

**ESTRATEGIA DE AULA ORIENTADA A LA COMPRESIÓN DEL MODELO  
DUALIDAD ONDA-PARTÍCULA: UNA PROPUESTA PARA ESTUDIANTES DE  
GRADO ONCE**

**CRISTINA ISABEL DÍAZ FAILACH**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
BOGOTÁ, 2014**

**ESTRATEGIA DE AULA ORIENTADA A LA COMPRESIÓN DEL MODELO  
DUALIDAD ONDA-PARTÍCULA: UNA PROPUESTA PARA ESTUDIANTES DE  
GRADO ONCE**

**CRISTINA ISABEL DÍAZ FAILACH**

**Trabajo para optar por el título de licenciado en física**

**ASESORA: SANDRA MILENA FORERO DÍAZ**


**Línea de profundización  
EL COMPUTADOR Y LAS PRÁCTICAS EXPERIMENTALES EN LA ENSEÑANZA  
DE LA FÍSICA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
BOGOTÁ, 2014**

## **AGRADECIMIENTOS.**


*Agradecer es quizás una de las cosas más difíciles de la vida y no porque sea complicado decir la palabra, sino porque son muchas las personas que en nuestras vidas nos ayudan a seguir escalando en las metas que soñamos. Si pudiera escribir todas las personas que me han ayudado a dar este paso, gastaría un sinfín de páginas, pues graduarme no solo implicó este trabajo de investigación, sino todo el camino recorrido desde el inicio de mi carrera, y han sido muchas las personas las que me han ayudado a hacer este sueño posible.*

*Sin embargo y en nombre de todos aquellos que me han ayudado agradezco infinitamente a Dios por permitir que hoy este aquí sentada escribiendo estas palabras, por permitir cada una de las cosas que he logrado en mi vida y por dejarme conocer a cada una de las personas que han dejado huella. Así mismo agradezco a mis padres y mi hermano por darme su apoyo incondicional para llegar hasta aquí, a mi familia adoptiva que no me ha permitido rendirme en los momentos más difíciles, a mi mejor amiga, que en la distancia me ha acompañado en los momentos más felices y tristes de mi vida, a mi asesora, porque hoy puedo decir que gracias a ella me enamore de esta carrera y me apasione por las ciencias, a mis maestros y compañeros de línea que me han hecho sentir como en casa y finalmente a todas aquellas personas en mi vida que de alguna manera han contribuido a cumplir mis sueños.*

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Formación de educadores</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN – RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 5	

<b>1. Información General</b>	
<b>Tipo de documento</b>	Trabajo de grado
<b>Acceso al documento</b>	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
<b>Título del documento</b>	Estrategia de aula orientada a la comprensión del modelo dualidad onda-partícula: una propuesta para estudiantes de grado once
<b>Autor(es)</b>	Díaz Failach Cristina Isabel
<b>Director</b>	Forero Díaz Sandra Milena
<b>Publicación</b>	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2014. 92 páginas
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional
<b>Palabras Claves</b>	Modelo de dualidad onda-partícula, aprendizaje por investigación orientada, trabajo experimental, onda, partícula, comprensión, descripciones.

<b>2. Descripción</b>
<p>Este trabajo de investigación es una propuesta dirigida a los estudiantes de grado once de la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori, ya que fue en esta institución donde se desarrollaron las prácticas pedagógicas y en donde se evidencio la ausencia de temáticas estudiadas por la física moderna en los planes de aula del curso. Luego de revisar algunos artículos como el de Matthews (1994) y el de Moreira y Ostermann (2002), se detectó que esta problemática no era única de esta institución, llevando esto a plantear la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera el trabajo experimental a partir de una serie de experimentos exploratorios y el blog <i>Quantum for Young</i>, orientados hacia la comprensión del modelo dualidad onda-partícula y diseñados bajo algunos de los presupuestos del modelo de aprendizaje por investigación orientada, permiten a estudiantes de grado once de la ENSDMM hacer descripciones alrededor de este modelo de la física moderna?</p>

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Formación de educadores</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN – RAE</b>	
<b>Código: FOR020GIB</b>	<b>Versión: 01</b>	
<b>Fecha de Aprobación: 10-10-2012</b>	<b>Página 2 de 5</b>	

Para resolver esta pregunta se diseñó una estrategia de aula teniendo en cuenta una serie de experimentos exploratorios, un blog teórico en línea y algunos presupuestos del modelo de aprendizaje por investigación orientada.

### 3. Fuentes

Bautista. G., (2009). *Apuntes de cuántica*, Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá- Colombia. Pre-impreso No, 20

Brogie, L. D. (1957). *Continuidad y Discontinuidad en Física Moderna*. Madrid: Espasa-Calpe S.A.

Furio, C., Guisasola, J. (2001). *La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje por investigación orientada*. Innovaciones Didácticas, 320, 321.

Corchuelo, M. (2005). *El aprendizaje de las ciencias como investigación orientada*. Bogotá.

Gregorio, Rodríguez y Gómez (1996). *Metodología de la Investigación Cualitativa*. Granada. Ajibe.


Gribbin, J. (1986). *En busca del gato de Schrödinger. La fascinante historia de la mecánica cuántica*. Barcelona-España: Salvat Editores, S.A.

Sepúlveda, S (2012). *Los conceptos de la física, evolución histórica* (tercera edición). Editorial Universidad de Antioquía. Antioquia-Colombia

Sandoval, S., Ayala, M., Malagón. J., Tarazona, L. (2006), *El experimento en la enseñanza de las ciencias como una forma de organizar y ampliar la experiencia*. Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá-Colombia Bogotá

Hodson, D. (1994). *Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio*. Instituto de Toronto para estudios en educación. Toronto-Canadá

### 4. Contenidos

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Formación de educadores</i>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN – RAE</b>	
<b>Código: FOR020GIB</b>	<b>Versión: 01</b>	
<b>Fecha de Aprobación: 10-10-2012</b>	<b>Página 3 de 5</b>	


Este documento en términos generales está compuesto por seis capítulos; el primero desarrolla el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos propuestos y los antecedentes. En el capítulo dos se presenta por un lado el marco disciplinar que está desarrollado dentro de un marco histórico y conceptual del modelo dualidad onda-partícula y por otro lado el marco pedagógico, en donde se presenta la manera como se concibe la experimentación en esta propuesta y esto se articula con algunos presupuestos del modelo de aprendizaje por investigación orientada. En el capítulo tres se expone la estrategia de aula diseñada para abordar la pregunta problema establecida. El capítulo cuatro contiene dos secciones, en la primera sección se encuentra la metodología empleada en este trabajo investigativo, a saber, la investigación acción participativa (IAP) y en la segunda sección se encuentra una descripción general de la población con la que se implementó la estrategia de aula. El capítulo cinco está dividido en seis secciones, en la primera se realiza una descripción de la primera sesión de la implementación, en la segunda se establecen las categorías de análisis y las restantes secciones presentan los análisis de cada una de las fases diseñadas. Finalmente el capítulo seis es la construcción de las conclusiones en torno a la pregunta de investigación y los objetivos planteados para este trabajo investigativo.

### **5. Metodología**

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se utilizó la metodología de investigación-acción participativa que es una metodología que apunta a la producción de un conocimiento, realizando para ello procesos de debate, reflexión y construcción colectiva (Kirchner,2011), en este caso entre los equipos de investigadores noveles (los estudiantes) y el investigador experto (el docente), para garantizar la elaboración de descripciones de los estudiantes acerca del fenómeno de la física estudiado.


### **6. Conclusiones**

- ✓ La comprensión en este trabajo de grado y como se pudo notar en los análisis está enfocada en dos elementos; por un lado, la relación entre elementos conceptuales y experimentales que hicieron los estudiantes mediante las descripciones de los fenómenos con los que interactuaron a lo largo de la propuesta, y por otro lado las discusiones que se pueden establecer entre los estudiantes y el docente para consensuar una descripción de

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Formación de educadores</i>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN – RAE</b>	
<b>Código: FOR020GIB</b>	<b>Versión: 01</b>	
<b>Fecha de Aprobación: 10-10-2012</b>	<b>Página 4 de 5</b>	

los fenómenos que se aborden tanto en el aula de clases, como en la vida cotidiana. Estos dos aspectos fueron cruciales para que los estudiantes realizaran procesos de creación mental y lograran a través de los elementos ya mencionados tener algún nivel de comprensión del modelo dualidad onda-partícula.

- ✓ Se pudo evidenciar que la totalidad de los estudiantes lograron concluir que la luz debía ser entendida como una dualidad, sin embargo solo tres de los equipos logró dar argumentos en donde recogieran elementos teóricos y experimentales trabajados a lo largo de la propuesta para llegar a dicha conclusión.
- ✓ Las socializaciones después de cada una de las fases trabajadas, fueron elementos indispensables para conocer de qué manera estaban pensando los estudiantes sus descripciones alrededor de los fenómenos trabajados. Fue incluso en estas discusiones que algunos de los estudiantes, permeados por las descripciones y argumentos de los otros equipos cambiaron sus ideas sobre cómo concebían los fenómenos.
- ✓ El diseño del blog teórico, fue una herramienta fundamental para el proceso de confrontación de las ideas aceptadas por la comunidad científica y las elaboradas por los diferentes equipos de estudiantes, esto permitió que en cada una de las socializaciones de las fases, los estudiantes argumentaran desde su trabajo por que dichas teorías y leyes si podían o no dar cuenta del fenómeno observado.
- ✓ Tener en cuenta algunos de los presupuestos del aprendizaje por investigación orientada en la implementación de la estrategia de aula, fue una elección pertinente, pues esto permitió generar procesos de reflexión y discusión, entre los estudiantes de un mismo equipo, entre los distintos equipos, y entre la docente y todos los estudiantes, lo cual fue indispensable para la elaboración de las descripciones realizadas por los estudiantes, de cada experimento exploratorio abordado en la propuesta.
- ✓ Cada fase permitió a los estudiantes tener más elementos conceptuales y experimentales para establecer cada vez mejores procesos de discusión y reflexión alrededor de los

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Formación de educadores</i>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN – RAE</b>	
<b>Código: FOR020GIB</b>	<b>Versión: 01</b>	
<b>Fecha de Aprobación: 10-10-2012</b>	<b>Página 5 de 5</b>	

<p>fenómenos estudiados. Esto se evidenció en la estructura de las descripciones que elaboraban los estudiantes en cada una de las fases.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se hace necesario pensar en rediseñar la actividad del experimento mental en la segunda fase (Fase del fenómeno de refracción), puesto que fue evidente que los estudiantes no la retomaron como un aspecto fundamental para describir la refracción de la luz si suponían que esta estaba compuesta por partículas, razón por la cual tuvieron que recurrir a elementos teóricos de la fase introductoria del blog para dar respuesta a la situación planteada.</li> <li>✓ No es posible afirmar que en el lapso de cuatro sesiones, los estudiantes lograran una comprensión total del modelo de dualidad onda partícula, sin embargo en los resultados obtenidos fue evidente que los estudiantes tienen alguna comprensión sobre dicho modelo y que son capaces de retomar elementos de otras actividades experimentales para dar diversas descripciones desde sus niveles de comprensión.</li> </ul>
--

<b>Elaborado por:</b>	Cristina Isabel Díaz Failach
<b>Revisado por:</b>	Sandra Milena Forero Díaz

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	4	06	2014
--	---	----	------

## Tabla de Contenido

### Contenido

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	3
<b>1.1. Planteamiento del problema</b> .....	3
<b>1.2. Justificación</b> .....	4
<b>1.3. Objetivos.</b> .....	5
<b>1.4. Antecedentes</b> .....	6
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	9
<b>2. Marco Teórico</b> .....	9
<b>2.1. Marco Disciplinar</b> .....	9
<b>2.2. Marco Pedagógico</b> .....	16
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	20
<b>3. Estrategia de Aula</b> .....	20
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	26
<b>4. Metodología</b> .....	26
<b>4.2 Descripción de la Población</b> .....	27
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	29
<b>5.1. Análisis de resultados</b> .....	29
<b>5.2. Descripción de la Primera sesión</b> .....	29
<b>5.3. Características a tener en cuenta en el análisis</b> .....	32
<b>5.4. Análisis de la Fase de Reflexión</b> .....	33
<b>5.5. Análisis de la Fase de Refracción</b> .....	39
<b>5.6. Análisis de la Fase de Final</b> .....	44
<b>5.7. Impacto de la estrategia de aula</b> .....	51
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	53
<b>Conclusiones</b> .....	53
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	55

<b>ANEXOS</b> .....	57
<b>ANEXO 1: Descripción de la Segunda Sesión</b> .....	57
<b>ANEXO 2: Descripción de la Tercera Sesión</b> .....	59
<b>ANEXO 3: Descripción de la Cuarta sesión</b> .....	62
<b>ANEXO 4: TABLA No. 2: Resultados de la Fase de reflexión</b> .....	65
<b>ANEXO 5: TABLA No. 3. Resultados de la Fase de refracción</b> .....	67
<b>ANEXO 6: TABLA No. 4. Resultados de la Fase de final</b> .....	69
<b>ANEXO 7: Documento orientador experimental</b> .....	71
<b>ANEXO 8: Ampliación del marco Disciplinar</b> .....	87

## INTRODUCCIÓN

Matthews (1994) ha venido mostrando en sus investigaciones que la enseñanza de la física ha sido motivo de investigación, ya sea por la rigurosidad de esta materia o por los resultados obtenidos por los estudiantes que están en los cursos en el nivel de bachillerato o universitario. Adicional a lo anterior, la tradición ha sido desarrollar los cursos de física a lo largo de la educación secundaria y media, bajo la consideración de abordar únicamente lo relacionado a la física clásica, dejando a un lado las temáticas estudiadas por la física moderna dado que la premisa de algunos docentes, es que estos temas son complejos para este grupo de estudiantes.

