cualitativa exploratoria, dado que desde esta revisión se tienen diferentes puntos de vista, los cuales permitieron un análisis más profundo de la información. En consonancia con lo anterior, Hoyos (2000) propone que el estudio documental “tiene como fin dar cuenta de la investigación que se ha realizado sobre un *tema central*. Este tema se desglosa en *núcleos temáticos* (subtemas) que son investigaciones afines y delimitan el campo de conocimiento” (p. 26).

Las técnicas de recolección de información que se realizaron en este trabajo fueron: talleres experimentales, entrevistas, grupos de discusión, guías escritas y diarios de campo. Los talleres experimentales son importantes porque en estas actividades se construye el escenario que permite que los estudiantes dialoguen en torno a situaciones planteadas, al experimentar requieren ser creativos, usar sus sentidos y realizar interpretaciones en torno a la actividad; para sacar conclusiones propias y en común con otros (Giraldo, et al., 2017).

Así mismo, la entrevista es entendida por Merlinsky (2006) como una “agenda de temas específicos relacionados con el objetivo de la investigación” (p. 30), esta técnica no conserva una estructura estricta, por ello, posibilita la producción de un relato continuo para visualizar las diferentes perspectivas de los participantes entorno a temáticas específicas (en este caso el fenómeno ondulatorio). Habría que decir también que se resalta la importancia de las preguntas y las contra preguntas para profundizar en el diálogo de ideas y puntos de vista presentados por los estudiantes.

Los grupos de discusión se dan en la medida en que el investigador estimula la interacción entre los participantes, permitiendo el debate y las diferencias de opinión,

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

mediante actividades que implican desarrollar marcos explicativos (Barbour, 2013). Finalmente, el diario pedagógico apuntó a rescatar experiencias que sucedieron en el aula de clase para analizarlas, reconocerlas, problematizarlas y resignificarlas. En ese sentido, la información se pudo clasificar y categorizar, con el fin de trascender de situaciones anecdóticas a reflexiones que aportan a la investigación en el aula (Monsalve & Pérez, 2012).

### **Caso y Contexto.**

La implementación del proyecto de investigación se llevó a cabo en la Institución Educativa Comercial de Envigado; un plantel oficial y mixto que ofrece los niveles de preescolar, básica primaria, secundaria y media. Dicha institución, está localizada en el Municipio de Envigado, exactamente en el Barrio La Mina (Parte Alta), la población estudiantil en su mayoría es de dicho municipio (IECE, 2019).

Ahora bien, la implementación se realizó con los estudiantes pertenecientes al semillero de física de la Institución, el cual se inició en el tercer periodo del año 2021 como propuesta del profesor cooperador y diferentes estudiantes de la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia. Dicho espacio se creó con el propósito de problematizar conceptos de la física con los estudiantes de grados superiores (décimos y undécimos).

El semillero estaba conformado por 9 estudiantes del grado décimo, estos fueron seleccionados por su participación en el aula y su disposición en clase, a su vez, se privilegió una metodología de trabajo por grupos, para posibilitar el debate de ideas y la construcción de conocimiento en conjunto. Hay que mencionar además que se resalta la colaboración del profesor cooperador, porque nos proporcionó el espacio, el tiempo y nos facilitó el acceso a algunos instrumentos del laboratorio de física de la Institución para el desarrollo de las actividades propuestas.

Es necesario mencionar que antes de iniciar la implementación de la propuesta investigativa se comunicó a los participantes la dinámica metodológica que esta conllevaba, allí, se incluyó información sobre el tipo de actividades que se llevarían a cabo en los encuentros y los compromisos que serían adquiridos en torno al proyecto. Hay que resaltar que dicha participación, estuvo mediada por un protocolo ético y un consentimiento

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

informado (ver anexo 2), firmado tanto por los estudiantes como sus acudientes. En dichos documentos, los investigadores se comprometieron a respetar la identidad de los participantes y tratar con confidencialidad la información recolectada, además, se socializó los beneficios, condiciones y el procedimiento de análisis y sistematización de las producciones tanto orales y escritas de los participantes, así, como la autorización para registrar evidencia en diferentes formatos (audios, fotografías, videos) para su respectiva publicación.

### **Implementación de la Propuesta Didáctica.**

La implementación de la propuesta investigativa se desarrolló a partir del diseño de una secuencia didáctica según los planteamientos de Jorba y San Martí (1994), se trata de un dispositivo pedagógico y didáctico en donde se diseñan actividades siguiendo una estructura de cuatro fases de acuerdo con los diferentes niveles de enseñanza-aprendizaje de los contenidos.

Los instrumentos, fueron el producto de un análisis histórico-epistemológico sobre el fenómeno ondulatorio en los casos de acústica y óptica, a través de dicho análisis se identificaron algunos episodios experimentales, históricos y epistemológicos, tales como la analogía entre el sonido y la luz con las ondas de agua, la placa de Chladni, el experimento de la doble rendija de Young y la construcción de Hertz sobre las ondas electromagnéticas. A su vez, se privilegiaron fragmentos de primera fuente de Galileo, Newton y Huygens, dado que se consideraron adecuados para debatir en el aula sobre la conceptualización de las ondas en contraste con la mirada corpuscular.

Siguiendo la estructura de la secuencia didáctica mencionada, se diseñó un total de cinco instrumentos (I), cada uno compuesto por diferentes actividades tales como plenarias (P), talleres experimentales (T), debates, guías de preguntas (G), entre otros (ver anexo 1). Es de aclarar, cada instrumento corresponde a una actividad propuesta por Jorba y San Martí (1994), para la implementación de cada uno de estos, el plan inicial fue considerar una sesión por cada actividad de la secuencia didáctica, no obstante, por las diferentes dinámicas escolares e institucionales, algunos encuentros no se pudieron desarrollar de manera consecutiva, lo cual requirió un poco más de tiempo para su desarrollo y por tanto la propuesta se dio durante 7 sesiones, cada una de 120 minutos.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Para el desarrollo de estas actividades se conformaron grupos de discusión para privilegiar la construcción social de conocimiento científico. No obstante, a medida que se desarrolló el proyecto, había estudiantes que no podían asistir a los encuentros porque debían realizar otras tareas institucionales, esto desencadenó que en cada una de las sesiones se organizaron grupos de trabajo diferentes, por esta razón, durante el desarrollo de implementación se comienza enfatizando la voz de los grupos de trabajo, pero luego solo se resalta la voz de cada estudiante como voceros de sus discusiones grupales.

También es preciso mencionar que, de acuerdo con los objetivos de enseñanza propuestos en el diseño de la secuencia didáctica (Ver anexo 1) se dividió la misma en cuatro fases, donde en cada una focalizó al análisis de cómo la experimentación cualitativa exploratoria podría potenciar el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y la comprensión del fenómeno físico ondulatorio. A continuación, se describe la estructura.

La fase I corresponde al primer instrumento (I1), es una actividad diagnosis, dirigida a reconocer los saberes previos y el nivel argumentativo que disponen los estudiantes al comienzo de la implementación de la secuencia (Jorba & San Martí, 1994). Este instrumento fue diseñado para desarrollarse en 2 momentos: el primero, se centraba en ver la relación que hacían los estudiantes entre las ondas y la cotidianidad. Para esta actividad, se les presentó una serie de preguntas (G1) y situaciones en torno al sonido y la luz, las cuales debían socializar en el aula, por medio de una plenaria (P1). El segundo momento, fue una actividad que representó un reto para los estudiantes, usando libros se preguntó cómo podía derribarse uno de estos ubicado a una distancia de un metro desde una perspectiva ondulatoria y a partir de una mirada corpuscular (de manera separada).

La fase II corresponde al segundo y tercer instrumento (I2 e I3). I2 es la actividad de exploración o de explicitación inicial, en la cual se sitúa a los estudiantes en el problema y objeto de estudio mediante el análisis de situaciones concretas, además, en este tipo de actividades se reconoce la diversidad de puntos de vista (Jorba & San Martí, 1994). Dicho instrumento se focalizó en las características y propiedades de los fenómenos ondulatorios, para ello se desarrolló en 3 momentos, en el primero se discutieron las características de una onda y sus características y en segundo, se planteó un taller experimental (T1) mediado por

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

una Guía de pregunta (G2) y la cubeta de ondas (ver figura 6), allí, los participantes construyeron algunas características propias del fenómeno ondulatorio, discutieron con sus compañeros e identificaron fenómenos tales como la reflexión, difracción e interferencia (claves para entender la perspectiva ondulatoria). En el tercero, se realizó una plenaria (P2) para socializar las respuestas de los estudiantes.

**Figura 6**

*Estudiantes experimentando con la cubeta de ondas*



*Nota.* La fotografía es propia, corresponde a la actividad experimental desarrollada por los estudiantes de la Institución Educativa Comercial de Envigado con la cubeta de ondas.

El tercer instrumento (I3) corresponde a las actividades de introducción de conceptos y procedimientos necesarios para modelizar la anterior situación, estas actividades favorecen las explicaciones e interpretaciones para que los estudiantes identifiquen que hay otros puntos de vista, otras formas de mirar e interpretar los fenómenos, para tejer relaciones entre los conocimientos anteriores y nuevos, agregando que se debe favorecer el reconocimiento de semejanzas y diferencias entre sus propios puntos de vista y el de los compañeros (Jorba & San Martí, 1994).

De esta manera I3 se tituló “*Ondas mecánicas en el caso de la acústica*”, dicho instrumento se dividió en dos actividades cuyo objetivo fue la reflexión sobre la importancia

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

del medio en la manifestación de dicho tipo de ondas. La primera actividad, fue un taller experimental (T2) en el cual se construyó la placa de Chladni con materiales de fácil acceso, el montaje experimental consistió en ubicar la lámina metálica sobre una base conectada a un parlante, de manera tal, que al rociarse arena y transmitirse vibración a dicha superficie mediante sonido (con una frecuencia definida) se formaran patrones. Cabe añadir que el taller permitió la exploración por parte de los estudiantes alrededor del fenómeno ondulatorio creado a través de la placa, los participantes cambiaron las frecuencias e identificaron los diferentes patrones formados, esto los incentivo a diseñar diversas configuraciones del instrumento y explorar alrededor de ellas.

La segunda actividad de I3, consistió en analizar un fragmento de Galileo en el cual se realiza una analogía entre el sonido y un sistema de péndulos, con base en dicho texto, y tejiendo una relación con la experiencia de la placa de Chladni, se generó una conversación con y entre los estudiantes alrededor de una guía de preguntas (G3). La socialización de ambas actividades se llevó a cabo en la plenaria (P3), en la cual, se recogió las diversas conclusiones a las cuales llegaron los participantes alrededor del experimento y las características de los fenómenos ondulatorios que construyeron.

Para la fase III se diseñó el instrumento 4 (I4), corresponde a la actividad de estructuración de los conocimientos introducidos, según Jorba & San Martí (1994), estas se relacionan con instrumentos, con preguntas o problemas que permiten esquematizar y estructurar las diferentes respuestas o formas de resolución. En esta etapa, los estudiantes explicitan sus ideas y al mismo tiempo las contrastan con las de otros compañeros o compañeras, porque hay diferentes formas de sintetizar un mismo aprendizaje (Jorba y San Martí, 1994).

El instrumento mencionado tuvo como objetivo establecer experimentalmente el comportamiento ondulatorio de la luz en contraposición con una perspectiva corpuscular, para ello I4 se compone de dos momentos, el primero, consistió en una guía de preguntas (G4) y un taller experimental (T3) en el cual se llevó a cabo el experimento de la doble rendija realizado por Thomas Young, para la construcción de este experimento se dispuso de fuentes de luz coherente (láseres de color rojo y verde) y se dejó a consideración a los

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

estudiantes el diseño de la doble rendija. Para compartir con los demás grupos de trabajo las respuestas y explicaciones de cada grupo se dispuso de una sesión plenaria (P4).

El segundo momento consistió en un juego de roles, en el cual se conformaron dos grupos de estudiantes para que cada uno asumiera el papel de ser los discípulos de Newton o Huygens, el objetivo fue debatir tomando como base dos fragmentos históricos de los científicos mencionados y defender con argumentos la postura ondulatoria o corpuscular según corresponda.

Finalmente, en la fase IV se desarrolló el instrumento 5 (I5), el cual contiene las actividades de aplicación, en las cuales los estudiantes pueden comparar su punto de vista con el inicial para establecer diferencias y plantear nuevas cuestiones sobre la temática estudiada, quienes en la medida de que se avanza deben utilizar distintos lenguajes para explicitar sus representaciones de las situaciones que son progresivamente más complejas y relacionadas con la cotidianidad (Jorba & San Martí, 1994).

Este último instrumento tenía como objetivo establecer la existencia de ondas electromagnéticas y el cierre de la misma implementación, por lo tanto, I5 fue dividido en tres actividades: la primera, consistió en la visualización de dos videos, uno de ellos ilustraba el artefacto experimental que diseñó Hertz para “demostrar” la existencia de las ondas electromagnéticas y el otro clip hablaba sobre la importancia de este tipo de ondas en la actualidad. En la segunda actividad se indagó sobre diferentes conceptos abordados en todo el transcurso de la implementación, con el fin de evaluar los planteamientos finales y el grado conceptual de los participantes al final de todo el proceso. A partir de lo anteriormente descrito y en consonancia con una guía de preguntas (G5) se dispuso de una plenaria (P5) para socializar y poner en escena las diferentes construcciones de los educandos.

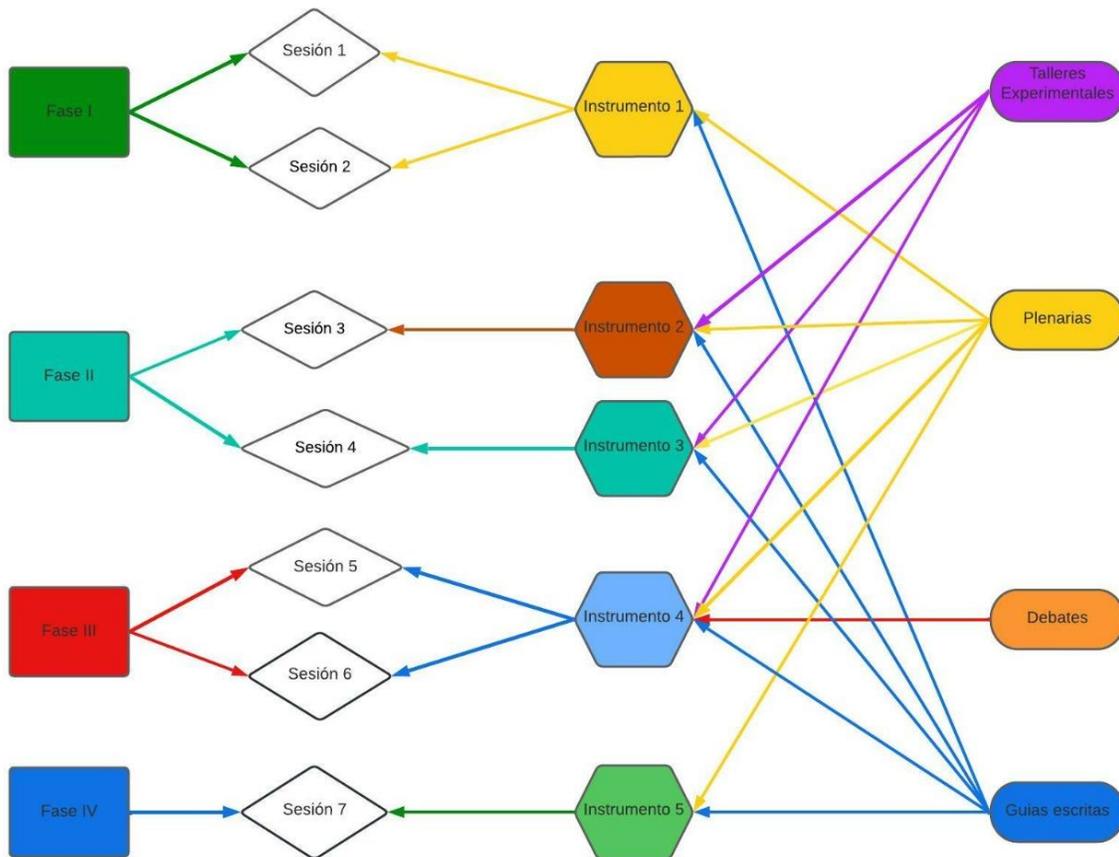
Para finalizar, en la tercera actividad se realizó un conversatorio con el propósito de conocer las apreciaciones de los estudiantes en cuanto a los aprendizajes obtenidos durante la implementación de la propuesta pedagógica, así mismo, reflexionar tanto sobre los aspectos a mejorar como de las fortalezas del desarrollo de la secuencia didáctica propuestas.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

A continuación, se presenta un gráfico (ver figura 7) que ilustra las actividades de la secuencia didáctica implementada en correspondencia con los productos de información obtenida y la categoría de análisis a la cual corresponde.

**Figura 7**

*Línea de tiempo de aplicación de instrumentos*



*Nota.* Aquí se muestra gráficamente el tipo de actividades desarrolladas en la implementación de la secuencia didáctica en cada una de las sesiones.

### **Sistematización y Análisis de la Información**

Como se mencionó anteriormente, el método de investigación utilizado en esta propuesta fue un estudio de caso, en el cual el análisis e interpretación de la información según Stake (2007), consiste en dar sentido a las relaciones que acaecen en el contexto y

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

población donde se desarrolla el proceso investigativo, conectando los fenómenos por medio de esquemas que ayudan a “aprovechar sistemáticamente conocimientos previos y a evitar falsas percepciones” (p. 68).

Con base en lo anterior, es necesario el uso de estrategias para darle significado a los casos y además seleccionar las observaciones más relevantes a fin de incluirlas en el informe de investigación, en estos procesos es fundamental la secuencia, clasificación preestablecida, categorización y recuento de las observaciones, dado que la búsqueda de significado trata de establecer correspondencias, es decir, modelos para dar consistencia al estudio (Stake, 2007).

De acuerdo con lo anterior, una vez recopilada la información la información se realizó la transcripción de los productos orales, las revisiones de las diferentes guías escritas; así mismo, la selección de fotografías, teniendo en cuenta la confidencialidad expresada en el protocolo ético (ver anexo 2).

Siguiendo a Cisterna (2005):

Como es el investigador quien le otorga significado a los resultados de su investigación, uno de los elementos básicos a tener en cuenta es la elaboración y distinción de tópicos a partir de los que se recoge y organiza la información. (p. 64)

Es por ello por lo que para organizar y sistematizar la información suministrada en la presente investigación se construyó una red de categorías apriorísticas (ver tabla 2).

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

**Tabla 2***Red de Categorías e indicios*

Título	Categorías	Indicios
La experimentación cualitativa exploratoria y su contribución al desarrollo del pensamiento crítico. El caso de los fenómenos ondulatorios en la clase de física.	Construcción de los conceptos de Onda Mecánica y Onda Electromagnética	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consideran que las ondas mecánicas requieren de un medio para desplazarse.</li> <li>- Problematizan por qué las ondas electromagnéticas no requieren de un medio para desplazarse.</li> <li>- Diferencian entre ondas mecánicas y electromagnéticas.</li> </ul>
	Experiencias físicas para establecer diferencias entre la mirada ondulatoria vs mirada de partícula.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A través de la experimentación cualitativa exploratoria los estudiantes reconocen características sobre lo que significa pensar en términos de onda.</li> <li>- Los estudiantes utilizan la experimentación cualitativa exploratoria para significar la manera como entienden la idea de partícula.</li> <li>- Los participantes diferencian entre una mirada corpuscular y de partícula por medio de la actividad experimental.</li> </ul>
	Experimentación y desarrollo de pensamiento crítico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecen conexiones entre significados, denotando una adecuación en sus modos de hablar y de pensar.</li> <li>- Expone a través de argumentos sus puntos de vista, manteniendo una coherencia en su pensamiento.</li> <li>- Reconocen críticamente los puntos de vista de los demás, enriqueciendo de esa manera su discurso científico.</li> <li>- Unifican sus perspectivas dejando de lado diferencias entre sus estilos de pensamiento.</li> </ul>

*Nota.* Categorías de análisis e indicios construidos con base en el marco teórico para la construcción de los hallazgos de la investigación.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

En la primera categoría *Construcción de los conceptos de Onda Mecánica y Onda Electromagnética*, se parte de las percepciones que tienen los estudiantes de estos conceptos y se reestructuran con base en la actividad experimental, de esta manera, por medio de la experimentación cualitativa exploratoria se establece la diferenciación entre una onda mecánica y electromagnética, se problematiza el concepto de medio y se resaltan las construcciones y explicaciones de los estudiantes en torno al fenómeno acústico y óptico.

Respecto a la segunda categoría de análisis *Experiencias físicas para establecer diferencias entre la mirada ondulatoria vs mirada de partícula*, se resalta como la experimentación cualitativa exploratoria permite que los estudiantes comprendan la diferencia entre pensar en términos de corpúsculo, en contraposición a una mirada ondulatoria. Por último, la categoría de *Experimentación y desarrollo de pensamiento crítico* teje la relación entre la actividad experimental y cómo los estudiantes ponen en escena habilidades críticas como la argumentación y la flexibilidad de pensamiento.

Para el análisis de la información, en cada categoría se identificaron indicios, es decir, una acción concreta que los participantes de la investigación manifestaron, esto permitió el reconocimiento de la información relevante para sistematizarla (Cisterna, 2005). Además, en este trabajo la epistemología del análisis de contenido se conceptualiza como un conjunto de procedimientos interpretativos de productos comunicativos (mensajes, textos o discursos) que están previamente registrados y se sistematizan por medio de técnicas cualitativas, es decir, basadas en la combinación de categorías (Piñuel, 2002).

Con esto en mente, el análisis de información también se considera como un meta-texto que se construye de acuerdo con procedimientos de análisis justificados teórica y metodológicamente. De esta manera, es pertinente acudir a los productos singulares (transcripciones, grabaciones, fotografías) para la elaboración y procesamiento de datos. (Piñuel, 2002). Esta perspectiva se materializa a través de la elaboración de un mapa de texto en una matriz para seleccionar unidades de información y establecer interrelaciones entre ellas con base en la red de categorías e indicios.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Considerando lo anterior, una vez hechas las transcripciones de las producciones de los estudiantes, se identificaron las unidades de análisis con base en las categorías descritas anteriormente, diferenciando cuales producciones orales, gráficas o escritas apuntaban a una categoría en específico. Hay que resaltar que para la selección de unidades de análisis se consideraron ideas coherentes, bien construidas y con sentido, así como fragmentos de conversaciones entre los participantes que reflejaran construcción social de conocimiento.

Una vez identificadas las unidades de análisis de acuerdo con las categorías e indicios. Se construyó una matriz de análisis de información (véase anexo 3) que permitió decantar nuevamente dichas unidades en relación con el marco teórico, los objetivos y el problema de investigación, posibilitando la sistematización y establecimiento de correspondencia (Stake, 2007) frente a como la experimentación cualitativa exploratoria articula el desarrollo de habilidades críticas y la comprensión de los fenómenos ondulatorios.

### **Triangulación de la Información.**

Conforme a los temas que se trabajaron en la presente investigación se construyen las categorías de análisis que orientaron las técnicas e instrumentos para la recolección de información, las cuales proporcionan una idea clara para la selección de unidades de análisis. Ante esto, Cisterna (2005) indica que la selección de la información es lo que permite distinguir lo que sirve de lo que no y proporciona dos criterios para seleccionar la información, estos son la pertinencia y la relevancia. En el primero, se indica que es prudente tomar en cuenta solo aquello que esté relacionado con la investigación, mientras el segundo, da cuenta de la asertividad o recurrencia con la que se expresa algo respecto al tema.