Sin embargo, al revisar la literatura alrededor de la posibilidad de incluir en los planes de estudio de educación media estas temáticas, se ha encontrado estudios como el de Ostermann y Moreira (2000), que muestran que las dificultades en el aprendizaje de la física incluyen la comprensión de aquellos conceptos que de manera sistemática se han venido desarrollando a lo largo de los cursos y que por tanto, la dificultad no se genera solo por lo abstracto o no que se considere el tema a tratar.

La propuesta de este trabajo investigativo, surge vislumbrando las ideas ya presentadas y además por el interés personal de profundizar en el modelo de dualidad onda-partícula. La investigación se orientó hacia el diseño e implementación de una estrategia de aula que permitió no solo al investigador profundizar en la comprensión de este, sino además que al ser llevada al aula para su implementación con estudiantes de grado once, estos realizaron descripciones alrededor del modelo propuesto, que de una u otra manera dan razón de su nivel de comprensión del modelo dualidad onda-partícula.

La estrategia de aula se desarrolló con estudiantes de grado once de la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori (ENSDMM), bajo la dinámica del establecimiento e implementación de una serie de experimentos exploratorios mediados por un blog. Este último buscó que los estudiantes pudiesen contrastar sus reflexiones alrededor de los experimentos exploratorios y los

planteamientos dados por las comunidades científicas. Es pertinente aclarar que tanto los experimentos exploratorios con su respectivo documento orientador, así como el blog son producto de la propuesta de investigación.

De otra parte, el presente informe de investigación está compuesto por seis capítulos; el primero desarrolla el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos propuestos y los antecedentes. En el capítulo dos se presenta por un lado el marco disciplinar que está desarrollado dentro de un marco histórico y conceptual del modelo dualidad onda-partícula y por otro lado el marco pedagógico, en donde se presenta la manera como se concibe la experimentación en esta propuesta y esto se articula con algunos presupuestos del modelo de aprendizaje por investigación orientada. En el capítulo tres se expone la estrategia de aula diseñada para abordar la pregunta problema establecida. El capítulo cuatro contiene dos secciones, en la primera sección se encuentra la metodología empleada en este trabajo investigativo, a saber, la investigación acción participativa (IAP) y en la segunda sección se encuentra una descripción general de la población con la que se implementó la estrategia de aula. El capítulo cinco está dividido en seis secciones, en la primera se realiza una descripción de la primera sesión de la implementación, en la segunda se establecen las categorías de análisis y las restantes secciones presentan los análisis de cada una de las fases diseñadas. Finalmente el capítulo seis es la construcción de las conclusiones en torno a la pregunta de investigación y los objetivos planteados para este trabajo investigativo.

# CAPÍTULO 1

## 1.1. Planteamiento del problema

Existen múltiples factores asociados a desligar las temáticas que se abordan en la física moderna de los cursos de física en la educación media, pero en este trabajo investigativo solo se contemplan dos de ellos como eje fundamental de la problemática:

Por un lado, está el hecho que los docentes de física en los cursos de educación media, se limitan a enseñar la mayoría de temáticas relacionadas con la física clásica, puesto que consideran que otros tópicos como los que se estudian en la física moderna son demasiado complejos para que los estudiantes los comprendan, no obstante, algunas investigaciones en enseñanza de la física han mostrado que la física clásica también es difícil, puesto que al igual que la moderna es abstracta para los alumnos, lo cual los lleva a presentar serias dificultades conceptuales para comprenderla. (Ostermann y Moreira (2000)).

Por otro lado, se evidencia el poco uso del trabajo experimental en las clases de física, y esto se debe en gran medida a que en ocasiones los docentes hacen uso de la experimentación con unos objetivos que la mayoría de veces no terminan cumpliéndose, como por ejemplo la comprobación de formulación de leyes y teorías, o que debe motivar a los estudiantes para divertirse y aprender razón por la cual al no obtener buenos resultados terminan desacreditándolo, y calificándolo como una pérdida de tiempo (Hodson, 1993). Sin embargo, otras investigaciones revisadas (Ferreiros & Ordoñez, 2002) mostraban que no se puede dejar de lado la experimentación, ya que esta se complementa y se construye en conjunto con la teoría. En este sentido, el trabajo experimental para la propuesta de investigación se convierte en un eje fundamental, ya que permite la ubicación del estudiante en un rol diferente al tradicional, dándole protagonismo no solo en su proceso formativo sino que a su vez favorece mostrar de manera natural la relación entre los modelos teóricos y los fenómenos estudiados por dichos modelos.

Partiendo de los anteriores planteamientos, la pregunta problema que dinamizó la investigación es:

¿De qué manera el trabajo experimental a partir de una serie de experimentos exploratorios y el blog *Quantum for Young*, orientados hacia la comprensión del modelo dualidad onda-partícula y diseñados bajo algunos de los presupuestos del modelo de aprendizaje por investigación orientada, permiten a estudiantes de grado once de la ENSDMM hacer descripciones alrededor de este modelo de la física moderna?

## **1.2. Justificación**

Uno de los elementos más influyentes a la hora de abordar un determinado tema en educación en ciencias, es el interés que se pueda tener por el mismo, ya que esto se ve reflejado en el dinamismo que aparece en las intervenciones académicas, de esta manera la vitalidad con la que se desarrollan las diversas actividades escolares, pueden llevar a contagiar a los estudiantes por el gusto por la temática tratada.

Como otro punto de justificación, la revisión de algunos artículos como el de Ostermann y Moreira, (2000) permitió determinar que abordar el modelo dualidad onda-partícula en un curso de física de educación media, posibilitaría despertar la curiosidad de los alumnos y ayudarlos a reconocer la física como una empresa humana y por lo tanto cercana a ellos, así como mostrar a los estudiantes una visión de la naturaleza y el trabajo científico, superando la visión lineal netamente acumulativa del desarrollo científico que impregna los libros de texto, puesto que abordar diversos temas de la física le permite al estudiante tener un abanico de posibilidades para encontrar respuesta a una determinada situación.

Todo lo anterior llevaría a relacionar al estudiante con el mundo en el que vive, mostrándole así que aquellas teorías y avances que se hicieron después de la mecánica clásica están presentes en su cotidianidad, y así mismo poner de manifiesto que aquello que ven en sus clases de física no está desligado de su realidad, sino que por el contrario la compone (Fanaro, 2009). Por otro lado, contemplar el factor disciplinar daría cuenta de las motivaciones que tuvieron los diversos científicos para empezar a realizar nuevas hipótesis y nuevos diseños experimentales, que permitieron la formulación de nuevas teorías al presentarse grandes conflictos con las ya existentes. (Furió, Guisasola, Bautista 2009).

Fundamentados en las inquietudes presentadas en el planteamiento del problema, se consideró contemplar algunos de los presupuestos del modelo de aprendizaje por investigación orientada, para la implementación de la serie de experimentos exploratorios con su respectivo documento orientador y el blog, puesto que este modelo contempla como aspecto esencial la metodología científica, elementos tales como: proponer hipótesis para dar solución a los problemas que se le presenten y abordar experimentos que contrasten las mismas, trabajo en pequeños equipos, búsqueda de información alrededor del problema que se está estudiando y la discusión como una herramienta de reflexión. (Furió, Guisasola, 2009).

En la estrategia que se diseñó para abordar la problemática de este trabajo de investigación, se abordó el modelo de onda y el modelo de partícula de manera independiente, para mostrar a los estudiantes los posibles inconvenientes que puede tener cada uno de los modelos para explicar la naturaleza de la luz. Lo anterior se llevó a cabo mediante una serie de experimentos ubicados en el marco del nivel exploratorio, puesto que este tipo de experimentación, permite al estudiante indagar el fenómeno que está observando y empezar a probar que sucede cuando varía alguno de los aspectos presentes en él (Ferreiros & Ordoñez, 2002), lo anterior es pertinente en la medida en que no se tenía la pretensión que los estudiantes realizaran ningún tipo de medición o tomarán algún dato de los experimentos trabajados, sino que mediante la exploración de dichos experimentos logran discutir y reflexionar sobre lo que observaban para realizar descripciones que pusieran de manifiesto su nivel de comprensión del modelo dualidad onda-partícula.

### **1.3. Objetivos.**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar e implementar una estrategia de aula, a partir de una serie de experimentos exploratorios y el blog *Quantum for Young*, orientados hacia la comprensión del modelo dualidad onda-partícula y diseñados bajo algunos de los presupuestos del modelo de aprendizaje por investigación orientada, que permitan la elaboración de descripciones por parte de los estudiantes de grado once de la ENSDMM.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar una serie de experimentos exploratorios alrededor del modelo dualidad onda partícula, a partir de las teorías corpuscular y ondulatoria, así como un documento orientador para abordar el trabajo experimental.
- Diseñar un blog en línea que contenga los elementos teóricos necesarios para abordar y contrastar el trabajo experimental.
- Implementar la estrategia de aula que contempla la serie de experimentos y el blog con estudiantes de grado once de la ENSDMM.
- Analizar las descripciones realizadas por los estudiantes mediadas por la interacción por los experimentos y el blog, y determinar el alcance de la propuesta.

### **1.4. Antecedentes**

En el transcurso de la presente investigación, se realizó la revisión de diferentes investigaciones que permiten sustentar y apoyar la propuesta que se realiza alrededor del trabajo experimental para la comprensión del modelo dualidad onda partícula, a partir de las descripciones realizadas por los estudiantes de grado once, para ello se tienen en cuenta las acciones, los análisis y las propuestas que se plantearon en cada uno de los proyectos revisados.

De esta manera uno de los trabajos revisados fue el de Aguilar (2007), quien presenta bajo el modelo del aprendizaje significativo una serie de recursos experimentales, dentro de los cuales incluye: un sistema de rendijas, un disparador de partículas y un oscilador electromecánico, considerados como materiales a bajo costo para utilizarlos en algunas experiencias prácticas, que tenían como objetivo la construcción del concepto de dualidad onda-partícula. Debido a que en el proyecto de investigación no se realiza una implementación, el autor concluye a manera de logros los resultados obtenidos, afirmando que aunque los montajes se establecieron de manera satisfactoria, existieron muchas dificultades técnicas, sin embargo admite que se alcanzó el objetivo al establecer una estrategia de enseñanza del concepto de dualidad mediante los dispositivos experimentales.

Por otro lado, Fernández (2010) se centró en aproximar a los estudiantes mediante una metodología cualitativa-interactiva, a concepciones alternativas de conceptos como tamaño, dualidad de la materia y el principio de superposición de estados, mediante analogías y algunos montajes experimentales como: osciladores acoplados, cubetas de ondas, el experimento de la doble rendija, videos, experimentos mentales, entre otros. Fernández establece su propuesta como pertinente al momento de abordar las temáticas alusivas a la mecánica cuántica, resaltando que el propósito fundamental era lograr aproximar a los estudiantes a concepciones alternativas de algunas nociones cuánticas relacionadas con los conceptos ya mencionados. Su trabajo investigativo concluye, que este tipo de experiencias permiten llevar al aula de clases temas alusivos a la física moderna, recurriendo a procesos del pensamiento como la imaginación, que permitan a los estudiantes aceptar objetos del conocimiento que no están asociados a su experiencia sensible. Por otro lado, afirma que la inclusión de temas como el ya mencionado en el aula, lleva al docente a ser un agente generador del conocimiento, lo cual es fundamental en el proceso de formación académica de los estudiantes, al igual que el poder fomentar una cultura investigativa entre los estudiantes.

Continuando por la misma línea de Fernández, se revisó el trabajo realizado por Forero (2002), que aunque no se centra en el fenómeno particular del modelo dualidad onda-partícula, si propone una serie de guías para abordarlo, teniendo en cuenta algunas de las reflexiones que se pueden llevar a cabo en los cursos de física de secundaria, alrededor de las comprensiones de los modelos que se establecen para el estudio de la luz que esta intrínsecamente relacionado con el modelo a tratar en este trabajo investigativo. Forero aborda el modelo de enseñanza-aprendizaje por investigación, para llevar al aula su propuesta, ya que argumenta que en el aprendizaje de las ciencias, el estudiante debería ser asumido como un científico nobel y el docente como un experto.

De esta manera Forero logra concluir que el currículo se debe concebir como un proceso de investigación que está en constante cambio. Por otro lado afirma que es necesario incluir en los planes de estudio temas relacionados con física moderna, que le muestre a los estudiantes relaciones entre su entorno exterior e interior a la escuela. Finalmente la autora reconoce que el modelo de enseñanza-aprendizaje por investigación permite que los estudiantes sean conscientes de su propio proceso de formación académica.

Así mismo y guardando alguna relación con los dos trabajos mencionados con anterioridad, se encuentra el trabajo investigativo de Serrano (2013), quien diseña dentro del marco del modelo de aprendizaje por investigación orientada, una secuencia de enseñanza para la comprensión del fenómeno de la luz, en donde retoma las ideas planteadas por Newton y por Huygens como la guía base de todo el trabajo investigativo para explicar el comportamiento del fenómeno en mención. Este proyecto investigativo retoma algunos de los presupuestos del modelo de aprendizaje por investigación orientada, y los implementa a la hora de abordar el marco disciplinar, de esta manera Serrano logra llegar a una conclusión similar a la de Forero, reconociendo que el modelo de aprendizaje por investigación orientada involucra al estudiante en la construcción de su propio conocimiento a través de la experiencia.

Finalmente los trabajos revisados terminan siendo un soporte para la presente investigación, puesto que permite retomar elementos cruciales tanto teóricos como experimentales que soportan la propuesta que en este proyecto se realiza. Así por ejemplo de la investigación de Aguilar se pueden retomar algunas de las ideas planteadas en su construcción de recursos experimentales, que están relacionados de hecho con algunos materiales que propone Fernández, sin olvidar que este último realiza unos procesos adicionales además de una implementación que ofrece una idea estructurada de cómo puede ser llevado a cabo el proceso de ejecución del plan propuesto en el aula de clases. Por otro lado Forero y Serrano, mediante el uso del modelo de aprendizaje por investigación orientada aplicada a una serie de guías, logran obtener prometedores resultados, que pueden brindar elementos a esta investigación a la hora de elaborar el documento orientador que está fundamentado en el mismo modelo de aprendizaje que las autoras utilizaron en sus proyectos.

## CAPÍTULO 2

### 2. Marco Teórico

#### 2.1. Marco Disciplinar

El modelo dualidad onda-partícula presenta una idea revolucionaria para la física, puesto que postula que todas las partículas tiene propiedades de onda y que todas las ondas tienen propiedades de partículas. Esa afirmación está a la base de una modelación teórica y matemática que se desarrolló paulatinamente entre los siglos XVII y XIX, sin desconocer con esto que en siglos anteriores algunos filósofos naturales dedicaron gran parte de sus estudios a investigar que era y de que estaba compuesta la luz. Es por lo anterior que el estudio del fenómeno de la luz está a la base de la propuesta que se desarrolla en esta investigación, y para la cual se pretende partir de dos caminos que estuvieron muy marcados en la historia de la física a la hora de explicar la naturaleza de tan asombroso fenómeno; el modelo de onda y el modelo de partícula.

Inicialmente se podría decir que existen dos opciones para abordar el modelo dualidad onda-partícula, la primera está enmarcada en toda la estructura conceptual que fundamenta la explicación de la naturaleza de la luz desde las perspectivas corpuscular y ondulatoria, y la otra se encuadra en la construcción matemática que realizaron los científicos para explicar la dualidad de la materia. Teniendo en cuenta que la propuesta que se presenta en esta investigación está dirigida a estudiantes de grado once de la ENSDMM, el abordar el modelo dualidad onda-partícula desde los constructos matemáticos no es una opción pertinente para estudiar el fenómeno. No es de esta propuesta demostrar si los estudiantes tienen o tendrán todas las bases necesarias y suficientes para poder comprender el modelo matemático.

Es por las razones presentadas que se consideró adecuado la construcción conceptual del modelo dualidad onda-partícula, abordándolo desde las construcciones que se hicieron a lo largo de la historia en los marcos del modelo de onda y el modelo de partícula, por lo cual es necesario presentar dichas ideas contrastando los inconvenientes que presenta cada una para explicar la naturaleza de la luz.

En la actualidad, se sabe que toda la materia atómica (protones, neutrones, electrones, entre otras) tienen un comportamiento dual, sin embargo para llegar a esa “simple” conclusión pasaron siglos enteros, en los que diversos científicos investigaron y ahondaron en los diferentes fenómenos que se presentan en el comportamiento de la luz, la cual se estudió profundamente hasta el siglo XVII, momento en el cual se constituye la óptica. No obstante, antes de esta fecha, ya se había intentado entrar en el estudio del mundo de la luz, pues filósofos como Pitágoras y Platón concebían que la luz, estaba formada de pequeñas partículas (corpúsculos) que viajaban en línea recta desde los ojos hasta el objeto y que la visión de dicho objeto se producía cuando las partículas emanadas chocaban contra el objeto, aunque algún tiempo después Epicuro de Samos supuso que la luz era emitida por fuentes luminosas como el sol o las estrellas y se reflejaba en los objetos para entrar en los ojos. Así mismo, Aristóteles planteó ideas que son precedentes a la construcción del modelo ondulatorio. Por otro lado Kepler también realizó contribuciones importantes en la óptica con su análisis de la visión, considerando en ella, que cada punto de un cuerpo luminoso o iluminado que este ubicado dentro del campo visual emitirá rayos rectilíneos de luz en todas las direcciones. ( de la Peña, 2004)

Es difícil escribir con exactitud un año en el cual se comenzó a estudiar exactamente este fascinante fenómeno de la naturaleza, pero aun así se pueden recoger varios momentos históricos importantes que son la base de la historia de la luz y su desarrollo conceptual, y es aproximadamente en el siglo XIX que se encuentran y se exponen grandes desarrollos del fenómeno de la luz, por ejemplo en el año 1800, el astrónomo Wilhelm Herschel realizaba un experimento para responder a la pregunta de cómo se distribuía el calor que proporciona la luz solar en sus componentes de diferentes colores, para ello descompuso un haz de luz solar con un prisma, colocando termómetros en los distintos colores y uno de referencia en la zona no iluminada después del color rojo, curiosamente el termómetro que marco una mayor magnitud fue el de la zona no iluminada, y así Herschel descubrió un tipo de luz diferente a la del espectro visible que evidentemente es una luz que no se puede ver, pero que como él mismo lo decía se puede sentir, ya que es “*una luz que calienta*”, en la actualidad este fenómeno se conoce como “luz infrarroja”. Fue este descubrimiento el que dio apertura a otros espectros diferentes al visible, como el de la existencia de la luz ultravioleta, descubierta un año después de Herschel por Johann Ritter.

En el periodo en el que surge el gran debate de la naturaleza de la luz, se presentaron dos claras y contrarias concepciones alrededor de tan enigmático fenómeno; una de ellas pretendía que la luz estaba formada por corpúsculos en movimiento, es decir que esos fenómenos luminosos se debían al transporte de diminutas partículas con grandes velocidades, mientras que la otra teoría estaba fundamentada en la idea que la luz se propaga en el espacio como una onda análoga a las que se propagan por el aire o en medios materiales que dan lugar a los fenómenos sonoros. Sin embargo, esta concepción necesitó involucrar un medio por donde se transportaran las ondas, el cual fue nombrado como *éter*, el cual penetraba todos los cuerpos y servía como transporte a las ondas luminosas (Luis de Broglie, 1957).

Estas dos concepciones de las que se habló anteriormente, estuvieron enmarcadas en tres de los fenómenos más simples de la óptica: la reflexión, la refracción y la propagación de los rayos luminosos en línea recta<sup>1</sup>. Una de las ideas está estructurada en los trabajos de Descartes y en los de Newton, quien escribió un tratado de óptica en el que planteó que la luz estaba compuesta de corpúsculos, puesto que para él no habría otra forma de explicar la propagación rectilínea de la luz, por otro lado explicó el fenómeno de reflexión como una analogía de una pelota que rebota contra una pared, afirmando que esta característica era única de las partículas, así mismo hace referencia a la explicación del fenómeno de refracción de la luz, aseverando que la teoría corpuscular era la que más se ajustaba a este fenómeno, puesto que para el caso del fenómeno de refracción, los corpúsculos se movían con mayor rapidez en la sustancia que tuviera mayor densidad óptica. (Sepúlveda (2012), Luis de Broglie (1957), Gribbin (1986)).

De otro modo, la teoría que proponía el comportamiento de la luz como una onda se basaba en los trabajos e ideas del físico Holandés Christian Huygens, quien ratificaba, que dichos fenómenos (reflexión y refracción.) también se podían explicar desde la teoría ondulatoria, Huygens asumía contrariamente a Newton que las ondas viajaban a menor velocidad en las sustancias con menor densidad óptica, y con esta afirmación pudo proponer las leyes de la reflexión y la refracción. Sin

---

<sup>1</sup> Si el lector desea profundizar sobre los fenómenos de reflexión y refracción de la luz, se puede dirigir al anexo número 8 titulado: *Ampliación del marco disciplinar*.

embargo y a pesar de sus esfuerzos, la teoría ondulatoria no recibió mayor atención en los siglos XVII y XVIII particularmente por el gran auge de los trabajos de Newton para esta época.

Después de la muerte de Newton, la óptica se relegó a un segundo plano, solo hasta comienzos del siglo XIX se abordó nuevamente esta rama de la física, con los trabajos del físico inglés Thomas Young, quien a través de su investigación, logra concluir que los fenómenos luminosos que se presentan en la naturaleza se podían explicar desde la teoría ondulatoria, es decir suponiendo que la luz es una onda que se propaga en el espacio. Para sustentar lo anterior realizó diferentes experimentos, el primero de ellos en 1803, que consistía en enviar luz a través de una apertura muy pequeña dirigida hacia una pantalla, en donde podía observar que se producía una mancha luminosa compuesta de bandas alternas entre luz y sombra. Este experimento es conocido como fenómeno de difracción, que ya había sido observado con anterioridad por el matemático Italiano Francesco Grimaldi, quien acuñó el término de difracción. Young al retomar este experimento afirmó que si la luz es un fenómeno ondulatorio, entonces debía observarse en él otra de las características de las ondas, y es el fenómeno de interferencia, por lo cual realizó un segundo experimento, uno de los más trascendentales en la historia de la luz y de la óptica; el experimento de la doble rendija, que consiste en hacer pasar luz por una pantalla que solo permite el paso por un agujero, garantizándose así que solo un rayo de luz incida sobre una segunda pantalla que contiene dos rendijas que muestran en una tercera pantalla un patrón de interferencia, demostrando así el carácter ondulatorio de la luz ( de la Peña, 2004 ).

Sin embargo y a pesar de todas sus investigaciones, la teoría de Young no fue aceptada por un largo tiempo por los investigadores ingleses, debido al peso científico de Newton en su país. Años más tarde Agustín Fresnel y Dominique François Arago confirmaron la teoría ondulatoria de la luz. Inicialmente Fresnel se interesó por los problemas de la luz, y sin saberlo reprodujo los experimentos que Young ya había realizado, por su parte Arago continuaba dudando de la naturaleza ondulatoria de la luz y solo hasta la lectura de los artículos de Fresnel, se inquietó por comprender este fenómeno, encontrándose con los trabajos de Young, los cuales le permitieron mostrarle a Fresnel que sus experimentos ya habían sido estudiados, marcando así una nueva fase a sus investigaciones. Fue entonces cuando Fresnel se dedicó a desarrollar la correspondiente teoría matemática, en la cual estuvo de acuerdo con Young en considerar las ondas de luz, como

ondas transversales y no longitudinales como lo había afirmado Huygens, en esta teoría matemática Fresnel logra explicar la razón por la cual las ondas luminosas no se propagan en el espacio de la misma manera como lo hacen las ondas en la superficie del agua.

En este punto de la historia, la teoría corpuscular lograba explicar los fenómenos de propagación rectilínea de la luz, pero no los fenómenos ondulatorios observados, es decir que solo quedaba aceptar la perspectiva ondulatoria elaborada por los científicos que ya se han venido desarrollando a lo largo del capítulo. Sin embargo, quedaba aún por resolver el problema del éter, ya que como lo había planteado Young, la luz debería considerarse como ondas transversales en el vacío y el éter que debía ser un medio tan sutil como para no producir ningún efecto perceptible en los movimientos de los planetas, no podría ser el medio para la propagación de una vibración transversal, que necesitan de rigidez para propagarse. ( de la Peña, 2004)

El problema del éter, fue solucionado finalmente cuando se llevaron a cabo los estudios sobre electricidad, que iniciaron con los estudios de Alessandro Volta alrededor de la pila, con los fenómenos magnéticos de Oersted, con la ley de Ampere y los experimentos que la describen. Trabajos que fueron retomados por Michael Faraday, quien con sus ideas abrió el camino para la industria eléctrica. Pero cabe preguntarse qué tiene que ver todo esto de la electricidad con la pregunta histórica sobre la naturaleza de la luz, pues bien, todas las investigaciones mencionadas, fueron retomadas por James Clerk Maxwell para determinar que la luz es un fenómeno electromagnético. (de la Peña, 2004)

Maxwell se interesó a temprana edad por los fenómenos luminosos, cuando conoció el prisma de Nicol, este tipo de encuentros lo llevaron en su juventud, a construir un aparato para verificar la teoría de los tres colores de Young. Años después y por problemas de salud, se retiró de la docencia en varias y prestigiosas instituciones, y retomó sus estudios electromagnéticos y ópticos, inventando así la lente conocida como *el ojo de pescado*. Así y en su interés por los fenómenos eléctricos y magnéticos, fue que retomó los trabajos de Faraday, determinando la estrecha relación entre los fenómenos eléctricos y magnéticos y se dispuso a teorizarla matemáticamente. Para ello Maxwell considero que además de la corriente usual, que se considera como los electrones circulando por un conductor, existía una corriente de desplazamiento en los medios dieléctricos

(tal como podría ser el éter) que sirven como un medio a las ondas transversales. Cuando calculo la velocidad de dichas ondas, encontré que estas correspondían a velocidades muy cercanas a las de la luz, y de esta manera, pudo determinar que la luz consistía en ondulaciones transversales del mismo medio en que se asientan los campos eléctrico y magnético. (de la Peña, 2004)

Aún en la teoría de Maxwell, no se resolvía el problema del éter, ya que Maxwell estableció finalmente que lo que vibraba era el éter mismo, pero por lo menos y hasta ese momento se decía que la luz visible era una onda electromagnética, del mismo tipo que las radiaciones ultravioletas, las infrarrojas e incluso las de radio, las cuales no se abordaran en este capítulo ya que no son fundamentales para el propósito del trabajo de investigación.