Con base en lo anterior, a partir de la información seleccionada se realizó la triangulación tomando en cuenta la propuesta de Stake (2007), quien indica que dicho proceso es necesario para establecer un significado y no una posición, por ello se debe revisar la interpretación del investigador a través de observaciones adicionales con el fin de adquirir la validez y consistencia necesaria; y en ese sentido aumentar la credibilidad de la interpretación. De igual modo, se hizo uso de lo descrito por Denzin (1989, citado en Stake, 2007) y Cisterna (2005), en donde se plantean estrategias de triangulación.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

En primer lugar, se realizó la triangulación de las fuentes de datos, según Stake (2007) se trata de determinar si la interpretación del caso se conserva a pesar de que se cambien las particularidades (momentos, espacios o forma de interacción), esto con el fin de revisar si lo informado tiene el mismo significado en otras circunstancias. De acuerdo con esta perspectiva, se realizó la triangulación entre las diferentes ideas de los participantes, a medida que se desarrollaron las distintas actividades grupales, además, se contrastaron las respuestas presentadas por los participantes al principio, durante y al final del proceso de investigación.

Desde la obra de Stake (2007) también sucede la triangulación entre investigadores cuando estos contrastan sus observaciones e interpretaciones. En este proyecto se realizaron discusiones por parte de los autores en torno a la información recolectada, buscando puntos comunes y no comunes en los análisis realizados.

A lo anterior, se añade que las observaciones (con o sin la interpretación) se pueden presentar a una comisión de expertos, quienes pueden dar interpretaciones alternativas para aportar datos adicionales a las consideraciones del investigador (Denzin, 1989 citado en Stake, 2007). Este proceso se llevó a cabo cuando todos los componentes del diseño de la investigación fueron presentados y sometidos a consideración a los profesores y asesores Ángel Enrique Romero Chacón y Natalia Muñoz Candamil, además también a algunos integrantes del Grupo de Investigación Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza (ECCE).

Respecto a la triangulación con el marco teórico Cisterna (2005) indica que:

Como acción de revisión y discusión reflexiva de la literatura especializada, actualizada y pertinente sobre la temática abordada, es indispensable que el marco teórico no se quede solo como un enmarcamiento bibliográfico, sino que sea otra fuente esencial para el proceso de construcción de conocimiento que toda investigación debe aportar. (p. 69)

La red de categorías anteriormente mencionadas está basada en el marco teórico el cual se fue nutriendo a lo largo de la investigación, por ende, este se ve involucrado en cada parte del trabajo. A su vez, el marco conceptual jugó un papel importante en el proceso de estructuración y análisis de la investigación, porque se estableció un diálogo entre diferentes

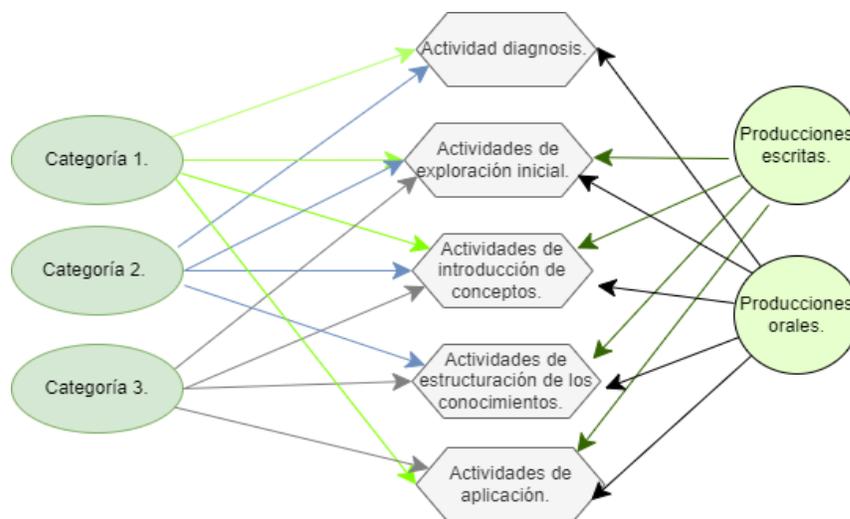
## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

autores, las explicaciones dadas por los estudiantes y la interpretación de los investigadores, todo esto con el fin de nutrir y enriquecer el análisis de la información obtenida.

Por último, Stake (2007), enuncia una cuarta estrategia denominada triangulación metodológica, en donde se puede contrastar las observaciones directas con la revisión de registros anteriores, tales como entrevistas, revisión documental y demás instrumentos. En la figura 8 se muestra la manera en la que cada uno de los instrumentos apuntó a recolectar información sobre una categoría de análisis, de esta forma, se estableció relación entre el marco teórico y los productos informacionales de la investigación para construir los resultados o hallazgos.

### Figura 8

*Triangulación entre instrumentos*



*Nota.* Proceso mediante el cual se realizó la triangulación entre instrumentos, en cada una de las fases de la secuencia didáctica se obtuvo información tanto de tipo oral como escrito que apuntó a alguna de las categorías de la investigación.

### **Hallazgos**

A partir de la red de categorías e indicios propuestos en la investigación, se realizó el análisis e interpretación de la información obtenida, siguiendo el procedimiento de selección de unidades de análisis y triangulación descrito en la metodología. A continuación, se presentan los hallazgos construidos por cada una de las categorías de la investigación.

#### **Construcción de los Conceptos de Onda Mecánica y Onda Electromagnética.**

La experimentación exploratoria en palabras de Steinle (1997) “puede desempeñar un papel crucial, incluso clave, dentro de la formación y estabilización de conceptos y esquemas de clasificación” (p.72). En ese orden de ideas, para la construcción de los conceptos de onda mecánica y onda electromagnética a través de la historia fue indispensable este tipo de experimentación, así como para la enseñanza del fenómeno ondulatorio en la clase de ciencias.

Siendo consecuentes con el marco teórico, la acústica y la óptica son fenómenos físicos muy importantes en la naturaleza del ser humano, por consiguiente, el sonido y la luz han sido explicados desde una perspectiva ondulatoria, cabe resaltar que este primero desde el inicio fue tratado desde un modelo ondulatorio, pero en el caso del segundo solo se trató desde esta perspectiva a partir de la imposibilidad de describirla totalmente desde la noción de corpúsculo. Teniendo en cuenta que para los fenómenos en mención se establecieron analogías, se consideró a la luz al igual que el sonido como una onda de tipo mecánico y longitudinal que viajaba por un fluido denominado Éter, empero, luego de los trabajos en electromagnetismo se conceptualizó a la luz como una onda electromagnética que se diferencia de las ondas mecánicas porque no requieren de un medio material para su propagación.

Los indicios correspondientes a los objetos de análisis de esta categoría son:

- Consideran que las ondas mecánicas requieren de un medio para desplazarse.
- Problematizan por qué las ondas electromagnéticas no requieren de un medio para desplazarse.
- Diferencian entre ondas mecánicas y electromagnéticas.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Teniendo en cuenta lo anterior, en el primer instrumento (I1) se presentaron preguntas tales como:

1. Imagina que estás en la calle y un carro pasa frente a ti, cuando éste recorre unos cuantos metros toca su bocina ¿De qué manera se desplaza el sonido que emite el carro hasta nuestros oídos? Explica ¿Qué forma tiene el sonido? Puedes realizar un dibujo.
2. Considera que te encuentras leyendo un libro muy interesante y cuando estás entre página y página llega la noche, te encuentras en una etapa donde no puedes parar de leer porque quieres saber qué sucede al final. Para ello enciendes una lámpara que ilumina todo el recinto donde te encuentras. Piensa ¿De qué manera la luz emitida por la lámpara se desplaza hasta iluminar tu libro? Puedes realizar cualquier tipo de representación para explicar dicha situación.

Luego de analizar por grupos la primera pregunta a partir de la relación con el fenómeno del sonido desde la cotidianidad, el grupo 1 realiza el siguiente aporte:

¿De qué manera se desplaza el sonido que emite el carro hasta nuestros oídos? Entonces, nosotros llegamos a la conclusión, de que cuando el automóvil emite o está transmitiendo ese sonido realmente lo que está haciendo es un transporte de energía sin transporte de materia, porque realmente lo que está haciendo el automóvil es generar una energía que realmente no tiene materia como lo puede llegar a ser la energía eléctrica, sísmica o eólica. Sino que está transmitiendo una energía que se está transmitiendo de un cuerpo a otro. (Grupo 1, I1P1)

Este aspecto es indispensable para la construcción del concepto de onda, y denota un conocimiento previo del grupo de estudiantes sobre su conceptualización, ya que aceptan que estas involucran un transporte de energía sin materia, así mismo, establecen una distinción entre lo que serían fenómenos que para este grupo se pueden describir a través del movimiento de materia(cuando se refieren a la energía eléctrica y eólica), en este punto, cabe resaltar que el grupo, establece una comparación y usa una analogía para construir la explicación del fenómeno, este aspecto será abordado más adelante. En sí, esta idea es muy similar a la conceptualización de onda, la cual, desde la época de los griegos, fue definida

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

como una perturbación oscilatoria originada en una fuente que no transporta cantidades diferenciables de materia (Pierce, 1981; Raichel, 2000 & Berg, 2019).

Ahora bien, en medio de la plenaria (P1) y la discusión con los otros grupos de trabajo, el grupo 1 complementa su anterior apreciación:

Es muy interesante el hecho de que las ondas de sonido se lleguen a transmitir como energía sin materia, pero qué pasa, esto se puede llegar a diferenciar de las ondas electromagnéticas ya que es muy interesante que las ondas electromagnéticas se pueden llegar a expandir en el vacío a diferencia de las ondas de sonido que en el vacío no se pueden llegar a propagar. (Grupo 1, I1P1Q1)

Esta unidad de análisis, aunque hace parte de la primera sesión, denota que claramente el grupo 1 marca una diferencia entre una onda electromagnética y una onda mecánica. Sin embargo, cuando quisimos ahondar en dicha distinción mediante las preguntas: “¿Qué diferencia habría entre el desplazamiento del sonido y una onda electromagnética en el vacío? Y ¿El sonido necesita qué para poder llegar a nosotros?” (I1P1), los estudiantes de todos los grupos no tenían respuesta. Consideramos que esto denota que no había una conceptualización inicial de lo que es un medio material, por ende, se puede decir que se establece una diferencia parcial, se reconoce al sonido en una tipología de onda, pero sin clasificarlo como mecánica.

Luego de la intervención del grupo 1, se problematizó la participación anterior por parte del grupo 2 y 3 como sigue:

**Julián:** ¿Qué causa que el sonido no se expanda? [miembro del Grupo 3]

**Investigadora M:** ¿En qué sentido?

**Julián:** No sé explicarlo.

**Esteban:** Lo que quiere decir el compañero entonces [es que] el sonido vaya de un punto A a un punto B ¿Cómo es posible que el sonido vaya de un punto A a un punto B? [miembro del Grupo 2]

**Julián:** O que no vaya como en este caso [haciendo referencia al vacío]

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

**Brayan:** Yo tengo una pregunta ¿Qué nos impide en el vacío? [es decir] ya hay estudios que demuestran que no suena nada y ¿qué impide que no se escuche nada? [miembro del Grupo 3]

**Investigadora M:** Considera una estación espacial [Ejemplificando un lugar donde no hay un medio material]

**Brayan:** Se supone que dentro de la estación sí se puede escuchar.

**Investigadora M:** Adentro, pero el caso es afuera de la estación.

**Brayan:** ¿Por qué adentro sí y afuera no? ¿Qué hay adentro que no hay afuera?

**Investigadora M:** ¿Por dónde viaja el sonido?

**Julián:** Por el aire, necesita un lugar por donde viajar, el sonido necesita elementos por donde viajar es lo que no hay en el espacio. (Grupos 2 y 3, IIP1)

Según su interpretación inicial hay algo en el espacio exterior que hace que el sonido no se transmita, en vez de pensar en ausencia del medio, en un inicio buscan la existencia de un objeto material que impide la transmisión del sonido. A pesar de que no se evidencia una clara diferenciación entre onda mecánica y electromagnética, en un principio los estudiantes llegan a la conclusión que en el caso del sonido, es necesario el aire para su propagación, consideramos que es un muy buen inicio para comenzar a conceptualizar el fenómeno.

Respecto a la segunda pregunta expuesta sobre el comportamiento de la luz, se resaltan las siguientes intervenciones de los grupos 2 y 3.

**Johan:** Yo hago mi interpretación, si el sonido utiliza un medio para transmitir, la luz utiliza un medio que yo pensaría que sería la oscuridad [miembro del grupo 3]

**Investigador C:** ¿Otro medio?

**Johan:** Sí, no estoy seguro si la luz se utiliza a sí misma como medio para transmitirse.

**Brayan:** La luz no necesita nada para poder transmitirse por así decirlo, en cambio, el sonido sí, porque nosotros podemos hablar en el espacio y nadie nos va a escuchar, pues no se puede escuchar, a [en] cambio la luz ¿cómo es capaz de llegar digamos desde el sol [hasta] acá a la tierra? eso es como la cosa, es como la diferencia. [miembro del grupo 3]

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

**Investigador C:** ¿O sea que tú estás planteando que la luz no necesita un medio?

**Brayan:** Exacto. (Grupo 2 y 3, I1P1Q2)

Hay dos asuntos interesantes en este fragmento, en el primero se puede notar que los participantes incorporan a su discurso y por lo tanto, aceptan que el sonido requiere de un medio material por el cual transmitirse, el segundo es que, con base en esta concepción construida durante la sesión, diferencian entre la manera en cómo se transmite el sonido y lo ponen en discusión con la manera en cómo ellos conciben que lo hace la luz: Mientras que para Brayan la luz no necesita de nada para transmitirse, una idea que puede asociarse a la conceptualización de onda electromagnética, para Johan, la luz requiere de un medio para su desplazamiento. Esta idea está en consonancia con la noción de Éter y las creencias de Fresnel de que la luz era una onda transversal que viajaba a través de un medio enrarecido con gran rigidez y ningún rozamiento.

Para nosotros es muy interesante el papel que juegan las analogías en la construcción de explicaciones, tal como se mencionó anteriormente, evidenciamos que los estudiantes establecen relaciones y comparaciones entre fenómenos que relativamente comprenden mejor con otros que desconocen, como ejemplo de ello en la unidad de análisis descrita anteriormente, se evidencia a partir de una construcción colectiva, una relación entre la explicación de la transmisión de la luz con la idea de que el sonido requiere del aire para viajar. En consonancia y correspondencia con el marco teórico, las analogías tienen una función importante en el desarrollo de la ciencia y por tanto tienen un valor fundamental en la enseñanza de esta, aquí se pone en evidencia que los estudiantes dan significado a fenómenos utilizando estas figuras literarias con relación a ideas que conocen, así dan explicaciones sobre aquello que desconocen.

Bajo esta misma perspectiva y en medio de la discusión generada por la pregunta dos, se presenta la siguiente intervención:

**Julián:** ¿Qué pasará entre el medio del aire y el medio de la luz?

**Johan:** Si en el vacío no está realmente tan vacío, sino que hay un elemento que existe, pero a la vez no existe para nosotros porque no lo podemos ver, ni lo podemos

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

detectar, sino que está ahí, pero no hay forma que podamos comprobar podría ser la materia oscura pero tal vez podría ser otra cosa. (I1P1Q2)

Desde la mirada de onda se asocia la idea de la existencia de un medio mecánico que permita la transmisión de energía, es entendible esta postura pues desde el nacimiento de la descripción de los fenómenos ondulatorios, se ha asociado que la energía así dispuesta requiere algo por donde moverse. La idea de onda a través de la historia estuvo ligada a esta concepción y es muy interesante como se resalta en algunos momentos durante la investigación.

Cuando Johan se refiere a “sino que hay un elemento que existe, pero a la vez no existe para nosotros porque no lo podemos ver, ni lo podemos detectar” (I1P1), nos hace pensar en los planteamientos de Ferreirós & Ordoñez (2002), quienes nos hablan de la relación de complementariedad entre la teoría y la experimentación en el desarrollo de la ciencia. Todo esto en concordancia con la idea de fabricación de los efectos, es decir, la construcción de instrumentos para crear y organizar los fenómenos. De manera puntual nos referimos a que hay fenómenos que no los percibimos por la observación y su existencia, son dependientes de montajes experimentales que permiten detectarlos y conocerlos (Amelines & Romero, 2017).

En el mismo instrumento (I1) y alrededor de la misma pregunta (Q2) se obtiene la siguiente unidad de análisis:

**Nikole:** ¿La luz no se desplaza a través de lo que hay alrededor o sí? Porque el sonido necesita sí o sí ¿cierto? del agua, del aire, pero la luz no necesariamente, igualmente utiliza una parte de su ambiente.

**Investigador C:** Sí, podríamos decir que claramente el ambiente o los otros medios influyen en el comportamiento.

**Nikole:** Afectan, más no los necesita. (I1P1Q2)

En el fragmento anterior, la estudiante diferencia la luz con un tipo de movimiento que no lo denomina onda, porque como se verá más adelante, para esta participante la luz se comporta como onda-partícula simultáneamente, sin embargo, establece una diferenciación indirecta entre lo que se conoce como onda mecánica y onda electromagnética, la primera

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

necesariamente requiere de un medio material por el cual desplazarse, en cambio la segunda, a pesar de interactuar con la materia o ambiente, no lo demandan para su desplazamiento.

Esto último es fundamental para el establecimiento de la fenomenología, en la que existen oscilaciones que pueden viajar a través del vacío y que presentan las propiedades del fenómeno ondulatorio tal como se enuncian en los trabajos de Maxwell y Hertz. Aunque la estudiante lo presenta de manera tan natural, consideramos que sus palabras son potentes desde el sentido que a pesar de no mencionar directamente que la luz es una onda electromagnética, enuncia una idea que tardó años en configurarse en la física, esto es, abandonar la concepción de necesidad de un medio como el éter para poder transitar la luminosidad de un lugar a otro. Por consiguiente, aunque no hay una conceptualización clara de lo que es un medio, se evidencia un razonamiento a priori sobre este.

Hay que mencionar que las preguntas que realiza la participante al interior de sus intervenciones denotan que busca la aprobación de sus planteamientos por parte del grupo, esta idea será desarrollada más adelante en la última categoría.

Los aportes de los participantes resultan interesantes, dado que, a lo largo del desarrollo de las actividades de implementación se ha hablado mucho en torno a los medios de propagación, no obstante, en ese momento no hubo una conceptualización clara sobre este, dado que al finalizar el instrumento 1 (I1), se propuso la pregunta ¿Qué es un medio? Y se obtiene la siguiente apreciación.

**Nikole:** [...] Sería simplemente el punto central entre dos lugares. En física sería un punto físico. Pero en el medio social, en realidad es un concepto muy amplio como todos los conceptos de la sociedad humana. En física sería el centro entre dos extremos que sea de masa. (I1P1)

Aquí evidenciamos que la estudiante sostiene una visión muy matematizada sobre este concepto que es muy diferente en la física. Al ir avanzando con la implementación de la secuencia didáctica se puede evidenciar en los enunciados de los participantes que se van construyendo los conceptos claves para la significación de onda mecánica y onda electromagnética.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Es preciso resaltar que posteriormente a las actividades experimentales del instrumento 2 (I2) con la cubeta de ondas (T1), en la cual los estudiantes identificaron propiedades tales como la reflexión, difracción e interferencia con ondulaciones en agua; se implementó el instrumento 3 (I3), que se trató de una actividad experimental llamada la placa de Chladni (T2), aquí se problematizó nuevamente la mirada (perspectiva) de medio de los participantes con la pregunta: ¿Cuál es el papel de la placa en la formación de los patrones?,

Al analizar el anterior cuestionamiento a partir de la actividad experimental, se obtienen los siguientes enunciados.

**Investigador C:** ¿Pero a qué te refieres con medio?

**Nikole:** Un medio a través por el que van las ondas, o sea ellas están pasando a través, siguen siendo materia y tienen sus mil tipos de propiedades [...] está estático y las ondas están pasando a través de él, ósea lo están utilizando como un medio no para llegar a la arena porque tampoco les importa la arena, simplemente está como ahí. [...]

**Investigador C:** Es importante lo que afirmas, es un medio, recordemos cual es la diferencia entre una onda mecánica y una onda electromagnética.

**Nikole:** Yo no sé.

**Julián:** Yo sé, la mecánica necesita de un medio y la electromagnética no necesita de un medio. (I3T2)

Es evidente el cambio en la conceptualización de la participante sobre la manera en cómo entiende el medio, como ya se había dicho, al principio lo asociaba más a un punto de vista matemático y lo consideraba algo tan evidente que no dudaba de su interpretación, luego con las actividades experimentales y la discusión con los compañeros, se logra apreciar un cambio en su concepción, ya que lo consideró como algo por el cual se desplazan las ondas, lo que dice sobre el medio material es lo que comúnmente se acepta en la física, además, al finalizar la intervención se realizó una distinción clara entre lo que es una onda mecánica y electromagnética, pues, se dice claramente que la primera requiere de un medio y la segunda no lo necesita para su propagación.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Por último, en el Instrumento 5 (I5) se propuso una tabla de doble entrada con una serie de preguntas sobre el fenómeno ondulatorio (tal como se ilustra en la imagen), luego en la plenaria los estudiantes socializaron de manera oral sus respuestas, obteniéndose la siguiente unidad:

**Antonella:** Bueno, ¿qué es una onda mecánica? Una onda mecánica es la que necesita un medio para desplazarse, lo hablamos aquí y la onda electromagnética es un campo eléctrico y uno magnético y los dos oscilan entre sí.

**Investigador C:** ¿Y cómo se diferencian esos dos tipos de onda?

**Antonella:** Pues que una necesita un medio y en la otra no es tan necesario que ese medio exista para que se pueda desplazar. Bueno, ¿qué características tiene una onda? Lo que hemos visto como refracción, difracción, reflexión y que las ondas chocan con las superficies y ¿cómo se evidencia el fenómeno ondulatorio? En el wifi, el microondas y los radios, pues así ondulatorio. (I5P5)

Complementando lo anterior, el grupo de Esteban propone las siguientes consideraciones en la guía de preguntas (G5) tal como se expone en la figura 9.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

**Figura 9***Preguntas finales de la implementación*

Temáticas.	Argumentos.
¿Cómo viaja el sonido?	El sonido es una onda mecánica que viaja a través del aire (necesita de un medio para ser generada)
¿De qué manera se comporta la luz?	Bajo el acuerdo del equipo, decimos que la luz tiene un movimiento ondulatorio y por tanto se comporta como onda (aunque tiene)
¿Qué es una onda mecánica y una onda electromagnética?	Una onda mecánica es aquella que requiere de un medio para generarse. Sin embargo, una onda electromagnética es la interacción entre cargas "+" y "-"
¿Qué características tiene una onda?	Difracción, Reflexión, Interferencia, Superposición, longitud, amplitud
¿Cómo se evidencia el fenómeno ondulatorio en nuestra vida cotidiana?	Al través del sonido, la luz, el golpe de las aguas...

*Nota.* Imagen tomada de la guía de preguntas escritas del instrumento 5, resuelta por el grupo conformado por Esteban, Johan y Sebastián. (I5G5)

Evidenciamos en la parte final de la implementación del proyecto investigativo que los estudiantes hablaban y escribían con mucha más naturalidad y seguridad sobre el fenómeno ondulatorio, identificaron características propias de lo que significa pensar en términos de onda, a su vez, todos los participantes marcan la diferenciación entre onda mecánica y onda electromagnética tal como ya se ha expresado, es muy curioso porque en sus respuestas dejaron ver que las ondas a pesar de no requerir un medio para propagarse, estas sí interactúan con la materia y de esta manera ocurren fenómenos tales como reflexión, refracción, difracción, interferencia, entre otros.