Por otro lado y retomando el camino histórico de la naturaleza de la luz, cabe mencionar a uno de los físicos más destacados en la historia de la física, y sobre todo en la mecánica cuántica; Max Planck, quien estudio el problema de la radiación de cuerpo negro, que la física clásica no había podido resolver y que se encontraba en contradicción con la teoría de Maxwell. Así Planck, logra formular la ley de *Distribución de Planck* que describe la radiación de cuerpo negro, siendo enunciada únicamente bajo la consideración de que la radiación no puede contener cualquier cantidad de energía, sino que la energía de la radiación de una determinada frecuencia, tenía que estar distribuida en pequeños paquetes, que son los famosos llamados *Cuantos de energía*, y fue a partir de su trabajo experimental con el fenómeno de radiación de cuerpo negro, que Planck determino su constante, y concluir que la energía de un cuanto, es mayor a medida que aumenta la frecuencia de radiación. (de la Peña, 2004)

En ese punto, cabía preguntarse si el fenómeno de radiación de cuerpo negro, era el único que no podía ser explicado mediante las leyes de la física clásica. Sin embargo, Einstein sin conocer los resultados de Planck, ya había escrito algunas consideraciones sobre el comportamiento de la luz, en las cuales y sin saberlo coincidía con las Planck al afirmar que para comprender el comportamiento de este fenómeno, se debía contemplar que la luz estaba formada por cuantos de energía, que poseen comportamientos ondulatorios y algunas propiedades características de los corpúsculos (de la Peña, 2004). Sin embargo suponer eso, era una presunción muy descabellada, por lo cual Einstein busco argumentos que pudieran probar que lo que él estaba afirmando era

cierto, siendo esto lo que lo llevo a descubrir la explicación del fenómeno del efecto fotoeléctrico, el cuál de alguna manera ya había sido descubierto por Hertz cuando trabajo iluminando un cátodo con luz ultravioleta y observando que al hacerlo, el cátodo reforzaba la luz de los chispazos. Este fenómeno también fue estudiado por Lenard, aunque la explicación de este último era un poco confusa, ya que encontró dos propiedades que no supo explicar, siendo la primera de ellas que solo la luz de ciertos colores produce el efecto fotoeléctrico, debido a que cuando disminuye la frecuencia de la luz que ilumina el cátodo el efecto desaparece, y la otra era que al elevar la intensidad de la luz, se incrementaba la corriente eléctrica producida, pero no la energía máxima con la que los electrones son emitidos. El lector podrá notar que los estudios referenciados en este aparte son los estudios iniciales del modelo dualidad onda-partícula.

Solo hasta cuando Einstein explica el efecto fotoeléctrico desde su perspectiva cuántica es cuando se tiene claridad de este, ya que al considerar la luz que ilumina el cátodo, no como onda electromagnética sino como cuantos de energía, trae como consecuencia que al elevar la intensidad de la iluminación se suministre mayor número de cuantos de energía a la superficie metálica. Vale la pena hacer notar que Einstein retoma la teoría de Planck deduciendo que cada cuanto es reabsorbido por un átomo y esa energía absorbida por el átomo es suficiente para liberar un electrón, luego entonces a mayor iluminación habrá más electrones liberados y eso significaría un aumento en la corriente eléctrica.

Años más adelante, Einstein logra concluir en un congreso de física, que en ambos casos coexisten las propiedades corpusculares y ondulatorias, introduciendo lo que en la actualidad se conoce como *Dualidad Onda-Corpúsculo*. De acuerdo a lo expuesto es evidente que el término corpúsculo empleado por Einstein no hace referencia a partícula sino a quantum de energía. Fue Lewis, un físico químico quien introdujo el término de fotón, a lo que Einstein había llamado quantum. El fotón es visto como una partícula, lo que permite retomar algunas características del modelo Newtoniano, pero sin desconocer que en las radiaciones aun estando cuantizadas en fotones o quantum de energía, presentan todas las características de los fenómenos ondulatorios, es decir, se refleja, se refracta e interfiere, lo que conlleva a asumir la solución de la dualidad onda-partícula. Esta idea como tal se amplió en 1925, cuando Louis de Broglie expuso en su trabajo de tesis doctoral ante la Sorbona la idea de la dualidad onda-corpúsculo, en donde sostuvo que el problema

de establecer si la luz tiene un carácter ondulatorio, o un carácter corpuscular radica en que no se pueden separar estos comportamientos, es decir, que van unidos hasta tal punto que *“para medir la propiedad corpuscular que representa el momento hay que conocer la propiedad ondulatoria, llamada frecuencia”* (Gribbin 1984)

De esta manera se ha presentado desde la perspectiva disciplinar el soporte teórico para el diseño de la propuesta de la estrategia de aula, permitiendo así, dar paso a la reflexión de orden pedagógico que se presenta a continuación.

## **2.2. Marco Pedagógico**

### **2.2.1. Reflexiones acerca del trabajo experimental, el modelo de aprendizaje por investigación orientada y su relación con la elaboración de descripciones**

La propuesta de este trabajo de investigación se extrapola a dos aspectos del que hacer de las comunidades científicas al aula de clase, a saber, el consenso de la explicación de un fenómeno y las discusiones entre los distintos integrantes de la comunidad para aprobar una teoría, asumiendo que los anteriores aspectos mencionados y las prácticas experimentales favorecen la construcción de descripciones alrededor de un fenómeno, que de alguna manera evidencian la comprensión que tienen los estudiantes del modelo físico que explica un fenómeno. De otra parte se sabe que existen varias metas a lograr en la educación científica, dentro de las cuales se encuentran el aprendizaje de conceptos y construcción de modelos, al igual que el desarrollo de habilidades experimentales y la resolución de problemas (Jiménez y Sanmartí ,1997), las cuales ayudaran en la formación científica, en la interpretación de los modelos que explican la naturaleza, e incluso a que los estudiantes lleguen a una formulación de sus propios modelos que expliquen los fenómenos naturales.

Desde la perspectiva anterior, se da a conocer la importancia del trabajo experimental y el papel que cumple dentro de esta estrategia de aula. Se resalta por un lado, que la actividad científica queda incompleta y vacía si se prescinde de la experimentación (Ferreiros & Ordoñez, 2002), y por otro lado que los experimentos exploratorios que se proponen, no tienen como finalidad la comprobación teórica de ninguno de los modelos que se planteen, ya que muchas veces, darle ese

uso al experimento, conlleva al fracaso del aprendizaje de conceptos y nociones científicas (Koponen & Mäntylä). Contraria a esa percepción se usará el conjunto teoría-práctica, como uno de los caminos que se puede tomar para que los estudiantes realicen descripciones a partir de los experimentos exploratorios que evidencien su comprensión del modelo dualidad onda-partícula.

Sin embargo, no basta con la sola proposición de experimentos en el aula, sino que a estos hay que asociarles diferentes características que hagan más productiva su implementación en el aula, por ejemplo los estudiantes se motivan a realizar trabajo práctico si tienen la posibilidad de interactuar entre ellos, con el docente y con el trabajo (Hodson, 1994), esta primera característica se relaciona con uno de los presupuestos del modelo de aprendizaje por investigación orientada, el cual se refiere a organizar el curso por pequeños equipos de trabajo (Furio y Guisasola, 2009), con el fin de que las discusiones generadas al interior de cada equipo, fomenten descripciones lo más cercanas posibles al fenómeno estudiado. Puesto que este modelo recurre al planteamiento del aprendizaje como un trabajo investigativo, abordando en dicho proceso, situaciones problema que favorezcan la construcción del conocimiento científico, donde los estudiantes son considerados como investigadores de ciencias noveles que trabajan en equipos cooperativos, de tal forma que interactúen con la comunidad científica, que viene siendo representada por los libros de ciencias y el docente (Furio y Guisasola, 2009), que para el caso particular de esta investigación, la interacción esta mediada en gran medida por el blog diseñado para la estrategia de aula.

Es pertinente aclarar que el papel del docente no se relega a simple observador, sino que por lo contrario este es considerado como investigador experto, que es quien propone las problemáticas a tratar, las cuales deben ser abiertas y con un nivel de dificultad adecuado, que permita al estudiante tomar decisiones para abordar la situación propuesta por el investigador (Furio Y Guisasola, 2009).

Al realizar la revisión de otros autores que hablan sobre el tema, como Sandoval, Ayala, Malagón, Tarazona (2006), Koponen & Mäntylä (2004) , afirman que es de vital importancia comprender que los roles de la ciencia en la comunidad científica y en la comunidad educativa se enfocan hacia diferentes objetivos, por lo cual la actividad científica y experimental en el aula, no puede ir dirigida solamente a la comprobación de resultados, o a la realización de mediciones, sin enfocarse

en un principio en que el estudiante logre comprender y explicar las fenomenologías que se abordan, ¿por qué se producen?, ¿cómo se estudiaron a lo largo de la historia? y ¿cómo se ha llegado a las comprensiones que se tienen alrededor de las diferentes temáticas tratadas en la ciencia?. En este sentido es propio de la estrategia de aula, garantizar que el estudiante tenga la oportunidad de contrastar lo planteado desde la teoría y las explicaciones que él junto con su equipo de trabajo logra dar a la fenomenología estudiada.

A partir de lo anterior, se contempló que una forma para garantizar la efectividad del trabajo en equipo y el progreso en las descripciones realizadas por los estudiantes, es el uso adecuado de las fuentes de información, es por esta razón que se diseñó el blog *Quantum for Young*, como fuente primaria a lo largo de la implementación, de tal forma que su constante revisión y la búsqueda que a bien cada integrante del equipo considero realizar, permitieron que las discusiones al interior de los equipos a partir de los experimentos exploratorios llevados al aula fuesen elementos importantes tal como lo postula el modelo de investigación orientada.

De la misma manera, el docente o investigador experto debe fomentar el trabajo colectivo científico, con el fin que los estudiantes logren comprender que no basta una única conclusión, ni los resultados de un solo equipo para verificar o rechazar una hipótesis, sino que por el contrario es el trabajo de toda la comunidad científica y el consenso de los resultados en un determinado momento, los que pueden constituir el cuerpo de todos los conocimientos científicos. En la propuesta que se realiza en este trabajo investigativo, la consideración anterior cobra sentido en la implementación de la estrategia de aula, el blog diseñado y la manera como esto se lleva a cabo, así por ejemplo al finalizar cada una de las sesiones se socializo con todos los equipos de trabajo las conclusiones a las que ellos han llegado en su exploración cualitativa de cada una de las prácticas, al igual que las dudas que a cada uno de los equipos le haya surgido en el transcurso de la sesión. Este punto será discutido con más detalle en la sección de la estrategia de aula.

Por su parte, es necesario explicitar que se está entendiendo por comprensión en el marco de esta investigación, ya que esta categoría dinamizo los análisis de las descripciones realizadas por los estudiantes. Pues bien, se entiende la comprensión como el proceso de creación mental que cada sujeto realiza al recibir información de una fuente o emisor, y que le permite al estudiante por tanto

crear una imagen a partir de lo que observa, escucha o lee; dando significado a cada uno de los datos que recibe, entiéndase dato como cualquier información que pueda ser utilizada en el proceso de comprender. Por tanto, los datos pueden ser: palabras, relaciones, implicaciones, formatos, estructuras, entre otros. Lo anterior implica, que el proceso de comprensión no es pasivo, por el contrario es un proceso que exige por parte del estudiante mucha actividad e inquietud, y por eso algunos autores afirman que el proceso de comprensión consiste en aislar, identificar y unir de forma coherente unos datos externos con los datos que disponemos (Tuffanelli,2010). Y en esta medida el modelo pedagógico del cual se tomaron algunos de sus planteamientos se vuelve en un buen dinamizador del proceso de comprensión, y las descripciones en un buen elemento de análisis.

## CAPÍTULO 3

### 3. Estrategia de Aula

El ejercicio de pensar en que actividades y estrategias se deberían emplear en el aula de clases para lograr una determinada meta en la enseñanza, nunca es una tarea sencilla, ya que esta labor no solamente implica el diseño de las actividades a realizar en el salón de clases, sino que además involucra algunas preguntas que se deben hacer en relación a los objetivos diseñados, así como también que elementos tomar de las metodologías, modelos pedagógicos y estrategias didácticas existentes, de tal forma que la propuesta que se diseñe guarde estrecha relación con la intencionalidad pedagógica y con el interés por conseguir los mejores resultados posibles con respecto a la comprensión de un determinado modelo, para el caso particular de este trabajo de investigación, el modelo dualidad onda-partícula.

En este sentido y desde lo expuesto en el capítulo anterior con respecto a la dualidad de la materia, la importancia del trabajo experimental y la escogencia de algunos elementos del aprendizaje por investigación orientada, consideraciones encaminadas a la elaboración de descripciones por parte de los estudiantes de grado once de la ENSDMM, y a partir de lo que se propone en la estrategia de aula, se posibilitó la llevada al aula de las reflexiones y análisis que se tuvieron en cuenta para su diseño.

El modelo de la física escogido es en sí mismo llamativo para los estudiantes e invita a la indagación y el cuestionamiento del comportamiento que se presenta en el fenómeno, sin embargo pensar en cómo lograr el objetivo propuesto, en estudiantes que seguramente no tienen las bases matemáticas para abordarlo, significó todo un desafío para el diseño de la estrategia de aula, ya que la única opción de llevarlo al aula fue mediante un trabajo experimental que debía complementarse con uno teórico, pero sin caer en el juego de tomar los experimentos exploratorios como una comprobación de teorías y leyes.

Por tanto, fue pertinente realizar el diseño de la parte teórica de la estrategia de aula mediante un blog teórico<sup>2</sup> que se estructuró en cuatro fases; una fase introductoria que brindó a los estudiantes

---

<sup>2</sup> Se invita al lector a conocer el blog en la dirección: <http://dficdia3.wix.com/quantum-young>

algunos elementos históricos desde el comienzo del estudio de la luz hasta las ideas planteadas por Newton y Huygens, la segunda fase fue llamada al igual que la experimental “*Fase de Reflexión*”, la cual contiene una presentación en power point acerca de las ondas, un video que presentaba una primera mirada sobre el fenómeno de reflexión y una presentación en slideshare que profundiza sobre lo visto en el video, la tercera fase se titula: “*fase de refracción*”, y está compuesta por una presentación en prezi que presenta las leyes del fenómeno y adicional a esto se muestra un video que expone algunas experiencias con luz y agua de los elementos teóricos mostrados en la presentación, y por último en la *fase final* se contemplan la presentación de dos videos que buscan profundizar en el experimento de Young y el modelo dualidad onda-partícula. Es necesario especificar que cada una de las fases del blog, contempla actividades adicionales, tales como preguntas abiertas y esquemas de relación, las cuales fueron el insumo inicial de discusión en las sesiones desarrolladas.

Por otro lado, el trabajo experimental<sup>3</sup> se organiza en tres grandes fases que guardan relación con las tres fases finales del blog, cada una estas tres fases contienen diversas actividades experimentales alusivas a varios fenómenos naturales asociados al comportamiento de la luz, primero se abordan las perspectivas macroscópicas desde lo corpuscular y lo ondulatorio de fenómenos como el de reflexión, refracción e interferencia y luego se da paso a la experimentación con la luz pretendiendo que los estudiantes realicen diversos análisis de las experiencias a nivel microscópico desde las teorías enunciadas por Newton y Huygens, pero haciendo analogías con las descripciones que encuentren de los experimentos a nivel macroscópico.