Podemos agregar también que es muy interesante como la estudiante para diferenciar una onda mecánica de una electromagnética enuncia los conceptos de campo eléctrico y campo magnético, aunque no hubo una conceptualización a profundidad de estos en el

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

desarrollo de la propuesta investigativa, es una idea clave en la construcción del concepto de onda electromagnética. Vale la pena enunciar que es fundamental para el proceso de aprendizaje la asociación de estos fenómenos a sucesos tan presentes en nuestra cotidianidad tales como la radio, el wifi, entre otros.

### **Experiencias Físicas Para Establecer Diferencias Entre la Mirada Ondulatoria vs Mirada de Partícula.**

La experimentación cualitativa exploratoria trata de encontrar conceptos y clasificaciones adecuadas para formular las regularidades de los fenómenos, es decir, la formación de marcos conceptuales y esquemas que se consideran apropiados para ordenar un conjunto de resultados experimentales (Steinle, 1997). De acuerdo con lo anterior y en consonancia con el objetivo de la investigación, mediante este tipo de experimentación se buscó diferenciar entre lo que significa pensar, tanto en términos de corpúsculo como desde una perspectiva ondulatoria.

Con respecto a lo anterior, y teniendo en mente el papel de la experimentación cualitativa exploratoria, se tiene que, tanto en acústica como óptica existen dos miradas para explicar el movimiento: Una mirada ondulatoria y una perspectiva corpuscular. Desde la mirada corpuscular, se consideran las corrientes de partículas que viajan con cierta velocidad para describir el movimiento del sonido y la luz, empero, esta perspectiva a pesar de explicar la reflexión y la refracción no lograba desarrollar adecuadamente los fenómenos como la interferencia, difracción, polarización, entre otros; estos fueron clasificados y conceptualizados mejor por medio de una perspectiva ondulatoria, en analogía con las ondulaciones producidas en el agua.

De manera similar a la categoría inmediatamente anterior, a continuación, se presentan los indicios con los cuales se analizó la información y fundamentan las consideraciones de este tópico de análisis:

- A través de la experimentación cualitativa exploratoria los estudiantes reconocen características sobre lo que significa pensar en términos de onda.
- Los estudiantes utilizan la experimentación cualitativa exploratoria para significar la manera como entienden la idea de partícula.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

- Los participantes diferencian entre una mirada corpuscular y de partícula por medio de la actividad experimental.

Con la intención que ya se expresó, en el primer instrumento (I1) se propuso la siguiente actividad para analizar por grupos:

Ubica en el extremo de la mesa un libro (parado sobre su borde inferior). Te piden que derribes ese libro de dos maneras: La primera que involucre una perspectiva ondulatoria y la segunda a través de una mirada de corpúsculo (partícula). Ten en cuenta que lo debes derribar a una distancia mínima de 1 metro ¿Cómo lo harías? Con base en lo anterior, reflexiona y responde ¿Cuál es la diferencia entre el movimiento? ¿Hay alguna similitud entre el movimiento representado a partir de estas dos miradas y el movimiento de la luz o el sonido? Si o no ¿Por qué?

Luego de analizar el cuestionamiento, algunos de los integrantes de los grupos mencionan:

**Nikole:** Para derribar una partícula se necesita otra partícula sí o sí, además moverlo con otra partícula, porque un objeto tiene que tocar a otro objeto para poder moverse.  
[ Johan hace el gesto de que va a lanzar algo]

**Profesor Ángel:** ¿Eso desde una perspectiva de qué?

**Johan:** de onda.

**Profesor Ángel:** ¿Por qué?

**Johan:** No sé.

**Profesor Ángel:** Tú estabas diciendo [ dirigiéndose a Nikole] que para una partícula necesita algo que se ponga en contacto ¿no es lo mismo que estamos haciendo aquí? Cuando Johan arroja esto [un objeto]. (I1P1)

El desarrollo de esta actividad fue muy difícil para los participantes, es decir, diferenciar entre una mirada de partícula y una ondulatoria para resolver el problema planteado. A pesar de que los estudiantes abordaron en actividades pasadas lo que es en sí el concepto de onda, con esta actividad se logra evidenciar que no hay una interpretación real de lo que significa el transporte de energía sin transporte de materia.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

La reflexión de la participante Nikole, si bien no la clasificó dentro de las perspectivas mencionadas, en el sentido que no se refirió a corpúsculo u onda respectivamente, consideró que la única manera en la que se puede derribar un objeto es a través de un choque material con otro, pone el énfasis en el desplazamiento de la materia en sí, lo cual puede enmarcarse en una perspectiva corpuscular, además, Johan a pesar de tener una idea de derribarlo lanzando un cuerpo, cuando dijo “no sé” no diferenció en su respuesta que es corpuscular, de una ondulatoria.

Continuando con la discusión, cuando se les pregunta a los participantes sobre la forma que ellos consideran que tiene la luz, enuncian en la plenaria del mismo instrumento:

**Nikole:** Yo me la imagino como con chispitas como si tiráramos un montón de chispitas, pero cada chispita generaba ondas.

**Johan:** Desde mi punto de vista como tal no tiene una forma, sino que simplemente está, digamos en el universo no hay nada, solo hay oscuridad antes que hubiera el Big Bang y de la nada una chispita de luz está y no sería como un rayito para acá, si no que sería como una esfera. [Aquí los estudiantes plantean la discusión en torno al Big Bang, lo cual pensamos que no viene al caso].

**Johan:** Desde mi punto de vista no tiene forma, simplemente se expande, se podría decir que desde una forma circular que complete como un círculo completamente redondo [valga la redundancia], una esfera que simplemente sigue expandiéndose y ya.

**Investigador S:** Creo que complemento la idea, es como una especie de ola de mar en forma circular que se está expandiendo.

**Johan:** Exacto, Simplemente se estaría volviendo más y más grande, como tal no es un cuadrado de luz y luego le sigue otro cuadrado, no. (IIP1)

En la respuesta de Nikole a pesar de enunciarse el fenómeno óptico como una serie de chispas, que bien se puede asociar a la idea de corpúsculo de Descartes y Newton, cuando culmina su intervención enuncia que cada uno de estos cuerpos genera ondas, lo que denota que no hay una diferenciación clara entre lo que significa pensar en términos de cada uno de los modelos presentados, puesto que la idea de corpúsculo está directamente asociada a la

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

imagen de la luz como un cuerpo rectilíneo. Es preciso reconocer que la estudiante tenía una idea previa sobre la dualidad onda-partícula y durante todo el proceso investigativo intentó defender esta postura, por lo anterior, consideramos que para entender el concepto onda-partícula es necesario comprender qué significa cada uno de estos por separado y las características propias que implica pensar en términos de cada una de estas miradas, esto último a través de la actividad experimental que hemos planteado.

En la respuesta de Johan hay varios asuntos a considerar. Inicialmente no estima a la luz solo como un rayo rectilíneo (esta idea la asumimos haciendo referencia al rayo geométrico de Euclides y la noción rectilínea de la luz de Newton), sino que lo hace como una esfera, traza una distinción entre una perspectiva corpuscular y una ondulatoria, dado que, al describir a la luz como una onda esférica, pensamos que lo que dice está en relación con el modelo ondulatorio de Huygens, quien establece analogías sobre el comportamiento de las ondulaciones del agua y el sonido para describir al fenómeno óptico de forma esférica en el espacio o circular en el plano.

Complementando el párrafo anterior, nuestra manera de ver la explicación de Johan cuando pensó que la luz se transmite como una esfera que se va haciendo cada vez mucho más grande, se relaciona con la descripción de los frentes de onda que propone el principio de Huygens-Fresnel desarrollado en el marco teórico, es necesario destacar también el contexto en el cual propone la situación, busca un lugar donde para él no existe nada, con el propósito de asegurarse que la luz tenga esta forma cuando no interactúa con elementos materiales. En suma, asociamos esta descripción a una postura ondulatoria de la luz que surge en contraposición a las dificultades de explicación que presentó el modelo corpuscular cuando los rayos rectilíneos de luz interactuaban con la materia, en los casos de doble refracción y difracción.

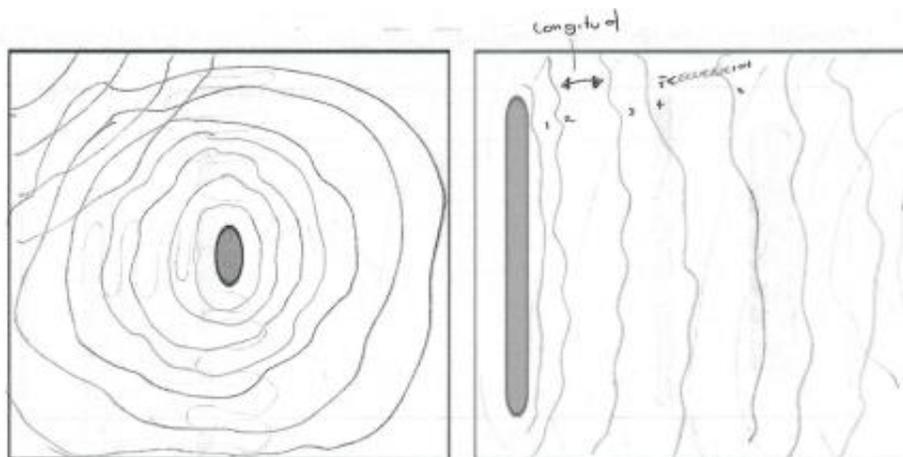
Con base en estas consideraciones iniciales de los estudiantes, el instrumento 2 (I2) compuesto por un taller experimental (T1) sobre las propiedades y los fenómenos ondulatorios en una cubeta de ondas, se orientó con el propósito de identificar las características de lo que significa pensar desde una mirada ondulatoria.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Una de las actividades de la guía (G2) consistió en dibujar los frentes de ondas que surgen en el caso de una fuente de perturbación circular y plana, obteniéndose la figura 10.

### Figura 10

*Frentes de onda circular y plano*



*Nota.* Imagen tomada de la segunda guía de preguntas, correspondiente al taller experimental número uno, el dibujo fue realizado por el grupo de estudiantes conformado por Nikole y Julián. (I2T1G2)

Para nosotros en la figura 10 se puede ver que los estudiantes reconocen los frentes de onda de tipo circular y plano, así, en la ilustración presentaron algunos trazos provenientes de los extremos de la cubeta, lo cual hace referencia a la reflexión tanto de la onda esférica como de la plana, también identificaron la longitud de onda e intentan señalar la frecuencia. Es preciso para nosotros comentar aquí que gracias a la actividad experimental los estudiantes comienzan a explicitar su perspectiva ondulatoria, pues en sus consideraciones iniciales solo se hablaba de onda y es mediante la experimentación que asociaron a este concepto algunas características como longitud de onda y frecuencia, distinguen los tipos de frentes de onda y además, tienen una idea sobre lo que es la reflexión de las ondas.

Por el marco teórico se sabe que la perspectiva corpuscular lograba explicar la reflexión y la refracción, sin embargo, en los casos de la difracción y la interferencia no había una explicación satisfactoria. De acuerdo con lo anterior, en dicho taller experimental (T1), se establece la analogía entre las ondulaciones del agua y los fenómenos acústicos y ópticos

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

para describir dichos fenómenos, así, valiéndonos de esta analogía se estudió la difracción y para ellos se varió los parámetros del experimento, en ese sentido, se obtuvo los siguientes enunciados sobre la difracción cuando la rendija puesta en la superficie del agua tenía un espaciado mayor que la longitud de onda emitida por la fuente vibratoria en la cubeta de ondas.

**Investigador C:** ¿Qué sucede en la rendija?

**Nikole:** Algunas pasan.

**Emanuel:** De hecho, parece que ni siquiera hubiera ondas. (I2T1)

Podemos notar que cuando la rendija es de un orden mayor que la longitud de onda, los participantes describen el efecto de propagación como pequeño. Mientras que Nikole afirma que solo algunas pasan, Emanuel dice que parece que no hay ondas. Lo cual apunta que la difracción es mucho menor en esta ocasión.

Ahora, se consideró el caso en el cual la rendija es menor que la longitud de onda, los presentes enunciaron:

**Investigador C:** [...] Cuando nosotros tenemos una rendija un poco más pequeña que la longitud de onda vemos entonces cómo incide ¿Ustedes la ven plana? [...]

**Grupo:** No.

**Investigador C:** ¿Cómo lo ven?

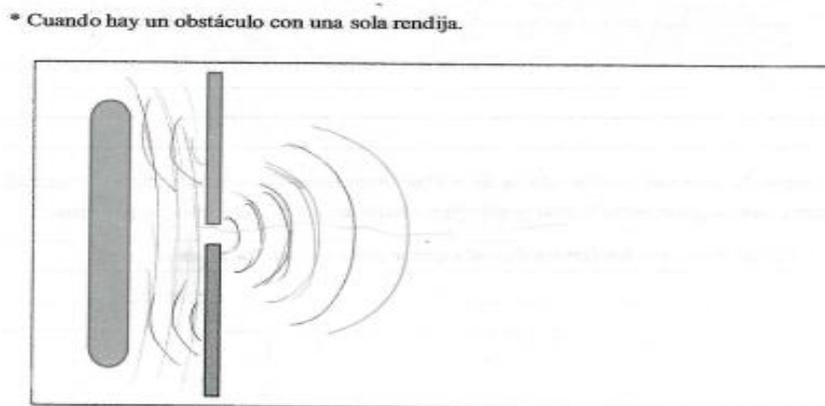
**Johan:** Ondulado.

**Investigador C:** ¿Ondulado?

**Johan:** Parecen un entre paréntesis. (I2T1)

Complementando el diálogo anterior, Julián y Emanuel plasmaron en la guía la figura

11:

**Figura 11***Difracción en ondas de agua*

*Nota.* Imagen tomada de la segunda guía de preguntas, correspondiente al trabajo experimental con la cubeta de ondas, la ilustración fue desarrollada por Brayan y Emanuel. (I2T1G2)

En el fragmento e imagen anterior, se logra apreciar que a través de la experimentación los estudiantes perciben mucho más el efecto de la difracción, lo describen y dibujan con frentes de onda semi circulares, es decir, se percatan que cuando la amplitud de la rendija es menor que la longitud de onda, esta se propaga en todas las direcciones formando así un frente de onda mucho mayor y por ello se puede apreciar mucho más el fenómeno de la difracción. Vale la pena resaltar que en la imagen también se logra ver que los estudiantes ilustran la reflexión, en el caso que el frente de onda plano impacta en los obstáculos de la rendija, recordemos además que la difracción es un fenómeno que es inexplicable desde un punto de vista corpuscular.

En el mismo taller experimental (T1), se puede apreciar los siguientes enunciados respecto al fenómeno de la interferencia.

**Investigador C:** Yo vi que tú me hiciste una pregunta interesante al inicio, que un punto donde no hay... [El investigador fue interrumpido por el estudiante, pero, en dicha oración quería expresar que Julián le preguntó por la existencia de puntos

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

muertos, refiriéndose con este término a los salones con diseño acústico en donde existen puntos en los cuales no hay sonido].

**Julián:** O sea el llamado punto muerto, pero es muy coloquial.

**Investigador C:** ¿Cómo se relaciona con esto?

**Julián:** Acá mismo, acá se puede llegar que hay menos frecuencia de ondas, o sea, casi ni se ve, si yo lo veo desde acá casi que ni se ve la onda, ahí es donde sucede la interferencia.

**Investigador C:** Noten algo acá ¿Qué sucede en estos puntos?

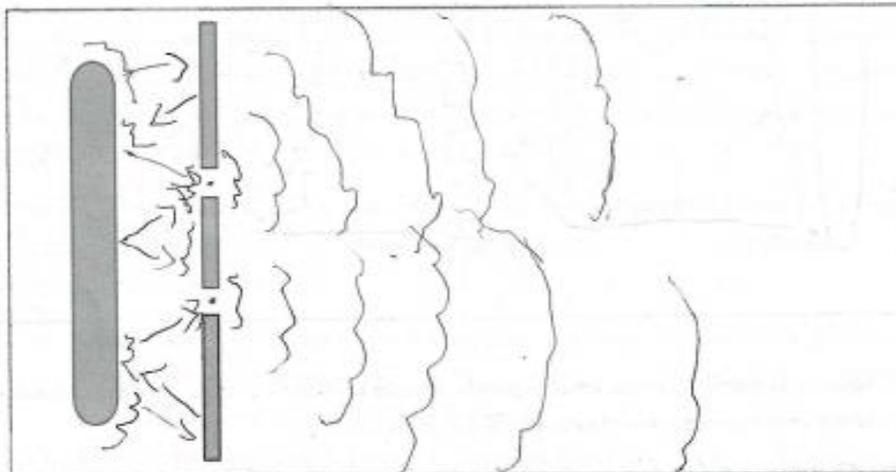
**Johan:** Un punto muerto. (I2T1)

Se complementa el diálogo anterior con la figura 12, tomada de la guía del mismo instrumento y desarrollada por Johan sobre cómo concibió este fenómeno.

### Figura 12

*Experimento de la doble ranura en una cubeta de ondas*

\*Cuando hay un obstáculo de doble rendija.



¿Cuáles propiedades de las ondas se puede evidenciar?

*en las salidas hay un punto muerto*

*Nota.* Ilustración realizada por Johan, al observar ondas de agua a través de una doble rendija. (I2T1G2)

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Para nosotros fue muy interesante este caso, porque cuando se expuso el fenómeno de la interferencia, Julián asoció esto con un conocimiento previo, trajo a colación el caso de un lugar con diseño acústico que posee puntos en donde no hay sonido y los denomina puntos muertos. Con base en esta idea preconcebida en la actividad experimental, se da una explicación coherente sobre la interferencia e identifican en la cubeta de ondas un punto muerto, refiriéndose con este término, a un punto nodal en donde la amplitud es mínima o nula por la interferencia destructiva entre dos ondas superpuestas, con esto se logra experimentalmente un efecto que también es inexplicable desde un punto de vista corpuscular y solo tiene sentido desde una perspectiva ondulatoria.

Ahora enfocándonos en la figura 12, es muy sugerente como el estudiante representa la dirección del frente de onda a través de flechas, indica algunas que se dirigen hacia los obstáculos y otras en sentido opuesto para representar la reflexión, también señala flechas que apuntan a través de la rendija que al incidir por el centro de ella forman frentes de ondas que interactúan entre sí, esto nos deja ver la idea de rayo que desde Euclides se fabricó como abstracción matemática, permite comprender la naturaleza de la luz y de cierta manera simplificar el tratamiento del fenómeno ondulatorio trazando rayos.

Para complementar la idea de la interferencia, tal como fue descrita por Young, se trae a colación la siguiente unidad de análisis del mismo taller experimental (T1).

**Brayan:** ¿Cuándo sale por estas dos rendijas al unirse acá no se volverían más grandes?

**Investigador C:** ¿Tú dices que son más grandes?

**Johan:** Yo digo que se chocan, pero no se unen, sino que cada uno sigue su camino y ya luego se separan. (I1T1)

Aunque anteriormente se trató la interferencia destructiva, en la actividad experimental no se identificó la interferencia constructiva, solo se percibió la insinuación a modo de pregunta de Brayan. La cual deja ver que el participante tenía en mente la idea de superposición de ondas en el caso que sus fases se suman, pero en realidad no se ahondó en este concepto ni se identificó en la cubeta de ondas.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

En este sentido, consideramos que el papel de la actividad experimental es fundamental para la construcción de los fundamentos del fenómeno ondulatorio; conceptos tales como longitud de onda, frecuencia, periodo, amplitud, así como difracción e interferencia adquieren mucho más significado para los estudiantes cuando ellos mismos crean los efectos y los evidencian. Al comparar las explicaciones de los estudiantes antes de la actividad experimental, percibimos que el discurso de los participantes al describir el fenómeno ondulatorio es mucho más sólido, estructurado y claro con el desarrollo de la experimentación.

Continuando con las experiencias para la organización de la fenomenología sobre lo que significa pensar en términos de onda y siendo consecuentes con los estudios sobre acústica, en el instrumento 3 (I3) se llevó a cabo el taller experimental (T2) que antes hemos denominado placa de Chladni, en este, se ubica el centro de una placa metálica sobre una base, esta última se pone sobre un parlante en el cual se emite una serie de sonidos con frecuencias determinadas, esto con el fin de crear patrones cuando se le rocía arena o sal a la superficie de metal.

En el instrumento se propuso la pregunta ¿según la experiencia anterior cómo puedes describir el movimiento del sonido? Obteniéndose la siguiente observación.

**Juan José:** Es una fragmentación [Aquí lo interrumpen sus compañeros diciéndole que fragmentarse es una propiedad, no obstante, él desarrolla su idea] Pasa esto, supongamos que acá está un montón de arena, entonces yo pongo el bafle y yo lo pongo amplificado para que me haga, supongamos una x, entonces supongamos por aquí no hay frecuencia, por acá tampoco y por acá tampoco [Esto es una suposición que hace el estudiante imaginándose que en la superficie metálica se formó un patrón en forma de X]. Este material no es como que cuando ya empieza a amplificar directamente llega a estas líneas [A partir de la X que el estudiante imagina, él plantea que dicho patrón formado sobre la placa no es causado de manera inmediata], sino que si ustedes analizaron bien como es el proceso de desplazamiento, son como pequeños saltos [Saltos de la arena que se rocía sobre la placa] que se van agrupando en las partes donde no hay frecuencia, entonces, ¿qué pasa? La fragmentación, esto

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

aquí se va fragmentando empieza a unirse en las pequeñas líneas donde no hay frecuencia y cuando ya todo el centro está fragmentado queda el pequeño círculo del rastro y queda toda la fragmentación en líneas. [...]

**Investigador C:** ¿Y eso tiene algo que ver con las ondas?

**Juan José:** Claro, lógicamente, las partes que quedan sin arena es donde más ondas había, donde más fuerte llegaba la frecuencia.

**Investigador C:** Entonces ¿Estamos reconociendo que el sonido es un fenómeno ondulatorio?

**Juan José:** Sí. (I3T2)

Si bien el sonido tal como se ha expresado en el marco teórico, ha sido descrito a través de una mirada ondulatoria, para nosotros es muy interesante la explicación que dio el participante, lo describió como una fragmentación, en la cual identifica zonas donde hay más frecuencia y otras donde no la hay. Aunque el término frecuencia no es el más adecuado para la explicación, en la respuesta se evidencia que el estudiante distingue unas zonas de otras; si remplazamos el término de frecuencia por amplitud, se podría decir que en los lugares donde se agrupa la arena hay menos amplitud que en donde no lo hace, esto recibe el nombre de puntos nodales y puntos anti nodales respectivamente y son producidos por la interferencia de ondas con la misma frecuencia, además, también deja claro en su respuesta, que no con todas las frecuencias de sonido emitidas se forman figuras, un aspecto relevante en la descripción del fenómeno.

Cabe resaltar que el estudiante asocia que en las zonas donde no hay arena, es donde más ondas había, pero parece que tenía en mente que en los cúmulos de arena no incide la vibración sonora. Pensamos que esta concepción es porque el estudiante no diferencia entre frecuencia de la onda y onda, así mismo, sería interesante abordar con los estudiantes el término de onda estacionaria (que no lo hicimos) para dejar claro que no se trata de una sola onda con una frecuencia definida que incide en la placa, sino que se trata de varias ondulaciones con la misma frecuencia, las cuales, cuando se superponen causan dichos puntos nodales y anti nodales dependiendo la interacción de su fase.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

No obstante, se pudo identificar un fenómeno que también es inexplicable desde un punto de vista corpuscular y requiere de una perspectiva ondulatoria para ser explicado. Así mismo, recordemos que en la plenaria 1 (P1), Nikole enunció que la única manera de hacer mover una partícula es mediante el choque con otra, empero, en esta actividad experimental se logra percibir que desde un parlante se emite un sonido que no conlleva el desplazamiento de materia, pero sí de una energía que al interactuar con la placa hace que la arena allí dispuesta se afecte o se mueva.

Prosiguiendo con la implementación de la propuesta investigativa, en el instrumento 4 (I4) se desarrolló otro taller experimental en torno al comportamiento de la luz a través de una y dos rendijas. Antes de desarrollar la actividad experimental, se presentó a los participantes el siguiente cuestionamiento: Imagina que apuntas un láser fijamente a través de dos rendijas, este al pasar al interior de estas va a proyectar un patrón en una pantalla ¿Cómo imaginas dicho patrón?

Luego de analizar esta situación se obtuvieron las siguientes respuestas.

**Esteban:** Según lo que explicamos aquí es un patrón lineal que dependiendo del tamaño de la rendija, cierta parte de la luz va a quedar adherida.

**Investigador C:** Me gustaría que hicieras un dibujo y consideraras la forma detrás en la pantalla.

**Esteban:** Entramos y decimos que se difusa [Término extraño] y rebota aquí en forma de puntitos.

**Nikole:** No, en un solo punto. Ah serían dos puntos, porque en la mitad tiene una separación.

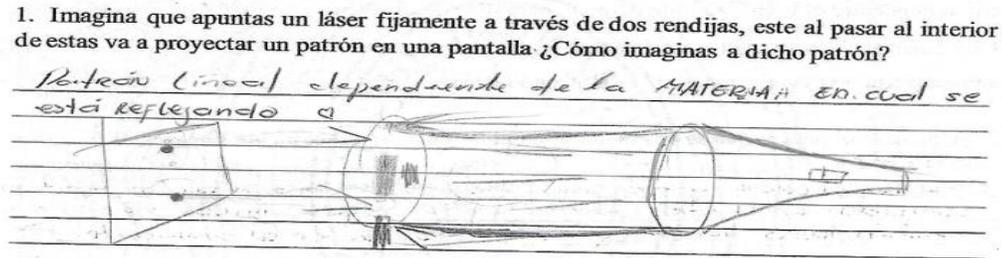
**Esteban:** Entonces sería uno aquí y otro aquí [ver la figura 12 en la cual los estudiantes dibujaron un rectángulo para representar una pantalla y ubicaron allí un par de puntos]. (I4T3)

A continuación, en la figura 13 se muestra la representación gráfica que realizó este grupo de estudiantes en la guía del mismo instrumento.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

**Figura 13**

*Luz láser atravesando una doble rendija (ilustración)*



*Nota.* Respuesta de la cuarta guía de preguntas e ilustración, realizada por el grupo conformado por Nikole y Esteban, en ella representan su consideración inicial sobre como la luz laser pasa a través de una doble rendija (I4T3G4).

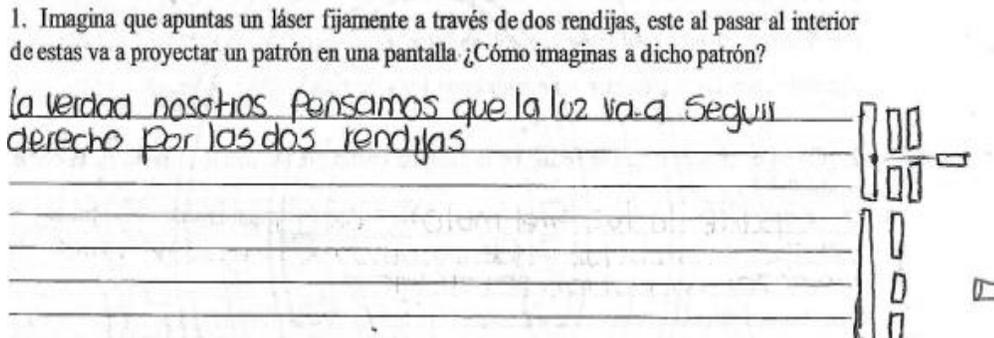
De lo anterior, podemos decir que la concepción inicial de los estudiantes sobre el comportamiento de la luz se enmarca en una perspectiva corpuscular por su idea de la linealidad de la luz. Tal como expresan en su diálogo y en el dibujo, esperan que la luz del láser al incidir a través de una doble rendija forme un patrón de dos puntos en una pantalla posterior. Además, resaltan que cierta parte de la luz queda adherida al obstáculo como si fuese algo que puede quedar sujeto a la materia. Recordamos al lector que este grupo de participantes tenían un conocimiento previo sobre la dualidad onda- partícula de la luz y durante toda la actividad experimental quisieron defender esta postura.

Así mismo, no solamente el grupo que se presentó consideró este comportamiento de la luz, los otros grupos de trabajo respondieron de manera similar haciendo énfasis en el comportamiento rectilíneo de la luz. Veamos por ejemplo la Figura 14 de la guía perteneciente al mismo taller experimental (T3).

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

**Figura 14**

*Respuesta a pregunta de la guía y representación*



*Nota.* Respuesta a la cuarta guía de preguntas e ilustración, realizada por el grupo conformado por Brayan y Camila. En la representación gráfica se plasmó su consideración inicial sobre como la luz laser pasa a través de una sola rendija, aunque, trataron de representar la doble rendija no se evidencia el efecto creado en la pantalla. (I4T3G4)

En el desarrollo de la actividad experimental (T3) del mismo instrumento 4 (I4), se desarrolló un experimento basado en la experiencia de la doble rendija de Young, tal como se expresó en el marco teórico, dicho experimento apoyó el modelo ondulatorio de la luz, dado que esta al incidir a través de dos ranuras produce un patrón de interferencia visto en una serie de bandas oscuras y brillantes; esto es inexplicable desde el modelo corpuscular porque según esta mirada lo que debería formarse son dos franjas de luz al frente de cada rendija.

En este mismo orden de consideraciones, del taller experimental descrito en líneas anteriores, se obtuvo la siguiente unidad de análisis:

**Brayan:** Desde el primer momento vimos que al pasar el rayo por el pelo se observaba era el punto y ya, una vez lo alejamos, pudimos ver un patrón de rayitas, incluso nosotros pusimos dos pelos y se vio como si fuera una crucecita con varias rayitas.

**Investigador C:** Pero ¿qué respondieron en esa primera pregunta?

**Brayan:** Es que nosotros vimos los dos momentos que fue cuando vimos el punto solo, y como estaba tan cerca el láser y eso solo se veía el punto. Una vez lo alejamos

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

ya pudimos ver el patrón de las rayitas que te mostré en la foto [Se muestra a continuación].

**Investigador C:** ¿Ustedes consideran qué eso es una perspectiva desde la física clásica de onda o de partícula?

**Brayan:** Es como cuando lo pusimos en esa cubeta que estaba en su máxima velocidad que uno no veía que se movían las ondas, entonces yo lo vería pues así. Todavía estoy pensando, es que todavía no entiendo cómo se forman esas rayas. (I4T3)

El diálogo anterior se complementa con la figura 15, en donde se aprecia el efecto que el estudiante describe en su intervención.

**Figura 15**

*Experimento de la doble rendija (variación)*



*Nota.* Efecto creado por el grupo de Brayan y Camila al cruzar dos cabellos humanos y apuntar a través de ellos con un laser de luz roja. (I4T3)

En un principio los estudiantes evidencian que cuando proyectan la luz a cierta distancia a través de la rendija se forma el patrón de interferencia al cual denominaron rayitas, se dieron cuenta que su predicción inicial es diferente al efecto que se está generando, como

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

era algo que no esperaban que sucediera, no lograron explicarlo a la luz de los fenómenos ondulatorios tratados con anterioridad, aunque Brayán intenta establecer una relación entre este fenómeno y la cubeta de ondas, no logró una explicación satisfactoria, incluso a partir de la pregunta final, no marca una diferencia entre si es una perspectiva ondulatoria o corpuscular.

Dicho lo anterior, podemos afirmar que la noción de corpúsculo de luz (la idea de la luz como cuerpo rectilíneo) es mucho más intuitiva que la ondulatoria, pues se necesita tener claro los conceptos de difracción e interferencia para explicar el patrón de franjas oscuras y brillantes.

Habría que resaltar también el desarrollo teórico y experimental para la construcción del principio de Huygens, los conceptos de interferencia de Young y el trabajo de Fresnel; para lograr un modelo ondulatorio sólido que pudiera explicar un conjunto de fenómenos ópticos como la difracción, interferencia, entre otros.

Para finalizar la actividad experimental, resaltamos el siguiente fragmento que nos parece interesante.

**Investigador C:** ¿Entonces después de todo esto podemos concluir la luz cómo onda o cómo partícula?

**Nikole:** Como las dos.

**Julián:** Una onda que se comporta como partícula.

**Nikole:** No, como ambas.

**Investigador C:** Pero es que en física clásica es una o es otra, tienen que decidir entre las dos.

**Esteban:** Si tuviera que declinar por una, sería por la onda, por la forma en la cual hemos visto que posee las propiedades que se refleja, y demás (Refracta, difracta, interfiere), viendo que cumple más propiedades como onda que como partícula, desde la física clásica sería como onda. [...]

**Brayan:** Yo me quedo con onda.

**Camila:** Yo también me quedo con onda. (I4T3)

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Como hemos comentado antes, un aspecto interesante es que los estudiantes manifiestan la dualidad onda-partícula de la luz, incluso con la actividad experimental en donde se pusieron en evidencia fenómenos que solo tienen sentido desde una mirada ondulatoria, los participantes mantuvieron su perspectiva y es interesante porque este concepto es esencial en física moderna, sin embargo, insistimos que para comprender la dualidad onda - partícula es necesario reconocer qué significa pensar en términos de cada una por separado y reconocer que la partícula en física clásica no es lo mismo que en física moderna.

Por otro lado, la mayoría de los estudiantes se inclinan por una perspectiva de onda, como lo reconoce Esteban, hay algunas propiedades o fenómenos que se describen mejor desde esta mirada y no desde la corpuscular, por lo tanto, declina y hace la claridad que desde la física clásica la luz se comporta como una onda. Este aspecto nos parece fundamental, porque reconoce que pensar en estos términos implica algunos fenómenos y propiedades de las ondas como la difracción e interferencia que se explican desde esta perspectiva.

Para complementar la idea anterior presentamos a continuación una respuesta (ver figura 16) que dio el grupo de Nikole y Esteban en la guía de trabajo del Instrumento 4 (I4).

**Figura 16**

*Manuscrito de grupo de estudiantes*

4. ¿Según lo que logras observar cómo es el comportamiento de la luz? Es decir ¿Cómo crees que es su movimiento? ¿Depende del color?  
 (la luz es blanca.)  
 El comportamiento de la luz es incierto dado a los experimentos realizados observamos que la luz tiene un desplazamiento ondulatorio al momento de ser interferida por un objeto, sin embargo, en su ausencia viene formada de un resaca que transporta partículas de forma uniforme.

*Nota.* Respuesta dada por el grupo de Nikole y Esteban en la quinta guía de preguntas. (I4T3G4)

Parafraseando las palabras de Nikole y Esteban enuncian que la luz al interactuar con objetos, en el caso de los experimentos desarrollados, tiene un comportamiento ondulatorio,

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

sin embargo, cuando la luz no tiene interacción con la materia para ellos tiene un comportamiento de partículas. La diferenciación que establecen resulta interesante, pues de acuerdo con su interpretación, una perspectiva de corpúsculo podría ser satisfactoria en los casos en donde la luz no interactúa con objetos; consideramos que es una postura clave en lo que significa pensar en términos de onda y partícula.

Para finalizar, en el instrumento 5 (I5) se presentaron las actividades de cierre, allí se propuso responder una serie de preguntas en torno a las actividades planteadas en el proyecto investigativo, se expusieron preguntas tales como ¿Cómo viaja el sonido? ¿De qué manera se comporta la luz? ¿Qué características tiene una onda?

Obteniéndose las siguientes unidades de análisis.

**Esteban:** [...] tenemos también ¿de qué manera se comporta la luz?, analizamos desde el consenso que hizo nuestro grupo, en una primera instancia, desde su movimiento ondulatorio, no obstante, no descartando las ideas o lo que habíamos tenido como discusiones de partículas. [Las] características de la onda: refracción, difracción, interferencia de onda, la longitud, magnitud y pues algunas otras que de pronto se nos escapan. (I5P5)

A su vez el grupo de Brayan y Nikole a las preguntas señaladas responden respectivamente:

**Nikole:** A través de un medio en forma ondulatoria y se expande; de forma corpuscular y ondulatoria; Refracción, difracción, reflexión, amplitud, longitud, frecuencia, interferencia. (I5P5)

Nosotros como investigadores nos percatamos que gracias a la actividad experimental que se llevó a cabo, se generó un cambio conceptual entre las ideas que los estudiantes presentaron al inicio y las que expusieron con mucha más seguridad al final sobre los fenómenos acústicos y ópticos; en sus respuestas se evidenció un discurso mucho más nutrido y sólido para explicar el fenómeno ondulatorio, denotando una mayor comprensión de este, pues declararon que pensar en términos de onda conlleva a identificar ciertas características y fenómenos propios de esta mirada. Para culminar, sobre la luz hubo dos posturas, en el caso del grupo de Esteban a pesar de que reconocieron un carácter corpuscular, enaltecen el

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

comportamiento ondulatorio de la luz, por otro lado, el grupo de Nikole conserva su postura de la dualidad onda-partícula hasta el final.

### **Experimentación y Desarrollo de Pensamiento Crítico.**

En esta categoría se retoma la idea sobre la experimentación en el aula como un proceso para la construcción social de explicaciones que contribuye a desarrollar procesos discursivos y apunta a mejorar la comprensión de los fenómenos (Giraldo, et al. 2017). Lo anterior está en relación con lo planteado por Díaz Barriga (2001), quien establece que el pensamiento crítico tiene que ver con evaluar los argumentos propios y de los demás con el fin de tomar una postura frente al acto comunicativo. La conjunción entre las ideas planteadas nos da a entender que la experimentación es un escenario para el desarrollo del pensamiento crítico.

Los indicios que se identificaron para el análisis de esta categoría se presentan a continuación:

- Establecen conexiones entre significados, denotando una adecuación en sus modos de hablar y de pensar.
- Expone a través de argumentos sus puntos de vista, manteniendo una coherencia en su pensamiento.
- Reconocen críticamente los puntos de vista de los demás, enriqueciendo de esa manera su discurso científico.
- Unifican sus perspectivas dejando de lado diferencias entre sus estilos de pensamiento.

De acuerdo con lo anterior, recordamos al lector que en el instrumento 1 (I1) se propuso la pregunta ¿De qué manera se comporta la luz? En el análisis del cuestionamiento se obtuvieron los siguientes enunciados.

**Johan:** Yo me la imagino simplemente reemplazando como te dije ahorita, no ver la oscuridad como solo algo que hace falta, sino como otro tipo de luz como para poder explicarlo más sencillamente. Porque como donde no hay luz, hay oscuridad, y donde hay luz, hay oscuridad hasta cierto punto, porque si hay una luz en un cuarto

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

completamente blanco y sin objetivos, va a haber por decirlo así 100% luz, pero si hay un objeto detrás de este objeto, hay oscuridad.

**Nikole:** ¿Pero por qué?

**Johan:** Puede ser un reemplazo, [es decir] la oscuridad es otro tipo de luz, porque, por ejemplo, cuando no hay luz esta reemplaza la oscuridad

**Nikole:** No, la oscuridad es la carencia de luz

**Johan:** Por eso, entonces cuando no hay luz ¿qué hay? hay oscuridad.

**Nikole:** No, o sea la luz no llega a todo lado

**Johan:** Yo sé.

**Nikole:** Por ejemplo, los lugares donde nosotros vemos oscuro, lo que te quería explicar ahorita, el gato no lo va a ver oscuro, lo va a ver con mucha luz porque se trata de los fotosensores, entonces, al final la carencia total de luz es lo que es la oscuridad. [Además] lo que es para nosotros oscuridad, o sea [si] vamos a nuestra habitación y nos encerramos, tal vez es oscuridad para nosotros, pero para otros animales no, porque tiene más fotosensores. (IIP1)

En el diálogo anterior identificamos los planteamientos de Paul & Elder (2005), quienes manifiestan que los estudiantes piensan críticamente si se evidencia en sus procesos que intentan persuadirse unos a otros apelando a sus razonamientos. En este caso, se evidenció lo anterior, porque los participantes interpelan las ideas del otro sustentando sus razonamientos a partir de su impresión cotidiana del fenómeno de la luz.

A su vez, se pone de manifiesto un proceso de argumentación que según Leitao (2012) es un proceso de examinación crítica de argumentos divergentes, lo anterior se pone en escena en el momento en el cual, los participantes de la investigación gestionaron una diferencia de opinión y para ello formularon sus razones acerca de lo que consideran sobre la luz, con el fin de apoyar sus puntos de vista y responder a las perspectivas contrarias; poniéndose en evidencia dos argumentos divergentes en un proceso dialógico y dialéctico en los términos que lo propone esta autora.

En el taller experimental del instrumento 3 (I3) como se ha comentado previamente, se desarrolló la placa de Chladni (T2), actividad en la cual se ubica el centro de una placa

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

metálica sobre una base cuya parte inferior se pone sobre un parlante, este emite una serie de sonidos con frecuencias determinadas que crean patrones sobre la superficie de metal cuando se le rocía arena o sal.

En la construcción del instrumento que realizan los estudiantes, la hoja metálica cuando se somete a algunas frecuencias se mueve muchísimo, por lo tanto, se les propuso mejorarlo, obteniéndose la unidad de análisis subsiguiente.

**Investigador C:** Ahora lo que vamos a hacer es optimizar eso, ya sabemos que está vibrando y que mucha parte de la vibración se está perdiendo porque la placa no está fija.

**Juan José:** Solamente es que no se puede alcanzar un equilibrio con una base tan pequeña, si la base fuera más grande, yo pensaría que la placa se desplazaría menos, no de esa manera que se ve que ya se va a caer.

**Investigador C:** ¿Cómo podríamos hacer eso?

**Johan:** ¿Si ponemos el baffle acá? [tomó un tarro de lata para ubicar sobre él la placa metálica]

[Algunos manifiestan que no funcionaría y otros que sí funciona]

**Juan José:** No se va a mover porque la base sería mucho más grande, además como esto ya tiene un hueco por acá casi no va a funcionar, literalmente no va a funcionar.

**Grupo:** Hay que probarlo [Miran los otros materiales e intentan realizar otra construcción]. (I3T2)

Este fragmento y otros durante la implementación de la propuesta, posibilita afirmar que esta clase de experimentación permite a los estudiantes analizar el funcionamiento de cada uno de los materiales del instrumento, así como realizar mejoras para crear ciertos efectos que ellos esperan, en este caso la formación de figuras mucho más definidas sobre la superficie metálica. De esta manera, se resalta el papel del instrumento y la experimentación cualitativa exploratoria en la construcción del conocimiento científico, ya que permite un sin número de variaciones y posibles resultados no previsibles (Steinle, 1997).

Con base en lo anterior, pensamos que la experimentación cualitativa exploratoria conlleva un proceso de mejoramiento y desarrollo del pensamiento crítico, pues permite

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

reestructurarlo a partir del análisis. Basta con mencionar el proceso de los estudiantes en la actividad experimental, en la cual, realizan inferencias para proveer su interpretación y de esta manera construyen explicaciones dotadas de significado y conclusiones referente a la situación que se les presenta. Más aún, consideramos que se evidenció la actividad experimental como un acto de construcción colectiva, en donde, los estudiantes establecen un juicio crítico para evaluar los efectos que van creando. Para nosotros, se pone de manifiesto que en los actos de construcción se piensa crítica y creativamente al mismo tiempo (Paul & Elder, 2005).

En el instrumento 3 (I3) se propuso el cuestionamiento ¿Hay relación entre los patrones que se forman en la placa de Chladni y la situación experimental que propone Galileo? Sí o no ¿Por qué? Cabe aclarar que la situación de Galileo es un sistema pendular con diferentes longitudes de cuerda y masas iguales, a partir del movimiento de dicho sistema el autor establece una analogía con el sonido.

Cuando los estudiantes discutieron en la plenaria (P3) el cuestionamiento previo, se obtuvo los siguientes enunciados:

**Nikole:** Yo sé que es que sí, igual voy a explicar mi punto de vista, porque tal vez me puede ayudar a comprender mejor [Silencio]. Estaba pensando mientras tú hablabas [señalando a Juan José], primero, están a diferente frecuencia, Yo supondría, no tendrían la misma frecuencia para hacer ese tipo de movimiento. Obviamente van a tener relación porque igualmente estamos hablando del mismo fenómeno. Pero no tiene relación cuando se trata de explicar lo que pasó aquí literalmente [En la placa de Chladni] con un montón de bolas de billar [Se refiere al sistema de péndulos con cuerdas de diferente longitud], simplemente en mi cabeza eso, no es posible hacer esas dos relaciones a menos de que sea a través de una frecuencia en la que ya está diferenciada.

**Investigador C:** Me parece muy acertado lo que dices. Entonces ¿te quedas con que tiene relación o no la tiene?

**Nikole:** Tiene relación, pero no es una metáfora literal.

**Investigador C:** Ustedes ¿qué piensan de lo que dijo Nikole?

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

**Johan:** Que tiene razón sobre las frecuencias, es que no está pasando lo mismo, son diferentes cosas, pero sí hablamos de los mismos conceptos. (I3P3T2)

Resaltamos que antes de este diálogo la estudiante no consideró en absoluto que existiese una relación entre el experimento de Chladni y un sistema pendular de diferentes longitudes, empero, al escuchar los argumentos presentados por los demás compañeros, reevaluó su interpretación. Según los estándares de pensamiento crítico expuestos en el marco teórico, los estudiantes piensan críticamente cuando para comprender un tema o un problema de forma clara y precisa, identifican diferentes puntos de vista “con una mente que puede cambiar cuando se enfrentan a un razonamiento mejor que el razonamiento con el que uno comienza” (Paul & Elder, 2005, p.28).

De acuerdo con el marco teórico, para nosotros es muy interesante como el grupo de estudiantes infieren que, aunque se trata de fenómenos muy diferentes entre sí (vibración en una placa metálica y sistema de péndulos con diferente longitud), en ellos se aplican los mismos conceptos, de esta manera, los estudiantes buscan que sus inferencias sean claras, razonables y justificables de acuerdo con el conocimiento que se fue adquiriendo durante la implementación de la secuencia didáctica, además, evalúan las inferencias que realizan los demás sentando una posición frente a ellas.

Así mismo, también podemos denotar que los estudiantes, como pensadores críticos, reconocen el fenómeno ondulatorio con una visión amplia en perspectiva, es decir, flexible y abierta, esto les permite distinguir entre diferentes puntos de vista para no encasillarse en una mirada en particular (Paul & Elder, 2005). Luego, en el intento de resolver los problemas de la actividad experimental, es necesario un pensamiento sólido y coherente sustentado en un acople entre la experiencia y la teoría, lo cual implica los modos de pensar, es decir, la estructura mental de los individuos, quienes poseen información relevante para dar respuestas a los cuestionamientos planteados en la experimentación.

A partir de las consideraciones anteriores y la cualidad flexible y abierta del pensamiento crítico, encontramos una relación con el concepto de razonabilidad de Toulmin (2003) y circulación de pensamiento inter colectiva que plantea Fleck (1986), dado que para el desarrollo de la ciencia existe una disposición al cambio de pensamiento por medio de

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

procesos de comunicación y la búsqueda de mejores argumentos para la explicación de los fenómenos, entendemos que gracias a dicha cualidad es que se crean y se genera nuevas ideas para el desarrollo y evolución del ámbito científico.

Con base en los talleres experimentales realizados, la actividad de cierre del instrumento 4 (I4) fue un juego de roles, en donde se conformaron dos grupos de estudiantes, un grupo asumió el papel de ser los discípulos de Huygens (Esteban, Nikole, Johan y Sebastián) y el otro grupo representó a los aprendices de Newton (Antonella, Emanuel, Julián y Brayan), por lo tanto, cada uno de los grupos defendió la mirada ondulatoria y corpuscular respectivamente. Este debate se gestó a partir de dos fragmentos históricos de Newton (en torno a su modelo corpuscular de la luz) y de Huygens (respecto a su modelo ondulatorio), sumado a las actividades desarrolladas (talleres experimentales, plenarias, guías de preguntas, entre otras).