Antes de proceder a explicar las actividades que componen cada una de las fases es necesario aclarar dos puntos importantes: el primero, es que antes de la implementación experimental se asignó como tarea inicial a los estudiantes, la revisión en casa de la fase introductoria del blog teórico<sup>4</sup>, la cual tiene como finalidad dar a los estudiantes algunos elementos históricos sobre cómo se estudió el fenómeno de la luz desde algunos filósofos como Empédocles, Platón, Leucipo, Euclides, entre otros, hasta las ideas de Newton y Huygens, ya que es en ese momento de la historia en el cual se da inicio al estudio del fenómeno propuesto. El segundo punto está relacionado en la

---

<sup>3</sup> Los equipos empleados para el desarrollo de la estrategia de aula, son con los que cuenta la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori, más algunas adecuaciones realizadas por la autora de esta propuesta.

<sup>4</sup> Esta fase se puede revisar en el siguiente link: <http://dficdia3.wix.com/quantum-young#!la-luz/c2414>

forma como se pensó el registro de las discusiones y conclusiones de los estudiantes en las actividades experimentales, que fue a través de un documento orientador, enfocado principalmente en las descripciones que los diferentes equipos de trabajo pudieran dar acerca de los experimentos exploratorios que se les presentan. El lector puede revisar el documento orientador en el anexo 7.

A continuación se presenta una tabla con las actividades que componen cada una de las fases y su relación con las actividades propuestas en el blog:


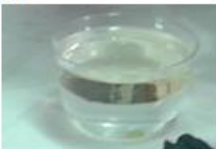










Diseño de Propuesta de Aula			
Actividad	Fases		
	Fase de Reflexión	Fase de Refracción	Fase Final
Actividad 1	<p>Descripción del movimiento de pelotas saltarinas</p> 	<p>Descripción del movimiento de un chinche en dos medios líquidos de diferente índice de refracción y experimento mental</p> 	<p>Interferencia de ondas en la cubeta de ondas</p> 
Actividad 2	<p>Descripción del fenómeno de reflexión de ondas mecánicas en una cubeta de ondas y un de ondas con placa semi circular.</p> 	<p>Fenómeno de refracción de ondas mecánicas mediante una cubeta de ondas y un triangulo de acrílico</p> 	<p>Primera parte video Dr Quantum</p> 
Actividad 3	<p>Reflexión de un rayo laser sobre un espejo</p> 	<p>Refracción de un rayo laser en dos medios con diferente índice de refracción</p> 	<p>Experimento de la doble rendija</p> 
Blog (actividad teórica)	<p>Se aborda el fenómeno de reflexión mediante una presentación y un video.</p>	<p>El fenómeno de refracción a través de un prezi y un video.</p>	<p>Se trata el fenómeno de interferencia y el efecto fotoeléctrico mediante dos videos.</p>
Adicional	<p>Experimento de Superposición de colores</p> 	<p>Video "El legado de Einstein" que explica el efecto fotoeléctrico</p> 	<p>Segunda Parte del Video del Dr Quantum</p> 

Tabla 1 Descripción de cada una de las fases diseñadas para la estrategia de aula

Como se puede observar en la tabla 1, la primera fase es la “fase del fenómeno de reflexión”, que se compone de cuatro actividades experimentales y una teórica que se aborda mediante el blog. La dinámica de trabajo para esta fase, fue diseñada de tal forma que las dos primeras actividades buscan que los estudiantes realicen una descripción de los movimientos que se producen a escala macroscópica, a través de situaciones tales como: “*Toma una de las pelotas y lánzala contra una pared a un ángulo diferente de cero, ten cuidado de no golpear a nadie y describe el movimiento teniendo en cuenta la dirección en la que se movía antes de chocar y la dirección en la que se mueve después del choque*”, esta actividad se ha llamado en la tabla actividad 1. De la misma manera, la actividad 2 que buscó abordar el experimento con ondas se trabaja a través de preguntas como: “*¿Cuál es el comportamiento de las ondas cuando se coloca la placa semicircular?, ¿Cuál crees que es el papel del agua en este experimento?*”. La tercera actividad propuesta tenía que ver con la incidencia de un rayo de luz sobre un espejo, cuya finalidad fue que los estudiantes pudiesen hallar relación entre la descripción macroscópica desde las perspectivas corpuscular y ondulatoria y aplicarla a la descripción de la reflexión de un rayo de luz. Una vez finalizadas estas tres actividades, se propone como tarea individual para desarrollar en casa la fase de reflexión del blog teórico, con la intencionalidad de realizar en la siguiente sesión, la primera socialización con el grupo en pleno, que permitió la discusión y contraste del trabajo experimental realizado en la primera sesión y las actividades propuestas en el blog. Finalmente se realiza la actividad adicional, a saber, la superposición de colores de la luz, que tuvo como objetivo la descripción del fenómeno ya fuese desde la teoría corpuscular o la teoría ondulatoria, esta decisión la tomaba cada equipo de trabajo.

La segunda fase de la estrategia de aula, se llama “*Fase del fenómeno de refracción*”, en esta al igual que en la fase anterior se propusieron cuatro actividades experimentales y la teórica del blog. La dinámica de trabajo fue similar a la de la fase de reflexión, ya que el objetivo era que los estudiantes describieran la refracción de un rayo láser al incidir en un recipiente que contiene dos medios con distinto índice de refracción (agua con leche y aceite), haciendo uso de las descripciones de los fenómenos de refracción a escala macroscópica, las cuales se realizaron a través de la observación del movimiento de un chinche en un recipiente con agua y aceite, así como la descripción del movimiento de una onda generada en la cubeta de ondas cuando incide sobre un triángulo de acrílico. Del mismo modo se propuso como tarea a desarrollar en casa, la revisión de la *fase de refracción* en el blog, con el fin de realizar una segunda socialización y

posteriormente realizar la actividad adicional que consta del video del efecto fotoeléctrico y que tuvo como finalidad generar dudas en los estudiantes acerca de la naturaleza de la luz.

Y por último en la tercera fase llamada “*La fase final*”, inicia con el experimento de interferencia llevado a cabo en la cubeta de ondas, donde inicialmente al generador se le ubican solamente dos pines (fuentes puntuales) y se dejó a libertad de cada equipo agregar más fuentes, así como la variación de la frecuencia del generador de ondas. A continuación se presentó la primera parte de un video animado del Dr. Quantum<sup>5</sup>, donde se retoman gran parte de los aspectos ya trabajados a lo largo de la estrategia de aula y se propone a partir de lo visto el experimento de la doble rendija. Inicialmente se le propuso a cada equipo establecer una hipótesis acerca de lo que ocurriría en el experimento, para posteriormente contrastar su hipótesis con lo se observó al desarrollar el experimento. Para finalizar la sesión, se muestra la parte final del video con la intencionalidad de concluir con el grupo en pleno lo que sucede en este experimento de orden crucial, para la comprensión de la dualidad onda-partícula.

Una vez finalizadas las tres fases, se llevó a cabo una última socialización, cuya meta fue recapitular los dos caminos propuestos en la fase introductoria y conectarlos con los experimentos exploratorios, así como lo presentado en el blog teórico, con el objetivo que cada equipo pudiese concluir finalmente la naturaleza de luz.

---

<sup>5</sup> Se invita al lector a revisar el video en la siguiente dirección: <https://www.youtube.com/watch?v=VTfZ-6h6R-0>

## CAPÍTULO 4

### 4. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se utilizó la metodología de investigación- acción participativa que es una metodología que apunta a la producción de un conocimiento, realizando para ello procesos de debate, reflexión y construcción colectiva (Kirchner,2011), en este caso entre los equipos de investigadores noveles (los estudiantes) y el investigador experto (el docente), para garantizar la elaboración de descripciones de los estudiantes acerca del fenómeno de la física estudiado.

Resumiendo lo expuesto por Kirchner:

“El eje central de la IAP debe plantearse como un proceso cíclico de reflexión-acción-reflexión, en el que se reorganiza la relación entre conocer y hacer, entre sujeto y objeto, configurando y consolidando con cada paso la capacidad de autogestión de los implicados. Es un contexto Investigativo más abierto y procesual.”

Lo anterior se plantea desde varias etapas que se consideran en la IAP y que se enmarcaron en las etapas de investigación de este proyecto:

- **Etapas de Pre-Investigación:** En esta etapa se determinó la situación problema, que está relacionada principalmente con la ausencia de la física moderna en el plan de aula de la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori, siendo esta parte de la física necesaria e importante, pues hace parte de las explicaciones que se tienen para el mundo que nos rodea.
- **Etapas de Diseño:** En esta etapa se realizó una caracterización de la población y se tuvo en cuenta a la hora del diseño de la estrategia de aula.

- **Etapa de Implementación:** En esta etapa se realizó la implementación de la estrategia de aula a lo largo de cuatro sesiones.
- **Etapa de Conclusiones:** En esta etapa se pretende analizar las explicaciones y descripciones de los estudiantes en relación a cada una de las fases desarrolladas en la propuesta.

#### **4.2 Descripción de la Población**

Para la implementación de la estrategia de aula se escogió la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori, que es una institución de carácter oficial, de calendario A, de jornada completa con población mixta ubicada en el municipio de Bogotá. La Escuela cuenta con dos sedes en las que se incluye una población de pre-escolar, básica primaria, básica secundaria y media, y ciclo de formación complementaria. Es de aclarar que las dinámicas de la institución son diferentes a las desarrolladas por otras instituciones distritales del País, ya que se propuso un sistema de semestralización para los estudiantes de grado décimo y once.

El proceso de semestralizar los dos grados ya mencionados, implica que los estudiantes deben asumir una actitud de compromiso y responsabilidad más fuerte, puesto que cuando los estudiantes no logran aprobar tres áreas del plan académico establecido deben repetir el semestre. Es por esta razón que solamente los estudiantes que logran aprobar los dos semestres de grado décimo, pueden ingresar a grado once, y esto implica que los estudiantes que llegan a este nivel, tienen un ritmo de trabajo continuo y por tanto una actitud en pro del desarrollo de las actividades que se propongan.

Lo anterior se convierte en una de las razones por las cuales se escoge un curso de grado once de la ENSDMM con el cual se había trabajado a lo largo del segundo semestre de educación media (segundo semestre de décimo) en las prácticas pedagógicas que se exigen en la Universidad Pedagógica Nacional. A lo largo de dichas prácticas se pudo observar que los estudiantes son muy participativos, ya que en general cualquier actividad que se les presente que rompa la cotidianidad de las clases, se disponen con gran interés y actitud pro-activa. Esto último fue una característica

muy importante para el diseño de la estrategia de aula porque de alguna manera se garantizaba disposición ante la propuesta

## CAPÍTULO 5

### 5.1. Análisis de resultados

En este capítulo se presentan los análisis realizados a las descripciones escritas en el documento orientador, por parte de los estudiantes de grado once de la Escuela Normal Superior Distrital María Montessori. Vale la pena mencionar, que antes de iniciar el desarrollo de la implementación, se realizó una pre - sesión que consistió en la explicación a los estudiantes a groso modo del trabajo que se iba a desarrollar a lo largo de las cuatro sesiones, para ello se les invito a visitar el blog y a desarrollar la actividad de la fase introductoria. A continuación se presenta la descripción de la primera sesión, la cual recoge la socialización de la fase introductoria y las tres actividades de la primera fase.

### 5.2. Descripción de la Primera sesión

El día 25 de marzo se dio inicio a la primera sesión de la implementación, en la cual se desarrolló la primera fase de la estrategia de aula. Todo inició a las 6:45 am con el ingreso de tres practicantes, la docente titular, la docente encargada de la implementación y treinta y seis estudiantes de grado once al laboratorio de física. La primera indicación que se solicitó, fue que se organizaran en equipos de seis y se ubicaran en cada una de las mesas disponibles. De esta manera se dio inicio a la socialización de la fase introductoria del blog teórico, para ello se recurrió a realizar algunas preguntas ya establecidas en el blog y escuchar las respuestas de diferentes estudiantes. La primera pregunta realizada fue: *¿Qué es la mecánica cuántica?* La respuesta dada por algunos estudiantes fue: *“la mecánica cuántica es una rama de la física que estudia la materia a escala pequeña.”*

Otra pregunta realizada fue: *¿por qué creen que el modelo de dualidad onda partícula puede ser abordado a partir del estudio de la luz?* La respuesta dada por los estudiantes fue: *“si la mecánica cuántica es el estudio de la materia a escala atómica y la luz está conformada de pequeñas partículas, entonces la luz es un fenómeno que se debe estudiar desde ese campo de la física”*. Esto evidencia que los estudiantes inician la comprensión del fenómeno de la

luz, suponiendo que está conformada de partículas. Se realizaron otras preguntas alrededor de las teorías que se dieron a lo largo de la historia para estudiar la naturaleza de la luz, lo que llevo a los estudiantes a exponer los dos caminos que se trabajarían a lo largo de toda la propuesta, afirmando desde la teoría que habían revisado en el blog, por un lado que Newton había propuesto que la luz estaba conformada por partículas y por otro, que Huygens en contraposición a Newton afirmaba que la luz estaba compuesta por ondas, en ese instante la docente a cargo de la implementación explico que para explorar estos dos caminos se iba a trabajar sobre varios fenómenos en los que se evidencian los comportamientos de la luz desde la antigüedad, y que para ello se debía comprender en principio cómo se comportan las ondas y las partículas, para así encontrar relaciones, similitudes y diferencias en el comportamiento de la luz, por ello en las sesiones de trabajo siempre encontrarían que habían actividades asociadas a las partículas, a las ondas en el agua y finalmente a la luz. De esta manera el primer fenómeno a estudiar fue *El fenómeno de reflexión*. Y con esta explicación se dio por terminada la primera socialización del blog y quedo abierta la discusión sobre la naturaleza de luz.