Otro estándar de pensamiento crítico de acuerdo con el marco teórico se refiere a la habilidad de hacer preguntas, esto lo evidenciamos en todo el proceso investigativo, los participantes realizaron diferentes tipos de cuestionamientos con la intención de comprender y tener claridad sobre lo que estaban estudiando. Tal fue el caso de la siguiente unidad de análisis.

**Esteban:** Pero para que se transmita en un medio y sea percibido ¿Qué movimiento necesita? Uno uniforme o consecuente a una onda para que tú lo puedas percibir.

**Julián:** Ese movimiento uniforme depende de la fuente de donde surge la luz.

**Esteban:** Pero ¿entonces se mueve qué? ¿cómo partícula o [u] onda?

**Julián:** Como partícula porque se mueve como rayos uniformes que se van uniendo, de línea recta.

**Emmanuel:** A parte la partícula se puede detener, tú puedes detener una partícula.

**Nikole:** ¿Por qué en línea recta?

**Julián:** Porque es una partícula, depende del hecho, de la fuente de luz

**Nikole:** Pero si no puedes detener un láser, lo prendes y la luz se expande muy rápido

**Julián:** Eso es por la velocidad de la luz

**Esteban:** ¿Cómo se expande esa velocidad de la luz?

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

**Johan:** ¿Qué tiene que ver la velocidad de la luz en cómo se forma?

**Julián:** Obviamente porque tú no alcanzas a percibir cómo sale cada rayo, por la velocidad de la luz.

**Emmanuel:** Porque rebota.

**Nikole:** Pero si rebota significa qué es una onda

**Emanuel:** No necesariamente es una onda si rebota.

**Emanuel:** La reflexión.

**Julián:** ¿Qué definimos como rebotar?

**Esteban:** Sí, una partícula puede rebotar

**Brayan:** No es necesario que sea una onda para que rebote.

**Julián:** Yo reboté.

**Esteban:** Pero ¿qué es lo que rebota exactamente? Sus vibraciones. (I4G4)

Como se evidencia en el fragmento anterior, los estudiantes dirigen cuestionamientos con el fin de analizar y evaluar tanto su pensamiento como de quien habla, de esa manera comprenden y entienden lo que los demás expresan y además, de acuerdo con sus saberes previos, abren otras posibilidades para discutir otros problemas más complejos.

Del fragmento anterior (además de otros del proceso investigativo), para nosotros es claro que el papel de la experimentación cualitativa exploratoria es fundamental en la adquisición de una comprensión clara de los conceptos e ideas tanto propias como de los demás, de esta manera, estimamos que los estudiantes al hacer preguntas frente a los argumentos del otro grupo, evalúan y buscan defectos en lo expuesto para anticiparse en la construcción de argumentos alternativos mucho más sólidos (Leitao, 2012 & Paul, 1991).

Para culminar en el instrumento 5 (I5), donde se finalizó la implementación de la secuencia didáctica, los investigadores propusimos la siguiente pregunta: ¿Cuáles aspectos resaltan de esta propuesta investigativa? Obteniéndose las siguientes respuestas:

**Johan:** La verdad a mí me gusta mucho porque estos conceptos que podría decirse que son relativamente básicos, la verdad es algo que no se profundiza ni siquiera en los colegios, solo se dice como que es eso, quédense con eso y ya.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

**Esteban:** Yo lo que rescato mucho es la metodología empleada, es decir, el hecho de formar mesas de discusión, que la física se debata, el hecho de debatirla hace que tengamos diferentes puntos de vista y vayamos como construyendo como tal esa concepción de aquello que vamos viendo en nuestro día a día, entonces rescato mucho eso, la oportunidad de aprender a través del debate cotidiano.

**Investigador C:** Muy bien y, por ejemplo, ¿Qué cuestiones mejorarías? ¿Qué comentarios respecto a la forma de hacer las cosas?

**Esteban:** Sería como tal el hecho de mostrar de una manera más consecutiva los experimentos, es decir, como analizar de manera más directa dichos fenómenos. Haber traído, no sé, para presentar las ondas electromagnéticas de pronto algún inventillo fácil de poder hacer y demás, como para que nosotros nos metamos en cómo podríamos construir esos artefactos y poderlo evidenciar, siempre y cuando desde la disponibilidad que tengan y que sea posible.

**Johan:** [...] Porque no es algo difícil ni complejo, ni necesitábamos los grandes artefactos, simplemente, sí se pueden traer algunas cosas, se traen, de igual manera lo explican, lo explican bastante bien, con videos o en el tablero, es fácil y la verdad es muy interesante y puedo decir que he aprendido más en estos encuentros que en clase de física, siempre al final es descomposición de fuerzas y fuerzas, el profesor esas teorías que nos muestra, ni siquiera sabemos si es verdad, él solo las da, pero nunca nos dice como, bueno, les voy a mostrar cómo pasa esto y les traigo algo diferente, pero no, siempre es teoría y ejercicios, es aburrido. (I5P5)

En el fragmento anterior, encontramos otro estándar de pensamiento crítico, parece que los estudiantes comprenden el papel de los conceptos en el pensamiento humano, por ejemplo, Johan da a entender que se debe profundizar en los conceptos y no quedarse únicamente con lo que se ve en la clase, además, parece reconocer que es necesario evaluar (en el sentido de tomar una posición con base en argumentos) los conceptos que utilizan otros, dado que las personas usualmente distorsionan los conceptos para mantener un punto de vista particular (Paul & Elder, 2005).

Por otro lado, Esteban resalta el carácter discursivo y dialógico de la actividad experimental, ya que destacó la potencialidad de la construcción social de conocimiento en

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

conjunción con el intercambio de puntos de vista, incluso para nosotros fue muy interesante porque en el instrumento final, por razones de tiempo, no se realizó la actividad experimental sobre la existencia de las ondas electromagnéticas y en su discurso reclama por la experimentación para evidenciar “de manera más directa los fenómenos”.

Además, es muy interesante cómo los estudiantes sientan una posición frente a la actividad desarrollada y reconocen tanto fortalezas como debilidades, mostrando que tienen autonomía intelectual para determinar si los procesos en los que participa tienen claridad, precisión, imprecisiones, relevancia, entre otros.

Para nosotros es preciso reconocer que en todo el proceso se evidenció la humildad intelectual, la gran mayoría de estudiantes distinguían entre lo que saben y lo que no saben, es decir, examinaron los límites del conocimiento que poseen y desarrollaron una actitud con sensibilidad para aprender temáticas nuevas. Esto conllevó a tener una muy buena disposición para el desarrollo de la propuesta investigativa y además, denotar que hubo un cambio entre las concepciones iniciales y las finales de los participantes (Paul & Elder, 2005).

Es preciso aclarar que nosotros no queremos decir que los estudiantes desarrollaron completamente el pensamiento crítico con la implementación de la propuesta, sino que durante su desarrollo se detectan muchos de los estándares y competencias de pensamiento crítico propuestos por Paul y Elder (2005). Al identificar estas características dentro de nuestro proceso investigativo, nos permitió pensar que la actividad experimental influye notablemente en el desarrollo del pensamiento crítico bajo las características anteriormente señaladas.

### Conclusiones

Usualmente la clase de física se constituye en un escenario en donde se sintetiza y trasmite el conocimiento físico en términos de leyes y teorías, en otras palabras, ese saber está dirigido a la interpretación de enunciados, aplicación de fórmulas y de algoritmos matemáticos para la resolución de “problemas”; no obstante, la enseñanza y el aprendizaje de la física implica considerar la riqueza conceptual de la experimentación, dado que para la comprensión y el estudio de los fenómenos físicos –como es el caso de los fenómenos ondulatorios–, es importante la construcción de experimentos, en ese sentido saber física tiene que ver también con saber experimentar.

En este sentido, los hallazgos del proceso investigativo ponen en evidencia cómo la experimentación se constituye en un recurso importante para articular el desarrollo de habilidades críticas y la comprensión de los fenómenos ondulatorios en la clase de física; de esta manera la actividad experimental es un escenario idóneo para poner en juego las habilidades críticas como la argumentación y la flexibilidad de pensamiento, así como para favorecer la construcción colectiva del conocimiento, pues la organización de la fenomenología implica que el estudiante ocupe un papel activo para la fabricación de explicaciones que le permitan conocer y comprender críticamente la naturaleza del mundo en el que se desenvuelve.

Las cualidades de la experimentación cualitativa exploratoria fueron fundamentales en la consecución de los objetivos y desarrollo de la propuesta, dado que el carácter flexible de los instrumentos permitió a los participantes variar los parámetros experimentales, transformar los montajes y reorganizar la actividad para clasificar conceptos y obtener nuevas explicaciones; de esta forma, se posibilitó que los estudiantes creativamente formularan propuestas para adecuar críticamente los experimentos, procedimientos y afirmaciones. Así, este tipo de experimentación favoreció una dinámica de interacción dialógica y dialéctica entre estudiantes, a fin de la producción de conocimiento científico en torno al fenómeno ondulatorio.

A su vez, en la investigación se dejó ver un reclamo por parte de los estudiantes por una enseñanza de la física conectada a su realidad y cotidianidad, dado que en varios

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

momentos en la Práctica Pedagógica los estudiantes manifestaban inquietudes para intentar entender para qué están estudiando física en la escuela. En ese sentido vemos como una potencialidad de la propuesta, porque tal como se evidenció en los hallazgos y consideraciones de los estudiantes en torno al proyecto, se logra apreciar que se resalta tanto la metodología implementada como las actividades que se llevaron a cabo, lo cual para nosotros denota que le ven mucho más sentido al por qué aprenden física en la escuela.

Es así como la investigación tiene aportes teóricos y metodológicos para la enseñanza, comprensión y contextualización sobre aspectos de los fenómenos ondulatorios, pues las actividades fueron intencionalmente elegidas a la luz del análisis histórico-epistemológico, dado que se identificó episodios experimentales claves que permitieron vincular reflexiones sobre el papel de la experimentación (cualitativa exploratoria en este caso), la construcción del conocimiento científico, el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico tales como la flexibilidad de pensamiento y la argumentación para la comprensión de los fenómenos físicos expuestos.

Desde la perspectiva de complementariedad entre experimentación y teoría, se tomó la historia y la epistemología de las ciencias como eje articulador de toda la investigación, se resaltó así experiencias tales como la analogía entre los fenómenos acústicos y ópticos con las ondulaciones producidas en una cubeta de ondas para el estudio de algunas propiedades del fenómeno ondulatorio como la reflexión, refracción, difracción e interferencia. Además, se propuso la construcción de la placa de Chladni y el experimento de la doble rendija de Young.

Estas actividades permitieron a los estudiantes construir los conceptos de onda mecánica y onda electromagnética, diferenciar entre lo que significa pensar en términos de partícula y onda, además, poner de manifiesto ciertas habilidades de pensamiento crítico a la luz de la experimentación. De esta manera se reconoce un papel indispensable de dicha actividad para la construcción de los fenómenos físicos, la fabricación de efectos en conjunción con un carácter dialógico y dialéctico del escenario experimental, en el cual también es necesario la disposición a la flexibilidad intelectual para la construcción de

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

interpretaciones, explicaciones y de hechos científicos a través de la identificación de regularidades para la clasificación y formulación de conceptos.

En este sentido, las actividades experimentales resaltan la necesidad de resignificar la clase de física, en un espacio o ambiente pedagógico en donde se incorpore necesariamente las reflexiones acaecidas desde la práctica experimental; esto no es un tema de investigación nuevo, no obstante vuelve y se resalta la necesidad de incorporar la experimentación a los diseños curriculares, prácticas pedagógicas y actividades evaluativas, pues en esta investigación se evidencia que favorece el escenario para adquirir nuevos significados, es decir, la posibilidad de comprender el fenómeno ondulatorio y el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico que es un asunto indispensable en la formación de los sujetos.

De acuerdo con los resultados de la implementación de la propuesta pedagógica, al principio se logró entrever que los estudiantes tenían conocimientos previos que sirvieron como base para la estructuración conceptual, es decir, los educandos enunciaban ciertas características del fenómeno ondulatorio que conceptualmente son aceptadas en la física; no obstante, cuando se profundizó sobre esas nociones iniciales se identificó que no había una comprensión de lo que significaba eso que mencionaban. A medida que se avanzó con la implementación se notó apropiación conceptual sobre las ondas y la manera en cómo su discurso se modificó para comunicar sus visiones sobre el fenómeno en cuestión, así mismo se gestó el espacio para que los estudiantes tomaran una posición crítica frente a sus propias explicaciones y las de los demás.

Para finalizar, esta investigación no es una receta para a través de la experimentación desarrollar habilidades de pensamiento crítico y comprender el fenómeno físico ondulatorio, más bien es una propuesta que debe ser adaptada a las circunstancias contextuales de cada institución educativa, así mismo, se propone ciertas actividades experimentales que pueden ser variadas en sus parámetros según la disposición del investigador. Aunque si es preciso resaltar que tiene aportes importantes para la enseñanza de la física y algunas consideraciones que apuntan a la problemática mencionada, empero, es preciso tener en cuenta que es una línea de investigación en la que aún queda bastante por investigar.

**¿Qué Nos Aporta la Investigación a Nuestra Formación Como Maestros en Ciencias?**

A continuación, nos referiremos individualmente sobre lo que nos ha aportado la investigación a nuestra formación como maestros de matemáticas y física.

***Cristian Orozco Valencia.***

Es importante reconocer cómo esta propuesta investigativa aportó a mi formación como maestro de ciencias, específicamente en matemáticas y física. Para ello quiero iniciar contando que en mis primeros años de formación en las áreas mencionadas se me transmitieron de una manera formal y aproblemática, desde una visión de física y matemáticas como algo cuyo uso está relacionado a un tratamiento matemático para la solución de ejercicios. Sin embargo, en los últimos cursos de la carrera, entre ellos todo el proceso de práctica pedagógica y el trabajo de grado, encuentro otro carácter científico, donde sí se privilegia las discusiones de corte histórico, filosófico y epistemológico vinculadas a las reflexiones sobre el quehacer maestro y la enseñanza de las ciencias.

Además, se nos ha hecho énfasis que de acuerdo con la forma en como el maestro de ciencias concibe su saber disciplinar, de esa manera lo va a enseñar; esto me hizo cuestionar sobre el tipo de maestro que quiero ser y me llevó a preguntarme sobre la imagen de matemática y física que quiero construir en mi proceso de formación. Es así como en esta investigación se materializan todas aquellas reflexiones aprendidas sobre la enseñanza de las ciencias, la filosofía de las prácticas experimentales y la perspectiva sociocultural de la historia de la ciencia, he tratado de incorporarlas en el desarrollo de este proyecto y en mi proceso de práctica pedagógica.

Con base en lo anterior, he aprendido y lo tendré en cuenta en mi práctica pedagógica; la importancia que los estudiantes adquieran un papel activo y participen en la construcción de su conocimiento científico, con ello en mente, es necesario que tenga en cuenta que mi papel como maestro es lograr enseñar una imagen de física comprensible y necesaria para los educandos, es decir, transmitiré en mis clases contenidos que resulten adecuados a su contexto conceptual y a sus concepciones de mundo, para ello, es necesario que adopte una mirada de física como actividad, asumiendo el carácter dinámico de esta disciplina y rescatando problemáticas que han posibilitado el desarrollo de la física. Todo lo anterior, en

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

conjunción con las condiciones del contexto sociocultural específico, dado que la física en sí es un problema cultural que puede aportar a la transformación del mundo.

Desde este Trabajo de Grado se tomó en cuenta la importancia de realizar estudios históricos- epistemológicos para repensar lo que se enseña, con el propósito de establecer diálogos con los autores a partir de problemas, resignificando así, los procesos de enseñanza aprendizaje para presentar la ciencia de acuerdo con situaciones problemáticas que favorezcan la idea de que en la clase de física es necesario pensar la forma en cómo organizar los fenómenos de acuerdo con el contexto de actuación.

Así mismo, resalto que como producto de la investigación y por ende de las prácticas pedagógicas, para mí realizar experimentación en el aula es un proceso fundamental que no puede omitirse en los procesos de enseñanza-aprendizaje, dado que como se evidenció en esta investigación es un eje importante para los procesos de formación y se consolida como un recurso esencial en el mejoramiento de las prácticas de enseñanza. Todas estas consideraciones anteriores las tendré muy en cuenta para la cualificación de mi quehacer como futuro maestro y la resignificación de la clase de física y matemáticas que tanto se reclama en el ámbito educativo.

### *Santiago Velásquez Tamayo*

En todo el proceso durante el cual se realizó la implementación, siempre tenía la pregunta de ¿Por qué la enseñanza de la física en los colegios no trasciende más allá de la impartición de conceptos a la luz de formulaciones matemáticas? Esta y otras preguntas nos llevaron a desarrollar una propuesta que diera respuesta a las misma. Fue así, en donde, a medida que se avanzó en los encuentros con cada uno de los estudiantes, se podía evidenciar que era posible hacer una enseñanza diferente de los diversos fenómenos físicos que están programados para el aprendizaje en las escuelas.

Es partir de lo anterior, surge un cuestionamiento ¿por qué no se hace?, dado que es un problema común en diferentes contextos escolares y muchos profesores de física conocen más de una propuesta didáctica para la enseñanza de estos temas a parte de la propuesta de este proyecto investigativo, además, es un aspecto que se ha problematizado muchas veces en los diferentes escenarios de formación docente.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Fue en la práctica académica en donde pude ver parte de la respuesta de este cuestionamiento, pues ésta nos permitió vivir el quehacer docente en el aula. En donde este no solo se tenía el trabajo de “dar una clase”, sino que también tenía diversos papeles en la institución y en el contexto que se desenvolvía, dado que el docente es el puente que conecta la academia no solo con los estudiantes sino con la sociedad en la que este se envuelve; esto hace que el papel del maestro no sea solo una actividad académica sino también social, puesto que las diversas problemáticas que viven los estudiantes fuera de las escuelas se extienden a la misma. Las diferentes dinámicas académicas y sociales influyen en la enseñanza, los planes de trabajo, proyectos investigativos, propuestas didácticas, y demás herramientas desarrolladas por diversos maestros, esto hace que el trabajo docente sea un poco más exigente y complejo.

Por último, creo que, en la enseñanza de la física, la experimentación juega un papel importante en la comprensión de los diferentes fenómenos (como lo resaltamos en este proyecto), su implementación en el aula da resultados positivos en el desarrollo conceptual de los mismos. Pero, no hay que dejar a un lado las diferentes realidades que se viven en la escuela y que estas permean las diversas propuestas académicas. Es entonces en donde asumimos que la enseñanza va más allá de la comprensión de diferentes conceptos a tratar, sino que se vuelve una herramienta fundamental para el desarrollo de los estudiantes como ciudadanos, en donde el profesor tiene un papel activo, complejo y dinámico en el proceso de cada uno de ellos.

### *Claudia Marcela Flórez Ocampo*

En el proceso investigativo y de práctica pedagógica en la Institución Educativa Comercial de Envigado hubo variedad de vivencias que me dejaron un gran aprendizaje, empezando por comprender mejor los procesos que acaecen en una institución educativa, desde algunos roles del gobierno escolar hasta las funciones que debe enfrentar el coordinador de la institución. Fue muy gratificante que los directivos y docentes nos brindaran espacios en donde realizar nuestras observaciones, así mismo, nos dieran algunas orientaciones para hacer cara a los procesos educativos en los que estuvimos inmersos.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Debido a la participación en los espacios, particularmente en las clases de física, se pudo ver que la forma en la que se enseña sigue obedeciendo a patrones tradicionales que dejan de lado lo que se ha adelantado en investigaciones en el campo. Es necesario entonces repensar la enseñanza y la investigación, desde mi sentir, la última debe hacer eco en la primera; se investigan situaciones con el fin de visibilizarlas y buscar una solución que haga del aula de clase un lugar más ameno para el aprendizaje, propicio para la construcción de conocimiento, no solo la reproducción de los conceptos que memorizamos en la universidad y las fórmulas que aprendemos a usar en situaciones particulares.

La experiencia vivida en este lugar, en muchos sentidos ameno y entretenido, deja entrever algunas de las necesidades de las instituciones educativas, así como su afán de velar por un mejor futuro, la formación propuesta en valores y habilidades críticas, actividades que motiven a los estudiantes a permanecer allí y enamorarse del conocimiento, tanto como el esfuerzo de los docentes en ello, considerando entonces las investigaciones educativas y la necesidad de algunas reformas en el sistema.

Considero necesario entonces reflexionar sobre estas situaciones, teniendo en cuenta que al ejercer esta profesión quisiera considerar el producto de diversas investigaciones, para hallar una mejor forma de hacer las cosas, de interactuar con estudiantes y llevarlos a tener nuevas experiencias en el aula, de manera que sean enriquecedoras para quienes participan; así mismo, a partir de esta experiencia y el espacio que pudimos compartir con el grupo de estudiantes en el semillero, fue claro que responden bien a nuevos estímulos, tales como la experimentación, la consecución de mesas de debate y la construcción de conocimiento en conjunto, esto se resume en que al enfrentarse a nuevas experiencias, las cuales sean interesantes para ellos, se tendrán buenas respuestas.

Si bien el punto de vista que expongo aquí responde a una educación idealizada, considero relevante plantear estos aspectos para que, desde pequeños detalles que podamos transformar en nuestra práctica, se vayan configurando nuevos modelos de educación, capaces de abrir posibilidades a una sociedad cada vez más justa.

### **Recomendaciones y Perspectivas de Trabajo**

El pensamiento crítico es un tema amplio y complejo, realmente se seleccionaron solo algunas habilidades de pensamiento crítico y con base en ellas se resaltaron ciertos estándares para focalizar la investigación, por ello, se recomienda continuar en investigaciones a futuro sobre esta línea, dado que puede profundizarse en otras habilidades de pensamiento crítico para lograr ser desarrolladas a partir del proceso de experimentación; podría ser con temáticas diferentes al fenómeno ondulatorio y con la aplicación de diferentes instrumentos para la profundización en elementos sobre la experimentación como articuladora del pensamiento crítico y la comprensión de los fenómenos físicos.

Invitamos a los maestros en formación, maestros en ejercicio, a los miembros de la Facultad de Educación, al grupo ECCE y demás investigadores en el área de educación en ciencias, a continuar con la línea de investigación sobre el desarrollo del pensamiento crítico en las aulas de clase, puesto que es un aspecto importante para la formación de sujetos competentes a las dinámicas que exige el mundo actual, para que puedan incidir en él y aportar a una transformación.

Por último, recomendamos implementar la propuesta pedagógica en otros espacios, desde nuestra experiencia es necesario dedicar mayor tiempo al desarrollo de cada instrumento, algunos por las diferentes dinámicas institucionales no se aplicaron con toda la profundidad que se requería, por lo tanto, sería adecuado reestructurar los instrumentos de acuerdo con un tiempo mayor para abordar e incluir nuevos elementos a la reflexión a la problemática aquí tratada.