Para abordar la fase del fenómeno de reflexión, se entregó a cada uno de los equipos el documento orientador para el desarrollo de todo el trabajo experimental. La primera actividad de esta fase fue destinada a explorar el comportamiento de las partículas y evidenciar el fenómeno de reflexión para las partículas mediante pelotas saltarinas, cada equipo de trabajo debía interactuar con tres pelotas y observar su comportamiento ante distintas situaciones guiadas por las diferentes preguntas del documento. De esta manera la descripción del movimiento de las pelotas antes y después de chocar, es el insumo fundamental para los análisis del impacto de la propuesta. Otro elemento a considerar para los análisis estuvo dado por la interacción de la docente encargada de la implementación al pasar por cada uno de los equipos de trabajo, quien contribuyo en las discusiones que se generaban por medio de preguntas que buscaban centralizar los debates, suscitando así que tanto la observación como las descripciones consignadas en el documento orientador fuesen lo más amplias posibles. Por ejemplo, uno de los equipos afirmaba que las direcciones de las esferas después del choque dependían únicamente del punto en donde se “golpearan” las pelotas, a lo que la

docente pregunto: ¿Qué sucedería si una de las pelotas fuera mucho más grande que las otras dos? Esto permitió nuevas discusiones y el establecimiento de nuevos elementos para la descripción del comportamiento de las “partículas”. Esta actividad duro alrededor de treinta minutos. Finalmente cada equipo evidencio el fenómeno de reflexión con una de las pelotas, haciéndolas rebotar contra una pared o en la mesa.

El paso siguiente fue el desarrollo de la actividad 2 ya descrita tanto en la tabla No. 1 como en la estrategia de aula. Los estudiantes comenzaron generando ondas con cualquier objeto puntiagudo y comparándolas con las que formaba el generador de ondas, discutieron alrededor de ello y consignaron sus descripciones en el documento orientador, luego pasaron a evidenciar el fenómeno de reflexión con las ondas, colocando una placa semicircular y observando que sucedía cuando las ondas chocaban contra la placa, para ello variaron la frecuencia de oscilación del generador y la distancia de la placa a la fuente puntual.

Finalmente se dio paso al experimento con la luz, en donde cada uno de los equipos observaba el fenómeno de reflexión de la luz con un rayo láser, un espejo y un poco de talcos para observar el rayo incidente y el reflejado, para realizar las discusiones y análisis alrededor del fenómeno, se observó que varios equipos variaron los ángulos de incidencia del rayo, así observaron que sucedía cuando el ángulo era de cero grados respecto a una línea imaginaria llamada “*normal*” y luego observaban que sucedía cuando el rayo incidía en un ángulo diferente de cero respecto a la normal. La intención de esta actividad era que los estudiantes empezaran a discutir sobre cómo podrían entender la luz en este fenómeno desde las perspectivas corpusculares y ondulatorias, pero haciendo referencia a las descripciones realizadas en las actividades anteriores. Muchos de los equipos afirmaban que lo que se veía era muy similar a lo que había sucedido con las pelotas y que por tanto este fenómeno solo podía explicarse desde la teoría corpuscular. Otros decían que se podía describir desde las dos perspectivas recordando que en el experimento de las ondas, estas también chocaban contra la placa y cambiaban de dirección tal cual sucedía con el láser, sin embargo se pudo observar que uno de los equipos no encontraba ninguna relación con las actividades anteriores, argumentando que ellos en el láser no veían ni partículas, ni mucho menos ondas,

y que por esa razón no podían asociar este fenómeno con pelotas o con ondas en el agua. Para finalizar la sesión, se solicitó a los estudiantes revisar la fase de reflexión en el blog teórico, con el fin que contrastaran sus observaciones y descripciones con los planteamientos de los científicos y lograran comprender los elementos teóricos que allí se presentan, pero sin dejar de lado los argumentos que cada uno planteo en la práctica experimental.

Se ha realizado también una descripción de las siguientes sesiones que el lector podrá encontrar en los anexos uno, dos y tres.

### **5.3. Características a tener en cuenta en el análisis**

Como se ha mencionado a lo largo de esta investigación, el objetivo fundamental es que los estudiantes mediante el trabajo experimental y el uso de un blog teórico, logren realizar descripciones que pongan de manifiesto algún nivel de comprensión del modelo dualidad onda-partícula, es por ello que el análisis de los resultados obtenidos se va a realizar en términos tres categorías:

#### **➤ Categoría 1: Elementos conceptuales y experimentales**

En esta categoría se ubicaron las descripciones realizadas por los equipos de trabajo en el documento orientador, que articulan elementos del trabajo experimental, así como de los elementos conceptuales presentados en el blog y algunas aproximaciones conceptuales encontradas a lo largo de la historia referente a los fenómenos estudiados.

Algo importante a tener en cuenta, es que las estructuras de las descripciones de los estudiantes en esta categoría fueron mucho más completas y detalladas, y eso se evidencio en las reflexiones que ellos fueron capaces de realizar y que de alguna manera dan muestra de su profundidad en la comprensión del fenómeno descrito.

#### **➤ Categoría 2: Elementos conceptuales**

Si se tuviera una escala categórica, se podría decir que esta categoría estaría a continuación de la de elementos conceptuales, y experimentales, pues aquí se ubican las descripciones de los equipos de trabajo que únicamente recojan conceptos del blog o de sus fuentes de información, centrándose en principio, en la enunciación de leyes y teorías. Lo anterior se asume, debido a que se considera que las teorías por sí solas no dan cuenta de las descripciones de los fenómenos naturales y mucho menos cuando el estudiante solo logra repetir textualmente una ley, sin hacer un proceso de reflexión sobre ella para dar cuenta de los fenómenos con los que interactúa.

### ➤ **Categoría 3: Elementos experimentales**

A pesar de ser esta la categoría 3, se dirá que se encuentra en el mismo nivel que la anterior, ya que no se puede afirmar que una descripción teórica este por encima de una descripción desde la evidencia experimental, pues como se ha dicho anteriormente, tanto la teoría como la experimentación deben ir complementándose mutuamente para dar cuenta de un determinado fenómeno. Por otro lado, un equipo de trabajo que solo describa lo que experimentalmente observa, sin intentar conectarlo con las discusiones o procesos reflexivos que realiza en su equipo y con las investigaciones teóricas que consulta, les será mucho más difícil construir un significado de lo que sucede en ese fenómeno, esto dificulta el proceso de re-elaboración de sus descripciones en cada fase y por tanto es posible que no haya modificaciones en su comprensión alrededor del trabajo experimental que realiza.

#### **5.4. Análisis de la Fase de Reflexión**

En esta sección se analizan los resultados de la tabla No.2 (Ver anexo 4) que corresponde a la fase 1, allí se presentan las respuestas literales de los equipos de trabajo a algunas de las preguntas del documento orientador.

La tabla No.2 se encuentra organizada de tal forma que la primera columna hace referencia a cada uno de los equipos de trabajo, la segunda es la respuesta de los estudiantes referente a la siguiente situación planteada; *“Toma una de las pelotas y lánzala contra una pared a un ángulo diferente de cero, ten cuidado de no golpear a nadie y describe el movimiento teniendo en cuenta la dirección en la que se movía antes de chocar y la dirección en la que se mueve después del choque.”* La tercera columna está asociada con la pregunta *“¿Cuál es el comportamiento de las ondas cuando se coloca la placa semicircular?”* Así mismo la cuarta y quinta columna contienen las respuestas dadas a la última situación planteada para la tercera actividad de la fase del fenómeno reflexión, la cual tiene que ver con el experimento del láser y el espejo, en donde los estudiantes como producto final debían llenar un cuadro explicando el fenómeno de reflexión de la luz, suponiendo que esta estuviera compuesta por partículas, o que esta fuera una onda. Finalmente, en la sexta columna los estudiantes debían confrontar sus explicaciones de la fase experimental y la teórica y describir el experimento de la superposición de los colores primarios de la luz, planteada como una actividad adicional.

Es importante mencionar que debido a que los estudiantes abordaron la serie de experimentos con su respectivo documento orientador y el blog teórico, sin contar con explicaciones previas específicas a la dualidad onda partícula, los fenómenos de reflexión, refracción e interferencia, sus descripciones están mediadas por los conocimientos adquiridos de la cotidianidad o las relaciones que lograron establecer con los desarrollos dados a lo largo de sus clases de física.

Es a partir de las anteriores condiciones que se puede evidenciar como respecto a la primera situación propuesta, el primer equipo de trabajo intento dar una descripción de corte experimental, es decir que la respuesta corresponde a la categoría 3, afirmando lo siguiente: *“Podemos decir, que según el ángulo de caída al momento de rebotar, forma el mismo ángulo que en el de bajada”*, se puede evidenciar que los estudiantes intentaron establecer una relación entre los ángulos, sin embargo, su respuesta se vuelve confusa en su estructura al describir primero el efecto que la causa, a saber, el ángulo que forma la trayectoria de la pelota con la mesa, después de incidir sobre ella, así mismo otro elemento que se presta a la confusión de la respuesta es que utilizan la palabra *“caída”*, como si hicieran referencia al

fenómeno de caída libre y no a un lanzamiento de la pelota. El equipo cuatro también presenta una descripción que corresponde a la categoría 3, pero a diferencia del equipo uno la respuesta que presentan es mucho más clara, afirmando que la pelota iba en una dirección antes de chocar y que después de incidir sobre la mesa, la dirección se vuelve perpendicular a la inicial.

En contraste con lo anterior, se encuentra que los equipos dos, tres, cinco y seis, presentan descripciones que se ubican en la categoría 1, puesto que relacionan elementos conceptuales y experimentales en sus reflexiones, por ejemplo el equipo tres afirma que: *“Cuando la pelota se lanza con un ángulo, y esta choca con la base, se devuelve en la dirección contraria a la que fue lanzada anteriormente y con el mismo ángulo, formando una "v" “*, en esta respuesta se evidencia un proceso de discusión más profundo que el de los equipos uno y cuatro, ya que rescatan elementos como: la comparación entre el ángulo incidente y el ángulo reflejado, la dirección del movimiento de la pelota antes y después de chocar, y la forma en que se presenta el movimiento, lo cual evidencia un proceso de discusión y reflexión más profundo que el de los equipos que solo tuvieron en cuenta elementos experimentales.

Para la segunda situación planteada, se encuentra que los equipos dos y cuatro presentan descripciones que se ubican en la categoría 3, ya que solo se limitan a observar y a escribir lo que observan, pero no discuten, ni reflexionan sobre las características que logran percibir, así por ejemplo el equipo cuatro dijo: *“Cuando colocamos la lámina cerca al objeto que genera ondas con poca velocidad, las ondas parten con una forma y al momento de chocar con la lámina la forma se invierte”* en esta descripción se puede observar que el equipo explora e interactúa con el experimento, puesto que hacen la salvedad que el generador de ondas tiene una frecuencia de oscilación baja, aunque ellos la describen en términos de la velocidad, sin embargo se enfocan en describir únicamente la forma antes y después del choque.

Caso contrario los equipos uno y cinco logran articular diferentes elementos en su descripción, por lo que su respuesta se ubica en la categoría 1, así el primer equipo describió lo siguiente: *“Las ondas se comportan de la misma forma, hasta que se encuentran con la*

*placa se mi circular de acrílico, la cual hace que las ondas se devuelvan por el mismo camino en el que venían inicialmente, generando que la onda se refleje.*” Es claro como los integrantes del equipo, comienzan por enunciar que antes de chocar las ondas tienen la misma forma, pero que después de la incidencia de la onda con la placa semicircular estas se devuelven, es decir que muestran que hay un cambio en el sentido de propagación de la onda, pero además hacen énfasis en que ese sentido de propagación, sigue la misma dirección (“el mismo camino”) que traía inicialmente, y finalmente dan a conocer el elemento conceptual, resumiendo la incidencia de la onda en la placa semicircular como un fenómeno de reflexión.

Las descripciones de la tercera situación, se divide en las columnas cuatro y cinco, que están asociadas con la actividad experimental de la reflexión de la luz, en donde eran cruciales las respuestas que los equipos habían construido en las primeras dos situaciones para poder describir lo que comprendían en este tercer experimento. Como resultado se puede observar que las descripciones del rayo de luz como partícula, de los equipos dos, cinco y seis se ubican en la categoría 1 puesto que retoman aspectos importantes de las actividades anteriores, y las usan como elementos fundamentales para describir el fenómeno con el que interactúan, por ejemplo el equipo dos describe que: *“Cuando las pelotas rebotaban en un mismo punto, se dispersaban en diferentes direcciones, mientras que con el láser en el espejo, estas rebotan en el sentido contrario al que fue apuntado, pero reflejando el mismo ángulo.”*

Es interesante notar, como los estudiantes de este equipo no hicieron la relación entre el fenómeno de reflexión a escala macroscópica de las partículas y el fenómeno a escala microscópica, sino que negaron que el rayo láser estuviera compuesto de partículas, porque este no se comportó como las pelotas en una de las primeras actividades de esta fase, que tenía que ver con la descripción del comportamiento de las pelotas cuando estas chocaban unas con otras, y a pesar que esta descripción no corresponde a la descripción del fenómeno que se asume como cierta en la ciencia (la de Newton), los estudiantes generaron un proceso de discusión y tuvieron que articular elementos experimentales y conceptuales para poder llegar a esa conclusión, lo cual pone de manifiesto que tienen un nivel de comprensión aceptable referente a la situación expuesta.