### Referencias

- Amelines, P. (2015). *Reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias en la formación de profesores de ciencias naturales: análisis de una propuesta pedagógica sobre el papel de la experimentación en la construcción de explicaciones en torno a algunos fenómenos físicos* [Tesis de maestría, Universidad de Antioquia] <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/6515>
- Amelines, P. & Romero, A. (2017). *La experimentación en el aula. Aportes de la naturaleza de las ciencias*. En A. Romero (Eds). *La experimentación en la clase de ciencias: Aportes a una enseñanza de las ciencias contextualizada con reflexiones metacientíficas* (01 ed., pp. 57-78). Universidad de Antioquia.
- Ayala, M. M. (2006). *Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos*. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições*, 17(1), 19–37
- Ayala, M., Malagón, J. & Sandoval, S. (2013). *La historia en la enseñanza de las ciencias: una relación polémica*. En J. Malagón, M, Ayala & S. Sandoval (Eds). *Construcción de Fenomenologías y Procesos de Formalización: un sentido para la enseñanza de las ciencias*. (01 ed., pp. 21-37). Universidad Pedagógica Nacional.
- Barbour, R. (2013). *Los grupos de discusión en Investigación Cualitativa*. Madrid: Ediciones Morata.
- Berg, R (20 de agosto 2019). *Acústica*. Enciclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/acoustics>
- Chladni, E. (1787). *Entdeckungen über die Theorie des Klanges*. <https://archive.org/details/entdeckungenuber00chla/page/n9/mode/2up?q=Bereich&view=thheater>
- Chladni, E. (2008). *Treatise on Acoustic* (R. Beyer, traducción) Springer. (Obra original publicada en 1794).
- Cisterna, F. (2005). Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. *Theoría - Ciencia, Arte y Humanidades*, 14(1), 61–71.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

- Díaz Barriga, F. (1998). *El aprendizaje de la historia en el bachillerato: procesos de pensamiento y construcción del conocimiento en profesores y estudiantes del CCH/UNAM* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México]
- Díaz Barriga, F. (2001). Habilidades de pensamiento crítico sobre contenidos históricos en alumnos de bachillerato. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, vol. 6, núm. 13. Consejo Mexicano de Investigación Educativa, A.C. Distrito Federal, México.
- Ennis, R. (1985) *A logical basis for measuring critical thinking skills*. Association for Supervision and Curriculum Development. 44-48.
- Ferreirós, J., & Ordóñez, J. (2002). Hacia una filosofía de la experimentación. *Crítica (México D. F. En Línea)*, 34(102), 47–86. <https://doi.org/10.22201/iifs.18704905e.2002.979>
- Fulton, R. (1989). *Critical thinking in adulthood*. Information Analyses, 16. <https://eric.ed.gov/?id=ED320015>
- Galileo, G. (2003). *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias*. Losada, Argentina.
- García, E. (2011). Modelos de explicación, basados en prácticas experimentales. Aportes de la filosofía historicista. *Revista Científica*, 2(14), 89. <https://doi.org/10.14483/23448350.3704>
- Giraldo, Y. (2014). *La actividad experimental en la clase de física y la construcción social de conocimiento. El caso de las escalas termométricas* [Tesis de maestría, Universidad de Antioquia] <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/6520>
- Giraldo, L, Quinto, J & Romero, A. (2017). La medición como medio para la construcción social de conocimiento en el aula. En A. Romero (Eds). *La experimentación en la clase de ciencias: Aportes a una enseñanza de las ciencias contextualizada con reflexiones metacientíficas* (01 ed., pp. 15-31). Universidad de Antioquia.
- Gómez, A. & Flórez, I. (2013). *Fenomenología asociada al ver*. En J. Malagón, M. Ayala & S. Sandoval (Eds). *Construcción de Fenomenologías y Procesos de Formalización: un sentido para la enseñanza de las ciencias*. (01 ed., pp. 105 -133). Universidad Pedagógica Nacional.
- Grimaldi, F. (1665): *Physico-mathesis de Lumine, Coloribus et Iride*. [https://archive.org/details/bub\\_gb\\_D4FRs-dKmxAC/mode/2up?q=natura+lucis](https://archive.org/details/bub_gb_D4FRs-dKmxAC/mode/2up?q=natura+lucis)
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., Méndez Valencia, S. and Mendoza Torres, C., 2014. *Metodología de la investigación*. México, D.F.: McGraw Hill.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

- Huygens, C. (1690) *Treatise on light. Containing the explanation of reflection and of refraction and especially of the remarkable refraction which occurs in Iceland spar.*
- Institución Educativa Comercial de Envigado (2019). *Proyecto educativo Institucional. Envigado.*
- Jorba, J y Sanmartí, N (1994). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de evaluación continua. Propuesta didáctica para las áreas de ciencias de la naturaleza y las matemáticas.* Barcelona. Ministerio de Educación y Cultura.(pp. 28-50).
- Kundt, A. (1866). Ueber eine neue Art Akustischer Staubfiguren und über die Anwendung derselben zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in festen Körpern und Gasen. *Annalen Der Physik und Chemie.* [https://books.google.com.co/books?id=NXMEAAAAYAAJ&pg=RA1-PA497&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=NXMEAAAAYAAJ&pg=RA1-PA497&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Leitão, S. (2013). El uso de la argumentación en ambientes de enseñanza-aprendizaje: un desafío constante. *Uni-Pluriversidad,* 23–37. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/unip/article/view/15151>
- Malagón, J., Ayala, M. & Sandoval, S. (2013). *La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formalización.* En J. Malagón, M. Ayala & S. Sandoval (Eds). *Construcción de Fenomenologías y Procesos de Formalización: un sentido para la enseñanza de las ciencias.* (01 ed., pp. 87-104). Universidad Pedagógica Nacional.
- Merlinsky, G. (2006). *La entrevista como forma de conocimiento y como texto negociado: notas para una pedagogía de la investigación.* *Cinta de Moebio,* 27, 27–33
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia (1998). *Lineamientos curriculares de ciencias naturales* [Archivo PDF]. [https://www.mineduacion.gov.co/1780/articles-339975\\_recurso\\_5.pdf](https://www.mineduacion.gov.co/1780/articles-339975_recurso_5.pdf)
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2001). *Estándares básicos de competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales. La formación en ciencias: ¡el desafío!* [Archivo PDF] [https://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-116042\\_archivo\\_pdf3.pdf](https://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-116042_archivo_pdf3.pdf).
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2015) *Derechos básicos de aprendizaje de ciencias naturales* [Archivo PDF] [https://eduteka.icesi.edu.co/pdfdir/DBA\\_CNaturales.pdf](https://eduteka.icesi.edu.co/pdfdir/DBA_CNaturales.pdf)
- Monsalve, A. y Pérez, E. (2012). El diario pedagógico como herramienta para la investigación. *Itinerario Educativo,* Vol. 26, pp. 117 - 128. <https://revistas.usb.edu.co/index.php/Itinerario/article/view/1406/119>

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

- Newton, J. (1846). *Newton's Principia. The Mathematical Principle of natural philosophy* (A. Motte, Traduc) New York: publicado por D. Adee (Obra Original publicada en 1687).  
<https://archive.org/details/newtonspmathema00newtrich/page/n9/mode/2up>
- Newton, I. (1952). *Opticks or a treatise of the reflections, refractions, inflections, colours of light*. Dover Publications, Inc.
- Park, D. (1997). *The fire within the eye: A historical essay on the nature and meaning of light*. Princeton University Press.  
<https://archive.org/details/firewithineyehis00park/page/n7/mode/2up?q=Historical&view=thheater>
- Paul, R. (1991). Teaching Critical Thinking In Strong Sense. *Developing Minds: A Resource Book for Teaching Thinking*, 77 – 85.
- Paul, R., & Elder, L. (2005). *Guide for educators to critical thinking competency standards: Standards, principles, performance indicators, and outcomes with a critical thinking master rubric*. Foundation for Critical Thinking., 1–66. [www.criticalthinking.org](http://www.criticalthinking.org)
- Pierce, A. (2019). *Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications*. (3 ed). Springer.
- Piñuel, J. L. (2002). Epistemología, metodología y técnicas del análisis de contenido. *Sociolinguistic studies. Sociolinguistic Studies*, 3(1), 1–42.
- Raichel, D. (2006). *The Science and Applications of Acoustics*. (2 ed). Springer.
- Restrepo, C., Guzmán, J. & Romero, A. (2013). La experimentación cualitativa y exploratoria como escenario de procesos argumentativos en la enseñanza de las ciencias En A. Romero, B. Henao & J. Barros (Eds). *La argumentación en la clase de ciencias: Aportes a una educación en ciencias en y para la civilidad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias* (01 ed., pp. 131-163). Universidad de Antioquia.
- Ribe, N., & Steinle, F. (2002). Exploratory experimentation: Goethe, Land, and color theory. *Physics Today*, 55, 43–49. <https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/1.1506750>
- Rodríguez, D. (2018). *Experimentación cualitativa como propuesta para el fortalecimiento de los procesos argumentativos y la construcción de conocimiento científico escolar en básica primaria* [Tesis de maestría, Universidad de Medellín]  
[https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/6275/T\\_ME\\_338.pdf?sequence=2](https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/6275/T_ME_338.pdf?sequence=2)

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

- Romero, A. & Aguilar, Y. (2012). *La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico. Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Romero, A. (2013). *Reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias como fundamento de propuestas de enseñanza: el caso de la experimentación en la clase de ciencias*. En A. Romero, B. Henao & J. Barros (Eds). *La argumentación en la clase de ciencias: Aportes a una educación en ciencias en y para la civilidad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias* (01 ed., pp. 71-98). Universidad de Antioquia.
- Ronchi, V. (1970). *The nature of light: an historical survey*. Heinemann Educational Books Ltd. <https://archive.org/details/natureoflighth00vasc/page/n7/mode/2up?q=heinemann&view=theater>
- Saiz, C., & Rivas, S. (2008). *Intervenir para transferir en pensamiento crítico. Conferencia Internacional: Lógica, Argumentación y Pensamiento Crítico. (Santiago de Chile, 8-11 de Enero de 2008) Universidad Diego Portales. Santiago de Chile., 1-17.*
- Stake, R. E. (2007). *La investigación con estudio de casos*. edición. Ediciones Morata, S. L Mejía Lequica 12. 28004. Madrid
- Steinle, F. (1997). *Entering new fields: Exploratory uses of experimentation. Philosophy of Science, 64(4 SUPPL. 1), 64-74.* <https://doi.org/10.1086/392587>
- Steinle, F. (2003). *¿Experimentos románticos? El caso de la electricidad [Romantic experiment? The case of electricity]. Ciencia y Romanticismo, 4, 185-227.*
- Tobón, E. (2016). *El uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias: una reflexión centrada en la experimentación sobre los fenómenos cromáticos* [Tesis de maestría, Universidad de Antioquia] <http://tesis.udea.edu.co/dspace/handle/10495/4856>
- Toulmin, S. (2003). *Los usos de la argumentación*. Ediciones Península. Barcelona.
- Vohnsen, B. (2004). *A short history of optics. Physica Scripta T, T109(July 2006), 75-79.* <https://doi.org/10.1238/Physica.Topical.109a00075>
- Young, T. (1804). *Experiments and calculations relative to physical optics*. The Royal Society. 1-16. <https://doi.org/10.1098/rstl.1804.0001>
- Zajonc, A. (1993). *Catching the Light: The Entwined History of Light and Mind*. Oxford University Press.

## Anexos

### Anexo 1: Propuesta pedagógica

La experimentación cualitativa exploratoria y su contribución al desarrollo del pensamiento crítico. El caso de los fenómenos ondulatorios en la clase de física.	
Objetivo de Enseñanza:	<p>Reconocer los conocimientos previos de los estudiantes en torno al fenómeno ondulatorio.</p> <p>Reflexionar sobre la importancia del medio en la manifestación de las ondas mecánicas.</p> <p>Identificar las características de las ondas mecánicas, como transición entre la acústica y la óptica.</p> <p>Establecer experimentalmente el comportamiento ondulatorio de la luz en contraposición con una perspectiva corpuscular.</p> <p>Establecer experimentalmente la existencia de ondas electromagnéticas.</p>
Objetivo de aprendizaje	<p>Comparar la naturaleza de la acústica y de la óptica, estableciendo diferencias y semejanzas entre cómo se mueve el sonido y la luz.</p> <p>Comprender el comportamiento de una onda y las características que implica su movimiento de propagación (reflexión, refracción e interferencia) a través de un medio.</p> <p>Reconocer la perspectiva ondulatoria de la luz y del sonido y contraponerla en relación con una perspectiva corpuscular.</p> <p>Diferenciar entre ondas mecánicas y electromagnéticas, problematizando el medio de desplazamiento.</p>
Recursos para la propuesta	<p>En el marco de la propuesta se realizarán 4 actividades experimentales, los materiales requeridos para ello son:</p> <p>Cubeta de ondas.</p> <p>Segunda actividad: Placa metálica, un parlante, sal, una copa de plástico, pegante, celular, cable, base de madera. Fragmento histórico de Galileo Galilei (Relación entre el sonido de las cuerdas y un sistema de péndulos).</p> <p>Tercera actividad: Un trozo rectangular de cartón, cinta adherente, un cabello, un pliego de cartulina negra, laser rojo y laser verde. Fragmento</p>

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

	<p>de Isaac Newton (Sobre la luz como un rayo corpuscular) y Fragmento de Huygens (sobre la luz como una onda)</p> <p>Cuarta actividad: Papel aluminio, bases de madera, alambre dulce grueso, caímanes, un bombillo de neón y un quemador de un encendedor eléctrico.</p>
Acondicionamiento de espacios y tiempos	<p>Se desea trabajar en el laboratorio de física de la Institución Educativa Comercial de Envigado, es un espacio diseñado para la realización de actividades experimentales, dispone de gran espacio físico y muebles que favorecen el trabajo colaborativo. La secuencia didáctica dispone de 4 tipos de actividades de acuerdo con la estructura propuesta por Jorba y San Martí (1994). Para la implementación hemos considerado un total de 7 secciones de 1 o 2 dos horas (Según la disponibilidad y disposición de los estudiantes), en dicho tiempo se realizará la actividad experimental que conlleva responder preguntas por grupos que luego serán socializadas a través de actividades que pretenden que los participantes expongan sus discursos y construyan conocimiento con sus pares.</p>
Niveles de trabajo	<p>La propuesta se puede aplicar en la media académica, es decir, con estudiantes pertenecientes a los grados 10 o 11.</p>
Estándares Básicos	<p>Escucho activamente a mis compañeros y compañeras, reconozco otros puntos de vista, los comparo con los míos y puedo modificar lo que pienso ante argumentos más sólidos.</p> <p>Propongo y sustento respuestas a mis preguntas y las comparo con las de otros y con las de teorías científicas.</p> <p>Saco conclusiones de los experimentos que realizo, aunque no obtenga los resultados esperados.</p> <p>Explico el comportamiento de fluidos en movimiento y en reposo.</p>
Derechos Básicos de Aprendizaje	<p>“Comprende la naturaleza de la propagación del sonido y de la luz como fenómenos ondulatorios (ondas mecánicas y electromagnéticas respectivamente)” p. 37</p>
Contenidos a desarrollar	<p>Acústica, óptica, ondas mecánicas y ondas electromagnéticas.</p>
Introducción	

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

La unidad didáctica está compuesta por 4 fases, se ha construido a partir de la estructura planteada por Jorba y San Martí (1994), quienes enuncian que es necesario considerar en primer lugar las actividades de exploración o de explicitación inicial, en segundo las actividades de introducción de conceptos/procedimientos o de modelización, como tercero las actividades de estructuración del conocimiento y en cuarto las actividades de aplicación. Esta secuencia fue diseñada para problematizar el papel de la experimentación cualitativa exploratoria en el desarrollo del pensamiento crítico.

En ella se puede encontrar algunos episodios experimentales en torno a la acústica, óptica y fenómeno electromagnético. Rescatando los experimentos que en su momento impulsaron la teoría ondulatoria a través de la historia. Por otro lado, se busca que a través de estas actividades se fomente el pensamiento crítico, realizando discusiones en torno a la temática en cuestión, para ello se busca entender la fenomenología de las ondas con el propósito de evidenciar las características que lo componen y en qué situaciones cotidianas estas se pueden evidenciar.

### Descripción General.

Las actividades diseñadas para cada sesión están compuestas de una experiencia física que se llevará a cabo en el aula con los participantes, un fragmento tomado de primera fuente en algunas de ellas y una actividad de socialización, estas actividades serán usadas para recolectar información, además de buscar la participación de los estudiantes.

En la fase uno se propone una actividad diagnóstico para reconocer los saberes previos de los estudiantes, además del nivel argumentativo que disponen al comienzo de la implementación de la secuencia. En la fase dos hay dos actividades; una con relación a las características de las ondas en una cubeta y la otra es un experimento conocido como la placa de Chladni para observar al sonido como onda, acompañado por una actividad para la discusión y argumentación; ambas son actividades de introducción de conceptos. En la fase 3 se dispone de otra actividad experimental conocida como el experimento de la doble ranura, además de la actividad de juego de roles; cumplen el papel de las actividades de estructuración de conocimiento. Por último, en la fase 4, se presenta dos tipos de problemáticas a los estudiantes en donde ellos proponen soluciones de carácter experimental y crítico en torno a la comunicación de sus aprendizajes.

### **Actividades para implementación.**

Secuencia didáctica según Jorba y San Martí (1994)

#### **Fase I.**

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Con esta fase se pretende hacer énfasis en las categorías: Construcción de los conceptos de Onda Mecánica y Onda Electromagnética y Experiencias físicas para establecer diferencias entre la mirada ondulatoria vs mirada de partícula.

Los indicios que esperamos son:

- Establecen conexiones entre significados, denotando una adecuación en sus modos de hablar y de pensar.
- Expone a través de argumentos sus puntos de vista, manteniendo una coherencia en su pensamiento.
- Reconocen críticamente los puntos de vista de los demás, enriqueciendo de esa manera su discurso científico.
- Unifican sus perspectivas dejando de lado diferencias entre sus estilos de pensamiento
- A través de la experimentación cualitativa exploratoria los estudiantes reconocen características sobre lo que significa pensar en términos de onda.
- Los estudiantes utilizan la experimentación cualitativa exploratoria para significar la manera como entienden la idea de partícula.
- Los participantes diferencian entre una mirada corpuscular y de partícula por medio de la actividad experimental

### **Actividad de diagnóstico.**

Objetivo: Reconocer los conocimientos previos de los estudiantes en torno al fenómeno ondulatorio.

En primera instancia se pretende reconocer algunos aspectos sobre el fenómeno ondulatorio, relacionados con el sonido, la luz y la relación con la cotidianidad.

Desde la cotidianidad has tenido mucha relación con fenómenos tales como el sonido y la luz, además con dispositivos electrónicos como celulares, radio, entre otros.

Imagina que estás en la calle y un carro pasa frente a ti, cuando este recorre unos cuantos metros toca su bocina ¿De qué manera se desplaza el sonido que emite el carro hasta nuestros oídos? Explica ¿Qué forma tiene el sonido? Puedes realizar un dibujo.

Considera que te encuentras leyendo un libro muy interesante y cuando estás entre página y página llega la noche. Te encuentras en una etapa donde no puedes parar de leer porque quieres saber qué sucede al final. Para ello enciendes una lámpara que ilumina todo el recinto donde te encuentras. Piensa ¿De qué manera la luz emitida por la lámpara se desplaza hasta iluminar tu libro? Puedes realizar cualquier tipo de representación para explicar dicha situación.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Ubica en el extremo de la mesa un libro (parado sobre su borde inferior). Te piden que derribes ese libro de dos maneras: La primera que involucre una perspectiva ondulatoria y la segunda a través de una mirada de corpúsculo (partícula). ¿Cómo lo harías? Con base en lo anterior reflexiona y responde ¿Cuál es la diferencia entre el movimiento? ¿Hay alguna similitud entre el movimiento representado a partir de estas dos miradas y el movimiento de la luz o el sonido? Si o no ¿Por qué?

¿Hay alguna relación y diferencia entre la manera en cómo llega a nosotros el sonido a como lo hace la luz?

En la siguiente tabla de doble entrada marca con una x según consideres. Estos son algunos de los aspectos que se llevaran a cabo en la implementación.

Temáticas.	No lo tengo claro.	Tengo algunas ideas, aunque no muy claras.	Tengo ideas muy claras al respecto.	Lo sé muy bien y puedo comunicarlo a otros.
¿Cómo viaja el sonido?				
¿De qué manera se comporta la luz?				
¿Qué es una onda mecánica?				
¿Qué es una onda electromagnética?				
¿Qué características tiene una onda?				
¿Cómo se evidencia el fenómeno ondulatorio en nuestra vida cotidiana?				
¿Qué es un medio?				
¿Qué es la dualidad onda-partícula?				

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Los estudiantes que respondan “Lo sé muy bien y puedo comunicarlo a otros” tendrían su oportunidad para hacerlo.

Es importante también conocer cuales temáticas podría añadirse para discutirse según tus intereses. Añade las que consideres pertinentes.

Actividad de socialización.

Cómo la idea no es solo que los estudiantes en una respuesta escrita, sino que hablen, pensamos en una actividad de socialización, esta tiene como objetivo mirar el discurso de cada uno de los estudiantes y la forma que los estudiantes expresan sus ideas. Se llevará a cabo a través de un Padlet, cuyo principal objetivo es incentivar la participación de los estudiantes, después de observar e interactuar en la actividad experimental se desea conocer las opiniones que los participantes tienen al respecto, para ello se tendrán a mano unas notas adherentes de papel y estas se van a ubicar en un pliego de papel periódico que estará ubicado en una de las paredes del aula. Después de que los participantes peguen allí las apreciaciones que tienen respecto a la actividad realizada, se procederá a compartir las reflexiones de los estudiantes sobre la actividad.

### **Fase II.**

Con esta fase se pretende hacer énfasis en las categorías Experiencias físicas para establecer diferencias entre la mirada ondulatoria vs mirada de partícula, Experimentación y desarrollo de pensamiento crítico y Construcción de los conceptos de Onda Mecánica y Onda Electromagnética.

Los indicios que esperamos son:

- A través de la experimentación cualitativa exploratoria los estudiantes reconocen características sobre lo que significa pensar en términos de onda.
- Los estudiantes utilizan la experimentación cualitativa exploratoria para significar la manera como entienden la idea de partícula.
- Los participantes diferencian entre una mirada corpuscular y de partícula por medio de la actividad experimental.
- Establecen conexiones entre significados, denotando una adecuación en sus modos de hablar y de pensar.
- Expone a través de argumentos sus puntos de vista, manteniendo una coherencia en su pensamiento.
- Reconocen críticamente los puntos de vista de los demás, enriqueciendo de esa manera su discurso científico.
- Unifican sus perspectivas dejando de lado diferencias entre sus estilos de pensamiento.
- Establecen conexiones entre significados, denotando una adecuación en sus modos de hablar y de pensar.
- Expone a través de argumentos sus puntos de vista, manteniendo una coherencia en su pensamiento.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

- Reconocen críticamente los puntos de vista de los demás, enriqueciendo de esa manera su discurso científico.
- Unifican sus perspectivas dejando de lado diferencias entre sus estilos de pensamiento.

### **Actividad de exploración inicial.**

Primera parte (previa).

“Características de las ondas”

Para poder comenzar a estructurar la noción de onda, se requiere conocer algunos conceptos y nociones básicas del fenómeno ondulatorio. Por ello, la primera actividad es pedirle a cada uno de los estudiantes que realicen una consulta previa.

Preguntas:

¿Qué es una onda? ¿Qué es un corpúsculo?

¿Cuáles son las características de una onda? (referente a la longitud de onda, periodo, amplitud, frecuencia)

¿De qué se trata la refracción, reflexión y difracción e interferencia en ondas?

Segunda parte.

Para la realización de esta actividad vamos a utilizar una cubeta de ondas, este es un dispositivo para observar las propiedades de las ondas como la reflexión, difracción e interferencia. Así como los tipos de frente de onda. El efecto del fenómeno creado es una perturbación que se propaga por la superficie del agua que es atravesada por luz que proyecta estos patrones en una pantalla. (observa bien el instrumento e identifica cada uno de sus componentes).

Antes de utilizar la cubeta de ondas<sup>21</sup>.

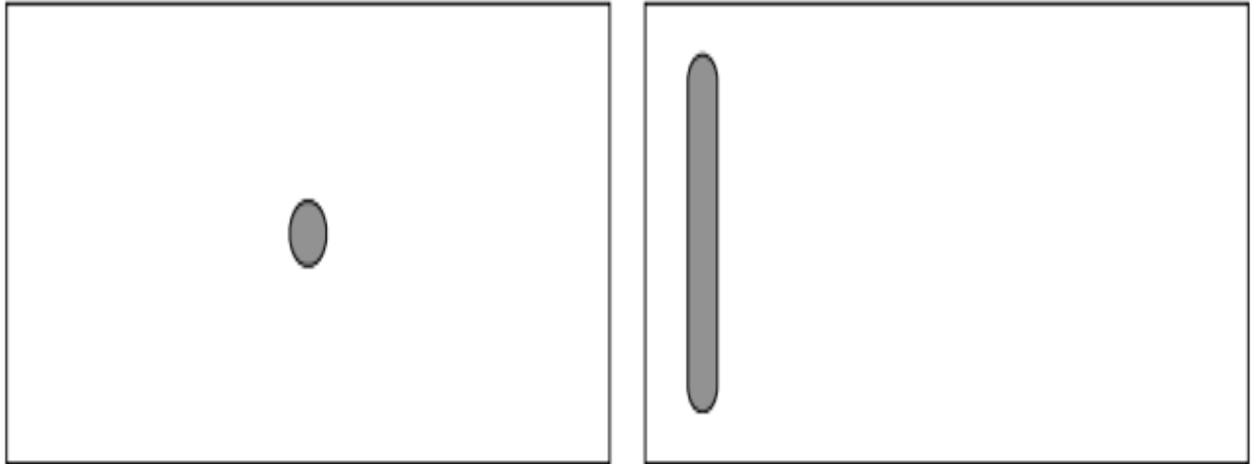
Con base en la consulta y tus conocimientos previos discute con tus compañeros y responde las siguientes preguntas (considera que las siguientes imágenes representan la pantalla de la cubeta de ondas).

Dibuja cómo son los frentes de onda que se producen en cada caso.

---

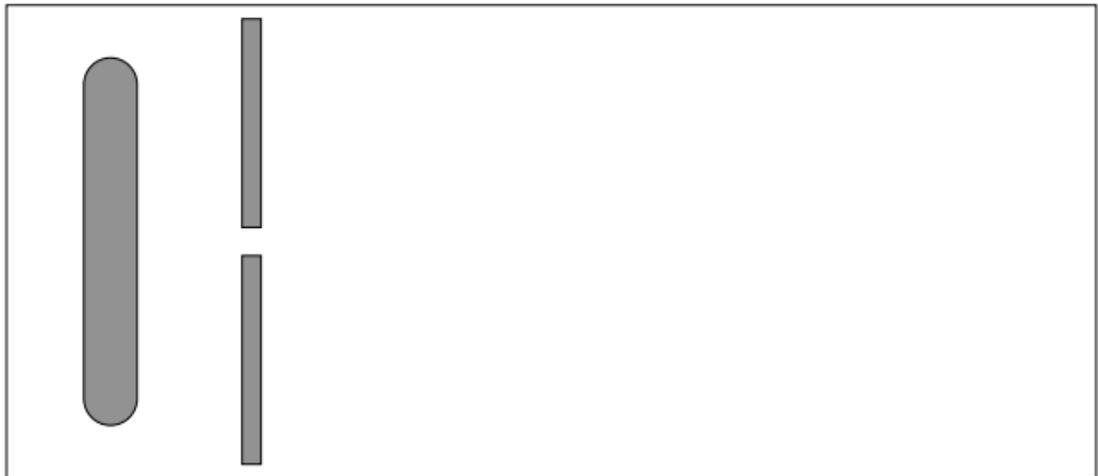
<sup>21</sup> Basado en la guía titulada “Demostraciones de física interactiva” realizada por Alfredo Navarro Lisboa de la Universidad Técnica Federico Santamaría.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS



2. Considera las siguientes situaciones y dibuja qué esperas que suceda.

\* Cuando hay un obstáculo con una sola rendija.



¿Cuáles propiedades de las ondas se puede evidenciar?

---



---



---

\*Cuando hay un obstáculo de doble rendija.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS



¿Cuáles propiedades de las ondas se puede evidenciar?

---



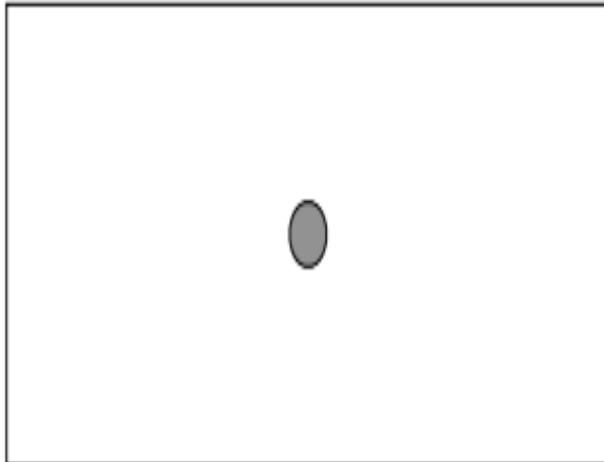
---



---

Al tiempo de que vas realizando la actividad experimental con la cubeta de ondas, compara con tu predicción inicial y dibuja a continuación los efectos que percibes.

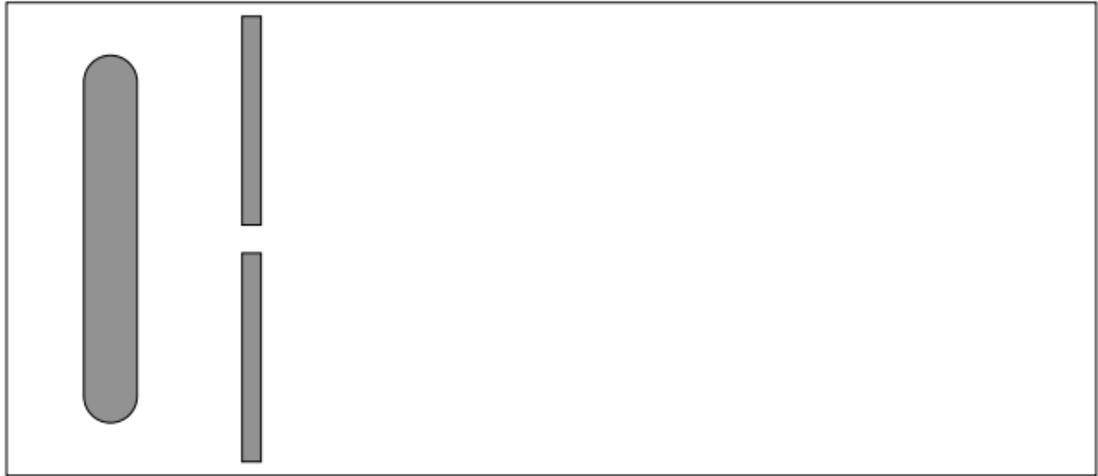
Dibuja cómo son los frentes de onda que se producen en cada caso.



2. Considera las siguientes situaciones y dibuja qué esperas que suceda.

\* Cuando hay un obstáculo con una sola rendija.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS



¿Cuáles propiedades de las ondas se puede evidenciar en este caso?

---



---



---

\*Cuando hay un obstáculo de doble rendija.



¿Cuáles propiedades de las ondas se puede evidenciar?

Para finalizar usando la cubeta de ondas plantea otra disposición diferente a las anteriormente presentadas y trata de explicarla. Puedes realizar un dibujo a continuación.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Escribe una explicación a la luz de las propiedades de las ondas.

---



---



---

**Actividades de introducción de los conceptos y procedimientos necesarios para modelizar la anterior situación.**

**Ondas Mecánicas en el caso de la acústica**

Objetivo: Reflexionar sobre la importancia del medio en la manifestación de las ondas mecánicas.

Actividad 1.

Para realizar esta actividad se debe contar con una placa metálica, sal, una copa de plástico, pegante, celular, cable para conectar el parlante al celular y base de madera.

Explore los materiales e intenta construir una placa de Chladni, puedes tener en cuenta las siguientes recomendaciones, no obstante, puedes plantear otro tipo de diseño con los materiales dispuestos.

Ubica el centro de la placa, con la copa puedes conectar el centro de la placa con la fuente emisora de sonido, luego rocía sal sobre la superficie metálica y explora emitiendo diferentes frecuencias (importante).

Con base en la construcción anterior, discute con tus compañeros sobre las siguientes preguntas (es importante que reflexionen sobre lo que están experimentando).

¿Qué pasa cuando se emiten diferentes frecuencias a través del parlante? ¿Por qué sucede eso?

---



---



---

¿Cuál es el papel de la placa en la formación de los patrones?

---



---

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

¿Según la anterior experiencia cómo puedes describir el movimiento del sonido?

---



---



---

Estas preguntas deben ser discutidas y comentadas en una socialización. Donde los grupos van a hablar y ampliar sus respuestas.

### **Actividad 2.**

En esta actividad se presentará un fragmento de Galileo Galilei a través de un video, el cual ilustra la situación planteada, es decir, el comportamiento de un sistema de péndulos con cuerdas de diferente longitud.

Fragmento de Galileo Galilei.

El siguiente fragmento fue tomado del libro titulado “Diálogos acerca de dos nuevas ciencias” escrito por Galileo Galilei en el año de 1638, en él sustenta los fundamentos de su mecánica como ciencia en contraposición con la física aristotélica. El libro está ambientado en Venecia, Italia. Protagonizado por tres personajes icónicos en las obras de Galileo; Simplicio, Sagredo y Salviati. El primero representa en esta obra el pensamiento inicial de Galileo, el segundo su pensamiento intermedio y el último al Galileo de ese momento.

“Salviati: Ya que tanto te complaces con estas primicias, es forzoso que yo te indique el modo, como también los ojos, no solamente el oído, puedan recrearse, viendo los mismos entretenimientos que el oído siente. Suspende tres bolas de plomo u otros cuerpos pesados semejantes, de tres hilos de diferente longitud, pero tales que, durante el tiempo en el que más largo cumple dos oscilaciones, el más corto haga cuatro y el mediano tres; lo que sucederá cuando el más largo tenga dieciséis cuartas u otras medidas, de las cuales el mediano tenga nueve y el menor cuatro. Alejados todos simultáneamente de la plomada y liberados después, se podrá ver una curiosa danza de estos hilos, con varios entrecruzamientos, pero tales que, a cada cuarta oscilación del más largo, los tres juntos llegarán simultáneamente al mismo término, y después partirán de ahí, para reiterar el mismo periodo. Esta mezcla de oscilaciones es la misma que, efectuada por las cuerdas, da al oído la octava con la quinta en medio. Y si con procedimientos semejantes se van graduando las longitudes de otros hilos, de modo que sus oscilaciones correspondan a los de otros intervalos musicales, pero consonantes, se verán más y más entrecruzamientos, y siempre tales que, en determinados tiempos y después de un número determinado de oscilaciones, todos los hilos (lo mismo si son tres que si son cuatro) coincidan en alcanzar en el mismo instante el término de sus oscilaciones, y en comenzar, partiendo de ahí, otro nuevo periodo.

¿Hay relación entre los patrones que se forman en la placa de Chladni y la situación experimental que propone Galileo? Si o no ¿Por qué?

La pregunta anterior se desarrollará a través de una actividad llamada la puerta de la fortuna. En primer lugar, se preguntará a todos los integrantes si consideran que la respuesta anterior es afirmativa o negativa, las personas que respondan que si se ubicarán en parejas con aquellas que dicen que no. A partir de esto se dará unos minutos para que las personas dialoguen e intenten ponerse de acuerdo y tomar una única decisión ante las dos opciones diferentes. Luego deben explicar por qué tomaron dicha decisión.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Se presenta entonces la siguiente situación:

¿Cuál es la Puerta de la Fortuna?

Se presentan dos puertas cerradas y se dice que detrás de una de ellas hay un premio (ambas puertas van a tener premio). Cada puerta está marcada con sí o con no. El grupo debe tomar la decisión de abrir la puerta según la respuesta. A los grupos se les da el tiempo suficiente para que debatan y acuerden una única solución acompañada de un argumento. La solución y el argumento deberán ser escritos en una hoja.

Luego de ello se planteará las siguientes preguntas ¿cómo llegaron a un acuerdo? ¿Qué argumentos se plantearon para llegar a un acuerdo y elegir la puerta? ¿Hay alguna pareja que no se haya puesto de acuerdo? ¿por qué creen que no pudieron consensuar una respuesta?

### **Fase III.**

Con esta fase se pretende hacer énfasis en las categorías Experiencias físicas para establecer diferencias entre la mirada ondulatoria vs mirada de partícula y Experimentación y desarrollo de pensamiento crítico.

Los indicios que esperamos son:

- A través de la experimentación cualitativa exploratoria los estudiantes reconocen características sobre lo que significa pensar en términos de onda.
- Los estudiantes utilizan la experimentación cualitativa exploratoria para significar la manera como entienden la idea de partícula.
- Los participantes diferencian entre una mirada corpuscular y de partícula por medio de la actividad experimental.
- Establecen conexiones entre significados, denotando una adecuación en sus modos de hablar y de pensar.
- Expone a través de argumentos sus puntos de vista, manteniendo una coherencia en su pensamiento.
- Reconocen críticamente los puntos de vista de los demás, enriqueciendo de esa manera su discurso científico.
- Unifican sus perspectivas dejando de lado diferencias entre sus estilos de pensamiento.

### **Actividad de estructuración de los conocimientos introducidos.**

Objetivo: Establecer experimentalmente el comportamiento ondulatorio de la luz en contraposición con una perspectiva corpuscular.

#### **Primera parte.**

Antes de realizar la actividad experimental.

1. Imagina que apuntas un láser fijamente a través de dos rendijas, este al pasar al interior de estas va a proyectar un patrón en una pantalla ¿Cómo imaginas a dicho patrón?

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

---



---



---

Para esta actividad se dispone de laser verde, laser rojo, pantalla para proyectar el patrón de difracción, un cabello, cartón, cinta adherente, tijeras y bisturí.

2. En tres hojas de papel o cartulina realiza un orificio, luego ubica estas láminas de forma paralela una a la otra y con un pequeño espacio entre ellas (pueden sostenerlas con las manos). Seguidamente apunta un rayo de luz a través de los orificios.

¿Cómo puedes describir a la luz cuando incide a través de los tres orificios y estos coinciden?

---



---



---

¿Qué sucede cuando el orificio de la segunda lámina no coincide?

---



---



---

Orientaciones para la construcción de la doble rendija.

Realiza una pequeña abertura vertical en el trozo de cartón o utiliza la abertura de un CD, seguidamente ubica en el medio el cabello, fijándolo con un trozo de cinta adherente. El láser se ubica en un soporte de tal manera que ilumine directamente a la rendija. Compara la diferencia entre el patrón producido en la pantalla con el láser verde y rojo.

Con base en la actividad experimental anterior reflexiona con tus compañeros sobre las siguientes preguntas (Asignen un relator que recoja las ideas generadas en la discusión).

2. ¿Cómo es el patrón que se forma en la pantalla cuando la luz incide a través de la doble rendija?

---



---



---

3. Compara la respuesta del literal 1 y la del literal 2. ¿Por qué se forma ese patrón?

---



---



---

4. ¿Según lo que logras observar cómo es el comportamiento de la luz? Es decir ¿Cómo crees que es su movimiento? ¿Depende del color?

---

EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

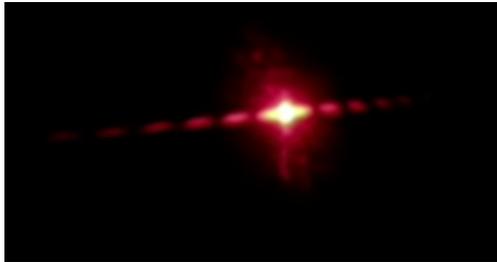
---

---

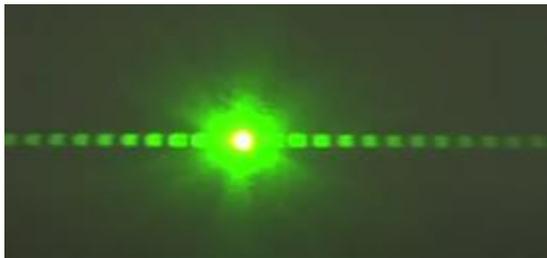
Estas respuestas se van a socializar en una sesión de plenaria, donde los estudiantes pueden comentar sus respuestas y ampliarlas.

A continuación, se presenta una ilustración.

Patrón 1



Patrón 2



Segunda parte.

Esta actividad se van a presentar dos fragmentos históricos de Newton (en torno a su modelo corpuscular de la luz) y de Huygens (respecto a su modelo ondulatorio). Los fragmentos históricos se van a presentar a través de un Podcast y además en formato impreso. A continuación, se presentan.

El primer fragmento fue tomado del libro titulado “Óptica: o un tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz— es un libro escrito por Isaac Newton relacionado con la óptica, publicado por primera vez en el año de 1704 en Reino Unido. El segundo fragmento tomado de la obra “Tratado sobre la luz” escrito por Christian Huygens, quien lo presentó en la Academia Real de Ciencias de Francia en 1678 y luego fue publicado en 1690.

Fragmento de Isaac Newton.

“Por rayos de luz, entiendo sus partes mínimas, y también las sucesivas en las mismas líneas, como sincronizadas en varias líneas. Pues es evidente que la luz consta de partes, sucesivas y simultaneas; porque en el mismo lugar puedes detener lo que viene en un momento y dejar pasar lo que viene inmediatamente después, y al mismo tiempo puedes detenerlo en cualquier lugar y dejarlo pasar en cualquier otro. A esa parte de la luz que se detiene sola sin el resto de la Luz, o se propaga sola, o hace o sufre cualquier cosa sola, que el resto de la luz no hace o no sufre, la llamo rayo de luz”

Fragmento de Christian Huygens.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

“Sabemos que, por medio del aire, que es un cuerpo invisible e impalpable, el sonido se difunde alrededor del lugar donde se ha producido, mediante un movimiento que se transmite sucesivamente de una parte del aire a otra; y que la propagación de este movimiento, que tiene lugar con la misma rapidez en todos los lados, debe formar superficies esféricas cada vez mayores y que golpean nuestros oídos. Ahora bien, no cabe duda de que la luz también llega del cuerpo luminoso a nuestros ojos por algún movimiento impreso en la materia que está entre los dos; ya que, como ya hemos visto, no puede ser por el transporte de un cuerpo que pasa de uno a otro. Si, además, la luz tarda en pasar —que ahora vamos a examinar— se deducirá que este movimiento, grabado en la materia intermedia, es sucesivo; y en consecuencia se esparce, como el sonido, por superficies esféricas y ondas: porque las llamo ondas por su semejanza con las que se ven formarse en el agua cuando se arroja una piedra en ella, y que presentan una sucesiva difusión en forma de círculos, aunque estos surgen por otra causa, y están solo en una superficie plana”

A partir de estos dos fragmentos históricos se realizará un juego de roles.

Un grupo de estudiantes va a actuar como los discípulos de Newton y otro grupo va a actuar como los discípulos de Huygens, con base en los fragmentos anteriores y los conocimientos que vienen estructurando. Un grupo va a defender la perspectiva ondulatoria y el otro va a defender una perspectiva corpuscular de la luz. La idea es que los estudiantes discutan, argumenten y defiendan su postura de la situación conflictiva.

Cuando se encuentren en medio del debate unos con otros y se agoten los argumentos. Proponemos esta pregunta a ambos grupos. ¿El medio es importante para el desplazamiento de la luz?

Claramente se debe estar en actitud dinamizadora por parte de los maestros investigadores para explicar qué es el medio y las dudas que vayan surgiendo en el momento. Esta última discusión orientada en la estructuración de la diferencia entre las ondas mecánicas y las ondas electromagnéticas.

Tercera parte. (Tarea).

Con base en la siguiente pregunta los estudiantes realizaran en sus casas un mapa mental que estructure los conceptos trabajados hasta el momento sobre el fenómeno ondulatorio.

¿Cuál diferencia puedes establecer entre una mirada del comportamiento de la luz como un rayo compuesto por una serie de partes mínimas y la mirada que permite evidenciar el experimento con la doble rendija?

Fase IV.

Con esta fase se pretende hacer énfasis en las categorías Construcción de los conceptos de Onda Mecánica y Onda Electromagnética y Experimentación y desarrollo de pensamiento crítico.

Los indicios que esperamos son:

- Establecen conexiones entre significados, denotando una adecuación en sus modos de hablar y de pensar.
- Expone a través de argumentos sus puntos de vista, manteniendo una coherencia en su pensamiento.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

- Reconocen críticamente los puntos de vista de los demás, enriqueciendo de esa manera su discurso científico.
- Unifican sus perspectivas dejando de lado diferencias entre sus estilos de pensamiento-  
Establecen conexiones entre significados, denotando una adecuación en sus modos de hablar y de pensar.
- Expone a través de argumentos sus puntos de vista, manteniendo una coherencia en su pensamiento.
- Reconocen críticamente los puntos de vista de los demás, enriqueciendo de esa manera su discurso científico.
- Unifican sus perspectivas dejando de lado diferencias entre sus estilos de pensamiento.

### Actividades de aplicación.

Objetivo: Establecer experimentalmente la existencia de ondas electromagnéticas.

#### Primera parte.

Hoy en día el fenómeno de ondas electromagnéticas está muy presente en nuestra vida cotidiana a través de varios de los artefactos tecnológicos que usamos a diario, sin embargo, esto no siempre fue así. Imagina que eres un científico de finales del siglo XIX que se está enfrentando a una de las problemáticas más difíciles de la física de dicho momento histórico. Tú tarea es demostrar la existencia de las ondas electromagnéticas ¿Cómo lo harías? ¿De dónde partirías?

1. Propone una actividad experimental donde demuestres la existencia de las ondas electromagnéticas.
2. ¿Cómo la experiencia que se desarrolló anteriormente resuelve la problemática planteada? (probar que existen las ondas electromagnéticas)

---



---



---

#### Segunda parte.

A partir de las experiencias previas de la implementación y utilizando otras fuentes literarias, responde las siguientes preguntas.

¿Por qué son importantes las ondas electromagnéticas?

---



---



---

¿Cómo se evidencian las ondas electromagnéticas en la cotidianidad?

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

### Segunda actividad.

En relación con las actividades desarrolladas en este proyecto sobre el fenómeno ondulatorio, en la siguiente tabla de doble entrada presenta al frente cada una de las preguntas un argumento (tenga en cuenta que en esta actividad pretendemos realizar una actividad de evaluación).

Temáticas.	Argumentos.
¿Cómo viaja el sonido?	
¿De qué manera se comporta la luz?	
¿Qué es una onda mecánica y una onda electromagnética?	
¿Qué características tiene una onda?	
¿Cómo se evidencia el fenómeno ondulatorio en nuestra vida cotidiana?	

### Tercera actividad de cierre.

Por último, socializaremos de manera verbal las siguientes preguntas:

¿Cuáles son los aprendizajes más relevantes que te quedan del semillero?

¿Cómo podrías aplicar estos conocimientos en tu diario vivir?

¿Qué sugerencias tienes respecto a la consecución de los experimentos o el desarrollo de las sesiones?