Por otro lado, los equipos de trabajo uno y tres referente a la actividad de describir el fenómeno de reflexión del rayo láser, realizaron descripciones que se ubican en la categoría 3, pues se centraron únicamente en el plano experimental, así por ejemplo el equipo tres afirmó: *“Si el rayo fuera partículas, al chocar con el espejo, partiría en diferentes direcciones.”* Se puede evidenciar en esta respuesta, que los estudiantes intentaron recurrir a una de las primeras actividades de esta fase, sin embargo no hacen una descripción como tal de lo que sucede cuando el láser incide en el espejo, sino que suponen lo que debería pasar. De otra parte el equipo cuatro afirmó: *“Si la luz estuviera compuesta por partículas su forma no cambiaría al reflejarse, pues esta rebota creando un ángulo sobre x”* esta descripción no será categorizada debido a que es muy confusa para su interpretación, ya que no es claro si los estudiantes cuando hablan de que cambie la forma, se refieren a un cambio de dirección, ni tampoco se evidencia la relación con las actividades anteriores.

Referente a las descripciones del fenómeno de reflexión del rayo de luz, imaginando que este fuera una onda, las presentadas por los equipos de trabajo uno, dos y seis se situaron en la categoría 1, por ejemplo el equipo seis realizó la siguiente descripción: *“La luz se propaga en forma de onda, dispersándose por todo el espacio y las ondas del láser llegan a chocar y si hay algún medio que pueda interferir su paso como el espejo, entonces las ondas cambian su dirección, como en la cubeta de ondas.”* En esta descripción los estudiantes dan una característica ondulatoria de la luz, pensando en el comportamiento de las ondas generadas en la cubeta de ondas, a saber, la propagación en todo el espacio, además sitúan el espejo en el mismo papel de la placa semicircular, afirmando en este caso que el espejo sería el objeto que produce la reflexión del rayo de luz. Es evidente como logran extrapolar las actividades experimentales macroscópicas que realizaron con anterioridad este experimento en el marco de lo microscópico.

En contraste con lo anterior los equipos de trabajo tres, cuatro y cinco, realizaron descripciones que fueron ubicadas en la categoría 3, ya que se centraron en aspectos tales como predecir qué ocurriría si el rayo láser fuera una onda, o en describir desde las actividades 1 y 2, lo que observaban en esta actividad, por ejemplo el equipo cuatro presento la siguiente descripción: *“Si el rayo fuera como una onda, en el momento de reflejarse, su*

*tamaño aumentaría porque lo que hace la onda es expandirse desde el punto que empieza.”* Se puede analizar de esta respuesta que los estudiantes de dicho equipo hacen una predicción, como si no hubiesen observado el experimento y para ello se apoyan del fenómeno de reflexión en la cubeta de ondas, pues afirman que lo que debería pasar es que exista una propagación de ondas luminosas por todo el espacio, así como las ondas mecánicas lo hacen en el agua.

La actividad adicional, fue una actividad que se realizó después de la implementación de la fase de la reflexión del blog teórico y que generó una discusión a nivel grupal, en donde se planteó la pregunta de si este fenómeno podría ser explicado desde la teoría corpuscular, o desde la teoría ondulatoria, en respuesta uno de los integrantes del equipo dos afirmó que esta se podría describir desde la teoría corpuscular porque todas las pelotas salían disparadas de cada linterna y golpeaban la pantalla y reflejaban la luz así como se había explicado en el video, por lo cual fue necesario que la docente encargada de la implementación preguntara que sucedía cuando las pelotas se encontraban en un mismo punto al llegar desde diferentes direcciones, en respuesta a una estudiante de otro equipo afirmó que las partículas cuando se chocaban rebotaban en distintas direcciones, por lo tanto si la luz fueran partículas no se podría ver ningún color en la pantalla, sino que se verían puntos de colores por todo el salón, otros estudiantes seguían afirmando que si se podía describir desde las partículas porque eso era lo que habían evidenciado en el rayo láser cuando arrojaban el talco, creyendo que aquellas partículas de talco que permitían ver el rayo eran los fotones que conformaban la luz.

Finalmente y después de varios minutos de debate, los equipos de estudiantes que consideraban podían describir los estudiantes debían explicar este fenómeno desde la teoría ondulatoria, convencieron a los otros equipos llegando todos a un mismo consenso de la descripción de fenómeno de superposición de colores de la luz. Sin embargo, se puede observar en la tabla que las descripciones de todos los equipos excepto el cinco, se encuentran en la categoría 1, ya que hacen uso de elementos como los que se discutieron alrededor del experimento, por ejemplo el equipo uno afirmó: *“Por medio de la teoría ondulatoria podemos explicar este fenómeno, donde se plantea un fenómeno de interferencia constructiva*

y destructiva, evidenciamos la constructiva solamente, la cual consiste en reunir todas las ondas formando una sola de gran magnitud, ya que si fuese destructiva, pensaríamos que se ve como negro.” Esta descripción es bastante completa y detallada, ya que retoma elementos conceptuales como los de *interferencia constructiva* y *destructiva* que articulan con lo que observaron en el fenómeno, de esta manera logran concluir que lo que están observando en dicho fenómeno es una superposición de colores de la luz, produciéndose así un fenómeno de interferencia constructiva cuando ven el color blanco y una destructiva cuando el color es negro

### **5.5. Análisis de la Fase de Refracción**

Al igual que en la sección anterior, se presentan los resultados de la tabla No.3 (ver anexo 5) que corresponde a la fase experimental del fenómeno de refracción, dicha tabla está organizada de la misma manera como se organizó la tabla 1, la cual fue explicada en el análisis de la fase de reflexión. Algo importante para resaltar en esta fase, es que las respuestas dadas por los estudiantes se estructuraron mejor en cuanto a los elementos categóricos planteados. A pesar del poco tiempo, se nota una evolución, en cuanto a coherencia y cohesión en las descripciones a las distintas actividades experimentales.

Por otro lado la tabla No. 3, se encuentra organizada de tal forma que la columna uno hace referencia a cada uno de los equipos participantes, la segunda es la respuesta de los estudiantes a dos situaciones particulares; la primera tiene que ver con la descripción del movimiento de un chinche en dos líquidos de diferente densidad, agua y aceite, y la segunda es la respuesta a la pregunta “¿Crees que después de que el primer carro toque la sección de arena, se va a seguir viendo la línea recta de carros? Explica tu respuesta”, que corresponde a un experimento mental ideado para que los estudiantes pudieran observar el cambio de dirección que experimentaba una serie de carros en línea recta que se movían a velocidad constante, cuando cada uno de ellos tocaba una sección de arena (ver anexo 7, sección: Fase del fenómeno de refracción-segunda actividad). De otra parte, la tercera columna es la descripción de lo que sucedió cuando se colocó un triángulo de acrílico y las ondas generadas en la cubeta de ondas incidieron en él, la cuarta y quinta columna hacen referencia como en

la fase anterior, a la descripción que hicieron cada uno de los equipos desde las perspectivas corpusculares y ondulatorias para el fenómeno de refracción de la luz, en donde los estudiantes debían responder como se explica desde la teoría corpuscular y ondulatoria la refracción de un rayo de luz en dos medios con distinto índice de refracción. Finalmente se encuentra en la sexta columna el análisis que los estudiantes hacen ante la pregunta *¿Se podría explicar el experimento del efecto fotoeléctrico pensando en la luz como una onda?* Que hace referencia a la actividad adicional del video del efecto fotoeléctrico.

De esta manera se encuentra que para la actividad experimental de la refracción de partículas, se pueden situar las descripciones de los equipos uno, tres y cuatro en la categoría 3, ya que únicamente se centraron en describir si las velocidades del chinche en ambos medios eran mayor o menor. Por ejemplo el equipo tres afirma que: *“El movimiento del chinche en el aceite tuvo una velocidad menor al sumergirse, que la velocidad que tuvo en el agua”* Es evidente que la descripción no retoma elementos de reflexión o discusión en torno a la razón del porqué el chinche es más lento en un medio que en otro, contrario a esto, los equipos dos, cinco y seis presentaron descripciones en donde relacionaron elementos conceptuales como la densidad con la velocidad de bajada del chinche. Por ejemplo, el equipo seis describe: *“En el aceite el chinche descendió con menor velocidad, con respecto a la mezcla de agua con leche, pues sus densidades son distintas, además el chinche se vio de mayor tamaño al pasar por el aceite.”* Esta descripción tiene un carácter explicativo, sin dejar de ser una descripción, puesto que los estudiantes han asociado un efecto a una causa, a saber, la velocidad del chinche varía si las densidades de los medios en los que se mueve son diferentes.

En la segunda actividad los equipos dos, tres y cuatro se centran únicamente en los elementos experimentales para describir el fenómeno de refracción de ondas en el agua, afirmando en general que lo que sucede es que las ondas al incidir sobre el triángulo de acrílico cambian su dirección y velocidad. Por ejemplo, el equipo dos afirma que: *“Cuando no se pone el triángulo, las ondas siguen de largo su trayectoria normalmente, pero al poner el triángulo, las ondas quedan obstruidas y no sigue su ciclo normal como sin el triángulo.”* Se puede analizar de esta respuesta que estudiantes del equipo realizaron un ejercicio comparativo,

para encontrar las características del comportamiento de las ondas en el agua cuando está el triángulo de acrílico y cuando se quita, sin embargo y como se observa no es una descripción muy elaborada en términos de las discusiones que podrían establecer, como por ejemplo si el sentido de la onda es el mismo, o en que afecta el triángulo, más allá que este sea un obstáculo.

En contraste a lo anterior, se observó que los equipos uno, cinco y seis realizaron descripciones que se ubicaron en la categoría 1, ya que retomaron elementos tales como la posición del triángulo respecto a la fuente puntual, el triángulo como un medio diferente al agua y la distancia del triángulo a la fuente puntual. Por ejemplo el equipo uno realizó la siguiente descripción: *“Realizamos dos experimentos, ubicando en un primer momento el triángulo al lado de la fuente, la cual al ser encendida las ondas se propagan en la dirección del triángulo y se observa más velocidad. Y poniendo el triángulo en frente las ondas se chocan y se reflejan en dirección contraria.”* Se puede notar que los estudiantes no se limitaron únicamente a observar, sino que además se preguntaron si el fenómeno de refracción en la cubeta dependía de la posición del triángulo respecto a la fuente puntual de ondas, notando que al pasar del agua al acrílico había una variación en la velocidad, además de esto retoman el elemento conceptual del medio y logran comprender que el acrílico es un medio diferente al agua.

En la tercera actividad, que abarca las descripciones en las columnas cuatro y cinco, los estudiantes debían describir la refracción de un rayo láser en un recipiente con dos fluidos refringentes, imaginando en primer lugar que el rayo estuviera compuesto por partículas y en segundo que el rayo fuera una onda, con respecto a la consideración del rayo compuesto de partículas, las descripciones realizadas por los equipos uno, tres y cinco se situaron en la categoría 3 ya que se centraron en elementos tales como la dirección del rayo y el medio en el que fue más visible el rayo, un ejemplo de esto es la respuesta del equipo uno: *“Al observar las partículas, el rayo cambia de dirección en las distintas sustancias(medios)”* En principio pareciera ser que el equipo pensó en escribir lo que la docente encargada quería que respondieran, por lo cual escribieron que observaron partículas, de otra parte se puede observar que los estudiantes reconocen las sustancias como los medios, pero no asocian

ninguna característica particular para decir que el rayo cambia de dirección, cuando los medios son distintos.

Contrario a las descripciones anteriores, los equipos dos y cuatro establecen descripciones que se ubican en la categoría 1 al retomar características, como la densidad de un fluido para describir el fenómeno observado, por ejemplo el equipo cuatro dio la siguiente respuesta: *“Lo que sucede en el aceite, es un cambio de velocidad, por eso se ve como si cambiara su dirección, debido a que el aceite es más denso (espeso) que el aire.”* Esta descripción pareciera ser muy similar a la de los equipos que solo consideraron aspectos experimentales, sin embargo tiene un elemento adicional, y es que el cambio de dirección y de velocidad del rayo de luz cuando este cambia de medio lo asocian a la densidad de la sustancia, a pesar de que sigan considerando que esta tiene relación con la viscosidad del fluido.

Solamente el equipo seis dio una descripción que se ubicó en la categoría 2, puesto que retomaron elementos conceptuales como la energía, pero sin saber ubicarlos dentro del contexto experimental: *“Al propagarse la luz e interactuar con la materia, la luz se comporta como partícula y transporta energía”* Es notorio como este equipo le asocia a las partículas una característica tan particular de las ondas como es el transporte de energía, esto implica de alguna manera que los estudiantes intentaron retomar aspectos conceptuales para describir el fenómeno, pero al no haber un proceso de reflexión, se quedaron en una vaga enunciación de elementos conceptuales pertenecientes a la teoría ondulatoria.

En relación a la descripción del fenómeno de refracción del rayo láser suponiendo este como una onda, se encontró que los equipos de trabajo dos, tres y cinco, elaboraron descripciones teniendo en cuenta las observaciones y descripciones realizadas en la actividad dos de esta fase, por ejemplo el equipo dos realizó la siguiente descripción: *“En el agua y el aceite, se notó un cambio en la trayectoria de la luz, al igual que sucedió con el agua y el acrílico, se observaba como cambiaba el sentido cuando las ondas chocaban con el acrílico.”* En esta descripción se puede observar que los estudiantes inician describiendo lo que observaron experimentalmente y luego acoplan esa observación con la refracción que se producía cuando la onda mecánica producida en el agua por la fuente incidía sobre de triángulo de acrílico, y

muestran que esa refracción tiene que ver con el cambio de dirección en el caso de la luz y con el cambio de sentido en el caso de las ondas en el agua.