### Anexo 2: Protocolo Ético.

#### Protocolo de Compromiso ético y Consentimiento informado para participantes de investigación

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Proyecto de Investigación:	La experimentación cualitativa exploratoria y su contribución al desarrollo del pensamiento crítico. El caso de los fenómenos ondulatorios en la clase de física
Investigadores:	Cristian Camilo Orozco Valencia, Claudia Marcela Flórez Ocampo y Santiago Velásquez Tamayo

**Introducción.**

Estimado padre de familia o acudiente:

Su hijo o estudiante a cargo ha sido invitado a participar en el Proyecto de Investigación, titulado “La experimentación cualitativa exploratoria y su contribución al desarrollo del pensamiento crítico. El caso de los fenómenos ondulatorios en la clase de física”, cuyos investigadores responsables son Cristian Camilo Orozco Valencia, Claudia Marcela Flórez Ocampo y Santiago Velásquez Tamayo, estudiantes de la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia. El objetivo del estudio es analizar cómo la experimentación cualitativa exploratoria contribuye a articular el desarrollo de habilidades críticas y la comprensión de los fenómenos ondulatorios. El estudio se está realizando con estudiantes de la media académica de la Institución Educativa Comercial de Envigado.

**Procedimientos.**

Si al estudiante se le da la autorización para participar en el estudio:

Se le invitará a realizar algunos procedimientos experimentales, la lectura de algunos fragmentos históricos y que responda algunas preguntas en relación con el contenido de los experimentos y los textos.

Le convidaremos, también, a participar en un grupo de discusión, junto con otras personas como él, para conocer sus opiniones y experiencias acerca de las posibles relaciones entre la experimentación cualitativa exploratoria y el desarrollo de pensamiento crítico. Es importante aclarar que no habrá respuestas correctas ni incorrectas, solamente queremos conocer las consideraciones de los estudiantes acerca del tema objeto de estudio.

Si Usted está de acuerdo, la discusión que se dé dentro de este grupo se realizará registros fotográficos y se grabará en audio y video, con la única finalidad de tener registrada toda la información y poder analizarla.

Los encuentros tendrán una duración aproximada de dos horas a la semana en un horario por concretar y se llevará a cabo de manera presencial en el aula de matemáticas de la Institución Educativa Comercial de Envigado.

El estudiante ni usted no recibirán un beneficio directo por la participación en el estudio; sin embargo, si acepta, estará colaborando con la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia y aportando en la cualificación de las propuestas que intentan mejorar la educación en ciencias del país.

Confidencialidad / Devolución de la información

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

La información obtenida en el estudio será de carácter confidencial, y se guardará el anonimato. Esta información será utilizada únicamente por el equipo de investigación del proyecto para el posterior desarrollo de informes y publicaciones en textos de divulgación y en revistas científicas. Aun cuando no podemos garantizar que los otros asistentes al grupo de discusión guarden la confidencialidad de la información que se discuta, se les invitará a que eviten comentarla con otras personas. Para asegurar la confidencialidad de sus datos, el estudiante quedará identificado(a) con un número, o con un seudónimo, y no con su nombre, lo que garantizará el compromiso de los investigadores de no identificar las respuestas y opiniones de los participantes de modo personal. Igualmente, una vez terminado el estudio, se hará un encuentro con todos los participantes para presentar los hallazgos y conclusiones; esto con la intención de recibir sus observaciones y sugerencias, las cuales serán tenidas en cuenta en el informe final.

### Riesgos Potenciales/Compensación

La participación del estudiante en este estudio no involucra ningún riesgo o peligro para su salud física o mental. Los encuentros se realizarán en la misma Institución Educativa Comercial de Envigado. Cabe señalar que si alguna de las preguntas o temas que se traten le hicieren sentir un poco incómodo(a), tiene el derecho de no comentar al respecto. Igualmente, es importante precisar que el Estudiante ni Usted no recibirá pago alguno por participar en el estudio, y tampoco tendrá costo alguno para Usted.

### Participación Voluntaria/Retiro.

La participación del Estudiante en este estudio es voluntaria. Su decisión de participar o no, no afectará sus derechos como estudiante de la Institución Educativa Comercial de Envigado. El participante en este estudio es libre de cambiar de opinión y retirarse en el momento que así lo quiera, sin recibir ningún tipo de sanción; en tal caso, la información que se haya recogido hasta la fecha será descartada y eliminada del estudio.

Cualquier pregunta que desee hacer durante el proceso de investigación podrá contactar a los profesores Ángel Romero y Natalia Muñoz Candamil, adscritos a la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia y asesor de los investigadores, a los correos electrónicos: [angel.romero@udea.edu.co](mailto:angel.romero@udea.edu.co) y [natalia.munozc@udea.edu.co](mailto:natalia.munozc@udea.edu.co)

También se pueden contactar con los investigadores Santiago Velásquez, Claudia Flórez y Cristian Orozco Valencia, respectivamente a los teléfonos 324 570 9430, 3006456341 y 323 490 8655. Así como al e-mail: [cristianc.orozco@udea.edu.co](mailto:cristianc.orozco@udea.edu.co), [claudiam.florez@udea.edu.co](mailto:claudiam.florez@udea.edu.co) y [santiago.velasquez@udea.edu.co](mailto:santiago.velasquez@udea.edu.co)

Agradecemos desde ya su colaboración, cordialmente

Claudia Marcela Flórez, Santiago Velásquez Tamayo y Cristian Camilo Orozco Valencia.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

**Acta de Consentimiento Informado.**

Por medio de la presente, yo \_\_\_\_\_ identificado con cedula de ciudadanía \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_, padre, madre y/o representante legal del menor \_\_\_\_\_, con documento de identidad \_\_\_\_\_, le autorizo participar voluntariamente en la investigación *La experimentación cualitativa exploratoria y su contribución al desarrollo del pensamiento crítico. El caso de los fenómenos ondulatorios en la clase de física*, desarrollada por los investigadores Cristian Camilo Orozco Valencia, Claudia Marcela Flórez Ocampo y Santiago Velásquez Tamayo, estudiantes de la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia.

Declaro haber sido informado/a de los objetivos y procedimientos del estudio y del tipo de participación. En relación con ello, acepto que el estudiante en mención participe en las actividades individuales y en el grupo de discusión, y consiento que se realicen registros fotográficos y grabaciones en audio y vídeo.

Declaro haber sido informado que las fuentes de información como escritos, intervenciones en el grupo de discusión, registros fotográficos, grabaciones de audio y video, se constituyen en bases de datos para los propósitos señalados, y que estos datos que se recojan serán de carácter confidencial y no se usarán para ningún otro propósito fuera de los de este estudio.

Declaro haber sido informado/a que la participación del estudiante no involucra ningún daño o peligro para a su salud física o mental, que es voluntaria, que puede hacer preguntas en cualquier momento del estudio y que puede retirarse del mismo cuando así lo decida, sin que esto acarree perjuicio alguno para él. De igual forma declaro haber sido informado/a que por su participación no tendré ninguna compensación económica.

Declaro saber que la información entregada será confidencial y anónima. Entiendo que la información será analizada por los investigadores en forma grupal y que no se podrán identificar las respuestas y opiniones de cada participante de modo personal.

Declaro saber que la información que se obtenga será guardada por el investigador responsable en dependencias de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia y será utilizada solo para este estudio.

Este documento se firma en dos ejemplares, quedando uno en poder de cada una de las partes.

Nombre del Estudiante	Identificación	Firma

---

Nombre del acudiente	Identificación	Firma

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

---

Nombre del Investigador	Identificación	Firma

Para su constancia se firma a los \_\_\_\_ días el mes de \_\_\_\_\_ del año 2021.

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

## Anexo 3: Matriz de Unidades de Análisis.

Matriz de análisis		
Categorías	Indicios	Unidades de Análisis
<p>Construcción de los conceptos de onda mecánica y onda electromagnética</p>	<p>Consideran que las ondas mecánicas requieren de un medio para desplazarse</p>	<p>Julián: ¿Qué causa que el sonido no se expanda?</p> <p>Investigadora M: ¿En qué sentido?</p> <p>Julián: No sé explicarlo.</p> <p>Esteban: Lo que quiere decir el compañero entonces [es que] el sonido vaya de un punto A a un punto B ¿Cómo es posible que el sonido vaya de un punto A a un punto B</p> <p>?</p> <p>Julián: O que no vaya como en este caso [haciendo referencia al vacío]</p> <p>Brayan: Yo tengo una pregunta ¿Qué nos impide en el vacío? [es decir] ya hay estudios que demuestran que no suena nada y ¿qué impide que no se escuche nada?</p> <p>Investigadora M: Considera una estación espacial [Ejemplificando un lugar donde no hay un medio material]</p> <p>Brayan: Se supone que dentro de la estación si se puede escuchar.</p> <p>Investigadora M: Adentro, pero el caso es afuera de la estación.</p> <p>Brayan: ¿Por qué adentro sí y afuera no? ¿Qué hay adentro que no hay afuera?</p> <p>Investigadora M: ¿Por dónde viaja el sonido?</p>

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Matriz de análisis		
Categorías	Indicios	Unidades de Análisis
		<p>Julián: Por el aire, necesita un lugar por donde viajar, el sonido necesita elementos por donde viajar es lo que no hay en el espacio (Grupos 2 y 3, IIP1).</p>
	<p>Problematizan el por qué las ondas electromagnéticas no requieren de un medio para desplazarse</p>	<p>Johan: Yo hago mi interpretación, si el sonido utiliza un medio para transmitir, la luz utiliza un medio que yo pensaría que sería la oscuridad.</p> <p>Investigador C: ¿Otro medio?            Johan: Sí, no estoy seguro si la luz se utiliza a sí misma como medio para transmitirse.</p> <p>Brayan: La luz no necesita nada para poder transmitirse por así decirlo, en cambio, el sonido sí, porque nosotros podemos hablar en el espacio y nadie nos va a escuchar, pues no se puede escuchar, [en] a cambio la luz ¿cómo es capaz de llegar digamos desde el sol [hasta] acá a la tierra? eso es como la cosa, es como la diferencia.</p> <p>Investigador C: ¿O sea que tú estás planteando que la luz no necesita un medio?            Brayan: Exacto. (Grupo 2 y 3, IIP1Q2)</p>
	<p>Diferencian entre onda mecánicas y ondas electromagnéticas</p>	<p>Antonella: Bueno, ¿qué es una onda mecánica? Una onda mecánica es la que necesita un medio para desplazarse, lo hablamos aquí y la onda electromagnética es un campo eléctrico y uno magnético y los dos oscilan entre sí.</p> <p>Investigador C: ¿Y cómo se diferencian esos dos tipos de onda?            Antonella: Pues que una necesita un medio y en la otra no es tan necesario que ese medio exista para que se pueda desplazar. Bueno, ¿qué características tiene una onda? Lo que hemos visto como refracción, difracción, reflexión y que las ondas chocan con las superficies y ¿cómo se</p>

EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Matriz de análisis		
Categorías	Indicios	Unidades de Análisis
		evidencia el fenómeno ondulatorio? En el wifi, el microondas y los radios, pues así ondulatorio. (I5P5)
Experiencias físicas para establecer diferencias entre la mirada ondulatoria vs mirada de partícula	A través de la experimentación cualitativa exploratoria los estudiantes reconocen características sobre lo que significa pensar en términos de onda	<p>Juan José: Es una fragmentación [Aquí lo interrumpen sus compañeros diciéndole que fragmentarse es una propiedad, no obstante, él desarrolla su idea] Pasa esto, supongamos que acá está un montón de arena, entonces yo pongo el baffle y yo lo pongo amplificado para que me haga, supongamos una x, entonces supongamos por aquí no hay frecuencia, por acá tampoco y por acá tampoco [Esto es una suposición que hace el estudiante imaginándose que en la superficie metálica se formó un patrón en forma de X]. Este material no es como que cuando ya empieza a amplificar directamente llega a estas líneas, sino que si ustedes analizaron bien como es el proceso de desplazamiento, son como pequeños saltos [Saltos de la arena que se rocía sobre la placa] que se van agrupando en las partes donde no hay frecuencia, entonces, ¿qué pasa? La fragmentación, esto aquí se va fragmentando empieza a unirse en las pequeñas líneas donde no hay frecuencia y cuando ya todo el centro está fragmentado queda el pequeño círculo del rastro y queda toda la fragmentación en líneas. [...]</p> <p>Investigador C: ¿Y eso tiene algo que ver con las ondas?</p> <p>Juan José: Claro, lógicamente, las partes que quedan sin arena es donde más ondas</p> <p>había, donde más fuerte llegaba la frecuencia.</p> <p>Investigador C: Entonces ¿Estamos reconociendo que el sonido es un fenómeno ondulatorio?</p> <p>Juan José: Sí. (I3T2)</p>

EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Matriz de análisis		
Categorías	Indicios	Unidades de Análisis
	<p>Los estudiantes utilizan la experimentación cualitativa exploratoria para significar la manera como entienden la idea de partícula.</p>	<p>Nikole: Para derribar una partícula se necesita otra partícula sí o sí, además moverlo con otra partícula, porque un objeto tiene que tocar a otro objeto para poder moverse.</p> <p>[ Johan hace el gesto de que va a lanzar algo]</p> <p>Profesor Ángel: ¿Eso desde una perspectiva de qué?</p> <p>Johan: de onda.</p> <p>Profesor Ángel: ¿Por qué?</p> <p>Johan: No sé.</p> <p>Profesor Ángel: Tú estabas diciendo [ dirigiéndose a Nikole] que para una partícula necesita algo que se ponga en contacto ¿no es lo mismo que estamos haciendo aquí? Cuando Johan arroja esto [un objeto]. (I1P1Q3)</p>
	<p>Los participantes diferencian entre una mirada corpuscular y de partícula por medio de la actividad experimental.</p>	<p>Para finalizar la actividad experimental, resaltamos el siguiente fragmento que nos parece interesante.</p> <p>Investigador C: ¿Entonces después de todo esto podemos concluir la luz como onda o como partícula?</p> <p>Nikole: Como las dos.</p> <p>Julián: Una onda que se comporta como partícula.</p> <p>Nikole: No, como ambas.</p> <p>Investigador C: Pero es que en física clásica es una o es otra ¿Tienen que decidir entre las dos?</p>

EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Matriz de análisis		
Categorías	Indicios	Unidades de Análisis
		<p>Esteban: Si tuviera que declinar por una, sería por la onda, por la forma en la cual hemos visto que posee las propiedades que se refleja, y demás (Refracta, difracta, interfiere), viendo que cumple más propiedades como onda que como partícula, desde la física clásica sería como onda.</p> <p>[...]</p> <p>Brayan: Yo me quedo con onda.</p> <p>Camila: Yo también me quedo con onda. (I4T3).</p>
Experimentación y desarrollo de pensamiento crítico.	Expone a través de argumentos sus puntos de vista, manteniendo una coherencia en su pensamiento	<p>Johan: Yo me la imagino simplemente reemplazando como te dije ahorita, no ver la oscuridad como solo algo que hace falta, sino como otro tipo de luz como para poder explicarlo más sencillamente. Porque como donde no hay luz, hay oscuridad, y donde hay luz, hay oscuridad hasta cierto punto, porque si hay una luz en un cuarto completamente blanco y sin objetivos, va a haber por decirlo así 100% luz, pero si hay un objeto detrás de este objeto, hay oscuridad.</p> <p>Nikole: ¿Pero por qué?</p> <p>Johan: Puede ser un reemplazo, [es decir] la oscuridad es otro tipo de luz, porque, por ejemplo, cuando no hay luz esta reemplaza la oscuridad</p> <p>Nikole: No, la oscuridad es la carencia de luz</p> <p>Johan: Por eso, entonces cuando no hay luz ¿qué hay? hay oscuridad.</p> <p>Nikole: No, o sea la luz no llega a todo lado</p> <p>Johan: Yo sé.</p>

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Matriz de análisis		
Categorías	Indicios	Unidades de Análisis
		<p>Nikole: Por ejemplo, los lugares donde nosotros vemos oscuro, lo que te quería explicar ahorita, el gato no lo va a ver oscuro, lo va a ver con mucha luz porque se trata de los fotosensores, entonces al final la carencia total de luz es lo que es la oscuridad. Lo que es para nosotros oscuridad, o sea vamos a nuestra habitación y nos encerramos, tal vez es oscuridad para nosotros, pero para otros animales no porque tiene más fotosensores. (IIP1)</p>
	<p>Reconocen críticamente los puntos de vista de los demás, enriqueciendo de esa manera su discurso científico.</p>	<p>Esteban: Pero para que se transmita en un medio y sea percibido ¿Qué movimiento necesita? Uno uniforme o consecuente a una onda para que tú lo puedas percibir.</p> <p>Julián: Ese movimiento uniforme depende de la fuente de donde surge la luz.</p> <p>Esteban: Pero ¿entonces se mueve qué? ¿cómo partícula o [u] onda?</p> <p>Julián: Como partícula porque se mueve como rayos uniformes que se van uniendo, de línea recta.</p> <p>Emmanuel: A parte la partícula se puede detener, tú puedes detener una partícula.</p> <p>Nikole: ¿Por qué en línea recta?</p> <p>Julián: Porque es una partícula, depende del hecho, de la fuente de luz</p> <p>Nikole: Pero si no puedes detener un láser, lo prendes y la luz se expande muy rápido</p> <p>Julián: Eso es por la velocidad de la luz</p> <p>Esteban: ¿Cómo se expande esa velocidad de la luz?</p>

## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Matriz de análisis		
Categorías	Indicios	Unidades de Análisis
		<p>Johan: ¿Qué tiene que ver la velocidad de la luz en cómo se forma?</p> <p>Julián: Obviamente porque tú no alcanzas a percibir cómo sale cada rayo, por la velocidad de la luz.</p> <p>Emmanuel: Porque rebota.</p> <p>Nikole: Pero si rebota significa que es una onda</p> <p>Emanuel: No necesariamente es una onda si rebota.</p> <p>Emanuel: La reflexión.</p> <p>Julián: ¿Qué definimos como rebotar?</p> <p>Esteban: Sí, una partícula puede rebotar</p> <p>Brayan: No es necesario que sea una onda para que rebote.</p> <p>Julián: Yo reboté.</p> <p>Esteban: Pero ¿qué es lo que rebota exactamente? Sus vibraciones. (I4G4)</p>
	<p>Unifican sus perspectivas dejando de lado diferencias entre sus estilos de pensamiento.</p>	<p>Nikole: Yo sé que es que sí, igual voy a explicar mi punto de vista, porque tal vez me puede ayudar a comprender mejor [Silencio]. Estaba pensando mientras tú hablabas [señalando a Juan José], primero, están a diferente frecuencia, Yo supondría, no tendrían la misma frecuencia para hacer ese tipo de movimiento. Obviamente van a tener relación porque igualmente estamos hablando del mismo fenómeno. Pero no tiene relación cuando se trata</p>

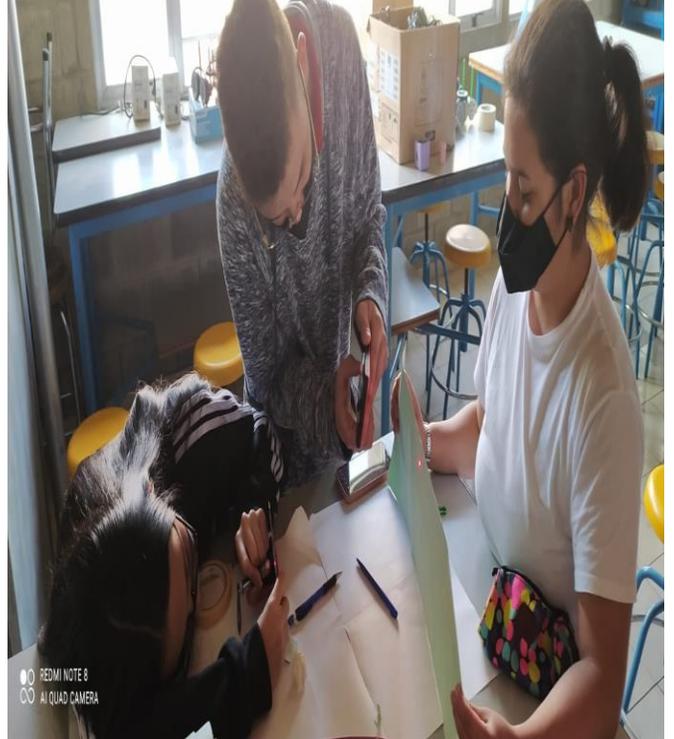
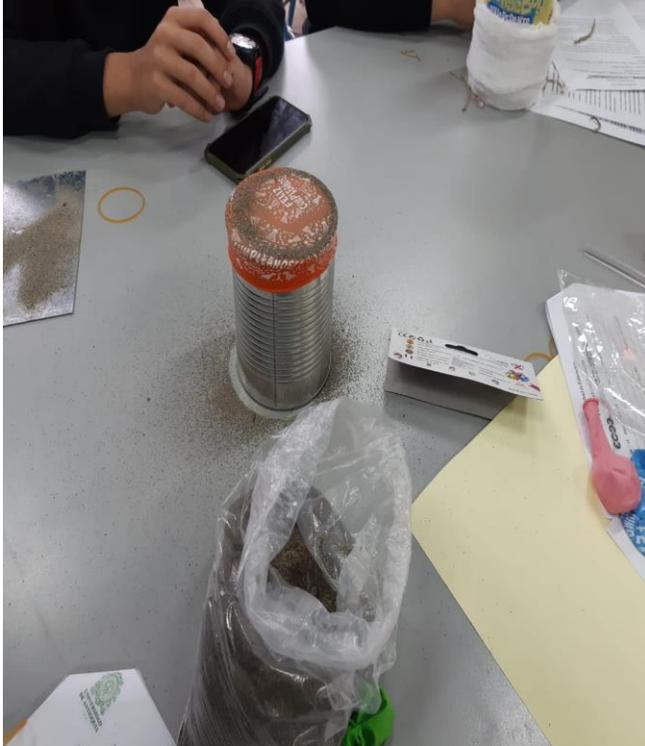
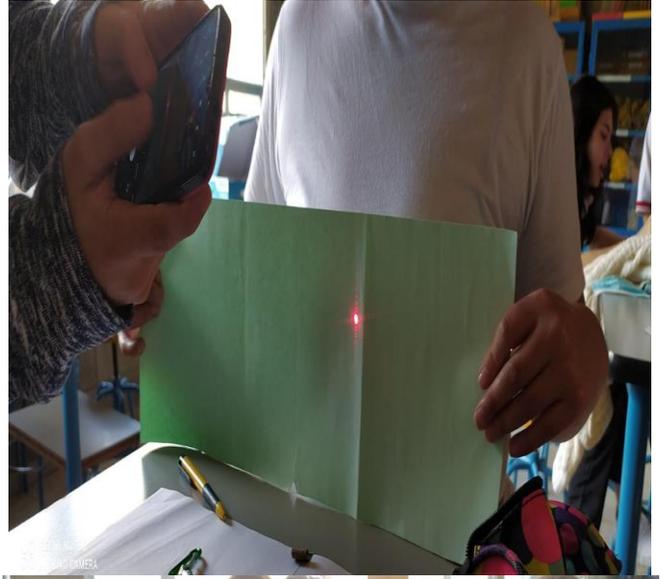
## EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

Matriz de análisis		
Categorías	Indicios	Unidades de Análisis
		<p>de explicar lo que pasó aquí literalmente [En la placa de Chladni] con un montón de bolas de billar [Se refiere al sistema de péndulos con cuerdas de diferente longitud], simplemente en mi cabeza eso, no es posible hacer esas dos relaciones a menos de que sea a través de una frecuencia en la que ya está diferenciada.</p> <p>Investigador C: Me parece muy acertado lo que dices. Entonces ¿te quedas con que tiene relación o no la tiene?</p> <p>Nikole: Tiene relación, pero no es una metáfora literal.</p> <p>Investigador C: Ustedes ¿qué piensan de lo que dijo Nikole?</p> <p>Johan: Que tiene razón sobre las frecuencias, es que no está pasando lo mismo, son diferentes cosas, pero si hablamos de los mismos conceptos. (I3P3T2)</p>

## Anexo 4: Registro Fotográfico.



EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS



EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS



EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS



EXPERIMENTACIÓN Y LOS FENÓMENOS ONDULATORIOS