Por otro lado, los equipos cuatro y seis, se preocuparon por realizar sus descripciones retomando únicamente elementos conceptuales, tales como la energía y los cambios de dirección del rayo con respecto a una recta perpendicular. Por ejemplo el equipo cuatro dio respuesta a la situación planteada, afirmando que: *“La onda en el aceite rebotaría paralelamente a la dirección inicial respecto a una recta normal perpendicular al aceite.”* Se encuentra que los estudiantes inician su descripción realizando una predicción al decir que la onda rebotaría paralelamente a la dirección inicial, sin embargo, es curioso que deban recurrir a esta alternativa cuando pueden observar e interactuar con el fenómeno, de la misma manera afirman que la onda rebotaría paralelamente a la dirección inicial con respecto a la normal, pero en realidad lo que se logra observar es que la dirección de reflexión de la onda no es paralela, sino opuesta a la dirección inicial, lo cual indica que los estudiantes al preocuparse por los elementos conceptuales que pudieran retomar, dejaron de lado las reflexiones y discusiones que podían entablar en relación a dichos elementos. Solamente el equipo uno realizó una descripción ubicada en la categoría 3, es decir de corte experimental, retomando los elementos descritos del fenómeno de refracción a escala macroscópica y afirmando que al igual que en dicho experimento, el rayo cambiaba de dirección y aumentaba su velocidad, aunque evidentemente este no es un aspecto perceptible cuando el rayo incide sobre los dos medios.

Para finalizar el análisis de esta fase, se puede observar en la última columna que con respecto al video (actividad adicional), la mayoría de equipos presenta descripciones muy similares, puesto que al igual que en la actividad adicional de la fase del fenómeno de reflexión, esta actividad se planteó de manera grupal para fomentar procesos de discusión y reflexión entre los equipos al responder si el efecto fotoeléctrico podría explicarse o no desde a teoría ondulatoria. Por ejemplo, los equipos cinco y seis recogen varios elementos del video y hacen una descripción detallada del porque no se puede describir el efecto fotoeléctrico mediante la teoría ondulatoria, de esta manera, el equipo cinco afirma lo siguiente: *“...consideramos que para que se produzca este experimento se necesita de un cuanto de radiación o fotón, el*

*cual sería absorbido por el electrón, cuando se incrementa una intensidad de radiación sobre el metal, aumenta la emisión de electrones, pero no su energía.*” Es evidente como esta respuesta presenta una carga conceptual muy fuerte, pero no confusa, ya que entienden que para que haya efecto fotoeléctrico se necesita de un fotón que lleve una cantidad de energía suficiente, para que pueda desprender un electrón de una superficie metálica.

De la misma forma el equipo uno en palabras menos teóricas que el equipo anterior, dan respuesta a la situación planteada, diciendo: *“No porque este fenómeno no cumplía con las características de las ondas por tanto no se podría describir desde la teoría ondulatoria, por lo cual se llevó al estudio desde las partículas retomada por Einstein el cual modifíco esta teoría diciendo que las partículas ahora serían los fotones que arranquen a los electrones.”* Si bien esta respuesta no es tan elaborada como la del equipo cinco, los estudiantes logran aceptar que el efecto fotoeléctrico no es posible explicarlo desde la teoría ondulatoria, y esto lo justifican afirmando que en el fenómeno del efecto fotoeléctrico no se encuentran características similares a las que presentan las ondas. Lo anterior muestra cuán importante es la actividad adicional en el proceso de describir la naturaleza de la luz para los estudiantes, ya que al identificar que el efecto fotoeléctrico se describe considerando la luz como partículas y que la superposición de colores se describe considerando la luz como una onda, tienen dos perspectivas diferentes y ninguna de ellas se puede desechar, puesto que una no puede dar razón de la otra.

## **5.6. Análisis de la Fase de Final**

En esta sección se presenta el análisis de la tabla No. 4 (Ver anexo 6), la cual se podría decir es la más importante de todos los resultados de la estrategia de aula, ya que es allí en donde por una parte se recogen todos los elementos trabajados a lo largo de la propuesta y por otra se va a evidenciar si se cumple el objetivo planteado para esta investigación y esto será una de las pautas que permitan afirmar si la estrategia de aula diseñada, que se presentó a los estudiantes fue pertinente o si debe modificarse en su mayoría de aspectos.

La tabla No. 4 muestra las respuestas de manera literal que han dado los estudiantes para la fase final, su organización está estructurada de tal forma que al igual que las otras dos tablas en la primera columna se muestra el número del equipo que obviamente en cada una de las tablas siempre fue el mismo, en la segunda columna se pueden observar las explicaciones que dan los estudiantes ante la siguiente situación planteada: “ *Imagina que nadie ha estudiado este fenómeno y que acabas de descubrirlo en tu laboratorio con tu equipo de trabajo, discute con tus compañeros y construyan una descripción que de razón del fenómeno.*”

Cabe aclarar que esta situación está enmarcada en el fenómeno de interferencia de ondas desarrollado en una cubeta de ondas, de otra parte la columna tres hace referencia a las respuesta de los estudiantes para la pregunta “*¿Qué aspectos de los que has venido trabajando a lo largo de la práctica experimental encuentras en el video del Dr. Quantum?*.” Se dirá que en el análisis para esta actividad no se pretende categorizar las respuestas, ya que se buscaba únicamente que los estudiantes encontraran elementos en común entre el video y los experimentos exploratorios desarrollados a lo largo de la propuesta, continuando la organización, la columna cuatro contiene en sí misma la pregunta que se desarrolla, y hace referencia a que era lo que se esperaba antes del experimento de la doble rendija y que fue lo que se observó, la quinta columna contiene las descripciones para la situación de la interferencia de la luz, en donde cada equipo debía realizar una descripción del fenómeno, para ello se buscó que los estudiantes pudieran usar como un elemento las reflexiones de la columna anterior, y la sexta columna es la conclusión final a la que llegaron los estudiantes mediante la elaboración de un mapa conceptual, en donde definieron si la luz es una onda, una partícula o las dos cosas.

Inicialmente se puede observar en la tabla No. 4, que para la primera actividad propuesta de esta fase, los equipos uno, tres, cinco y seis dan unas descripciones muy estructuradas, en donde describen lo que observan experimentalmente, pero entrelazándolo con los elementos teóricos, por lo cual sus descripciones se ubican en la categoría 1. Un claro ejemplo de esto es la descripción del fenómeno de interferencia en la cubeta de ondas que hace el equipo seis: “*Primero que nada, las ondas se producen por una perturbación en un medio, en este caso*

*el agua y se propagan por medio de este, al haber dos pines se generan ondas idénticas pero que parten de puntos distintos y luego de un pequeño periodo de tiempo se encuentran chocando unas con otras eliminándose entre ellas o intersectándose.”*

Se puede notar en un primer plano que reconocen como una característica, que las ondas mecánicas necesitan de un medio para propagarse, y ubican el medio correspondiente en el experimento, es decir, el agua, luego se centran en describir como ocurre el fenómeno, afirmando que a pesar que las ondas parten de puntos distintos, llega un instante en el que se presenta el fenómeno de interferencia, se puede observar como la estructura de la descripción, referente a las fases anteriores es bastante completa, enlazando de una manera muy coherente los elementos conceptuales con los experimentales, y mostrando a través de sus reflexiones un nivel aceptable de comprensión del fenómeno.

De otra parte se puede observar que los equipos dos y cuatro realizan descripciones claras y contundentes, en donde se nota la evolución de sus respuestas referente a las actividades anteriores, sin embargo recogen únicamente los aspectos experimentales que observaron y con los que interactuaron, por ejemplo el equipo cuatro afirma: *“En el momento en que un objeto incide en el agua, se crean circunferencias secuencialmente que se amplían (agrandan)... y aunque se crucen siguen su trayectoria.”*, la respuesta anterior muestra que los estudiantes de este equipo realizan su descripción teniendo en cuenta la forma de las ondas y la consecuencia de la interferencia que se presenta, a saber, una mayor amplitud de las ondas, sin embargo aspectos como los mencionados en esta interpretación quedan por fuera de su discusión, impidiendo modificar su comprensión alrededor del experimento con el cual interactuaron.

Para la segunda actividad propuesta, se encuentra que todos los equipos recogieron varios aspectos de los que se trabajaron a lo largo de la propuesta, entre ellos el comportamiento de las partículas y así mismo el de las ondas cuando chocan con algunas superficies, tal como lo planteo el equipo dos, de otra parte también hicieron referencia a algunos de los fenómenos que se abordaron en la propuesta, así como lo afirma el equipo tres: *“Cuando hemos experimentado en el laboratorio, con el aparato que genera ondas en el agua al lanzar cada uno de los palitos se propagaba una onda, esta se cruzaba, es decir se interferían generando*

*muchos patrones de interferencia.*” Si bien el equipo no describe el montaje en términos técnicos, su descripción contiene elementos de discusión claves para la comprensión del fenómeno, como el hecho de que cuando varias ondas se cruzan entre ellas, generan patrones de interferencia, lo cual es una característica fundamental de las ondas.

Los elementos enunciados por cada uno de los equipos comienzan a dar cuenta del impacto de la estrategia en los estudiantes, ya que en cada una de sus respuestas, se van formando hilos conductores para recurrir a las descripciones realizadas de actividades anteriores, para dar cuenta de los nuevos fenómenos con los que se van enfrentando.

Para la tercera pregunta abordada en la tabla No. 4, tampoco se realizó una categorización, ya que se buscaba saber cuáles eran las hipótesis que formulaban los equipos antes de realizar el experimento de la doble rendija y referente a ello como modificaban sus ideas ante los resultados obtenidos. De esta manera, se puede observar que los equipos uno, dos, tres, cinco y seis esperaban relativamente lo mismo, que el rayo se dividiera en dos al atravesar las rendijas y que como resultado, en la pared se observaran dos puntos o dos líneas paralelas, solamente el equipo cuatro esperaba ver un punto asociándolo con el comportamiento de la materia. De los resultados obtenidos por las descripciones de los estudiantes se puede observar que los equipos uno y cuatro observaron que los “puntos” reflejados en la pared se podían entender como una especie de línea horizontal, mientras que los equipos tres, cinco y seis realizan una descripción en donde referencian la actividad de la interferencia de ondas mecánicas y la asocian con lo que están observando. Por ejemplo, el equipo cinco dijo: *“Logramos observar como la luz se proyecta en una línea horizontal, pero dentro de esta hay pequeñas divisiones donde hay luz y otras donde no, pudimos observar también que la franja del centro es la que tiene mayor intensidad de la luz”* con esto hacen referencia implícitamente al fenómeno de interferencia de las ondas, que se caracteriza principalmente porque su punto de máxima intensidad se encuentra en el centro de una pantalla donde inciden las ondas, y porque al intersectarse y anularse en diversos puntos, se obtienen patrones de interferencia, luego entonces se observa que mediante las reflexiones generadas en los equipos, se exteriorizan elementos como el de la máxima intensidad y el del patrón de interferencia que los estudiantes lo ponen como *“pequeñas divisiones”*, que se asemejan a

algunos elementos conceptuales que corresponden a las ideas enunciadas por Thomas Young y que hoy día se aceptan como ciertas en la situación particular del experimento de la doble rendija.

La cuarta pregunta está estrechamente relacionada con la anterior, puesto que aquí debían dar cuenta mediante sus descripciones anteriores del fenómeno de interferencia de la luz. Cada uno de los equipos presenta una descripción muy interesante, puesto que dejan al descubierto la forma en como están comprendiendo dicho fenómeno, por lo cual se hace necesario y dispendioso dar a conocer cada una de las respuestas de los equipos y hacer un análisis para cada una:

El equipo uno presenta una descripción que se ubica en la categoría 1, que aunque no es muy elaborada contiene elementos conceptuales y experimentales que intentan discutir en su respuesta: *“Inicialmente al momento de ocurrir las ondas, estas se van dispersando en el instante que pasan por las rejillas, propagando más ondas que a la vez se unen, convirtiéndose en varias.”* Se puede evidenciar que los estudiantes imaginan que las ondas de luz son iguales que las ondas mecánicas que se propagan en el agua, asumiendo las ranuras de la rejilla como fuentes puntuales, así al pasar el rayo este se divide y se convierte cada uno en una fuente puntual que propaga una onda que interfiere con la otra y esto como consecuencia producirá el patrón de interferencia.

El equipo dos realiza una descripción mucho más detallada que la del equipo uno, puesto que pone de manera explícita los elementos conceptuales y experimentales que considera: *“Se puede explicar, desde el punto de vista que las ondas o partículas, chocaron y no se dispersaron en diferentes direcciones, sin embargo se ve reflejado una onda constructiva como en las ondas, una interferencia constructiva...”* En esta respuesta se pone en dialogo elementos como las direcciones en las que ellos piensan que va el rayo y la forma en cómo se produce el patrón de interferencia. El primer aspecto a considerar es que al iniciar la descripción, no diferencian de si aquello que sale del láser es una onda o una partícula, y esto indica que no han desechado ninguna de las dos posibilidades para dar cuenta de la naturaleza de la luz, sin embargo este primer aspecto es descartado cuando asumen que aquel patrón de

interferencia que se vio reflejado en la pared, solo puede ser producto de la interferencia que causan las ondas cuando chocan entre ellas.

El tercer equipo presenta una respuesta que se ubica en la categoría 2, debido a que centra su descripción en la interferencia de las ondas; *“en el punto proyectado en la pantalla, se logran ver ondas con partes más iluminadas (interferencias constructivas) y partes más oscuras (interferencias destructivas)”* Es claro que los estudiantes no describen como imaginan lo que sucede cuando el rayo atraviesa la rendija, sino que caracterizan el resultado obtenido después de realizar el experimento, la cual hacen a partir del elemento conceptual de la interferencia, afirmando que logran ver las ondas y que los puntos visibles hacen referencia a una interferencia constructiva y las zonas oscuras a una interferencia destructiva.

De la misma manera que el equipo anterior, el cuarto equipo da una respuesta que se ubica en la categoría 2, sin embargo exponen una afirmación apresurada, que aunque cierta la dejan injustificada: *“Se logró comprobar que la luz es una onda y una partícula, para poder explicar todos sus fenómenos”* Es poco probable que los estudiantes hayan logrado comprobar que la luz es una onda y una partícula, ya que ni siquiera después de tener en cuenta todas las actividades propuestas en la estrategia planteada en este trabajo de grado, dicha afirmación se podría comprobar, lo máximo que se puede establecer aquí, es que existen fenómenos que se explican solo desde la perspectiva corpuscular y otros que solo admiten una explicación desde la perspectiva ondulatoria y que por tanto ninguna de las dos se puede desechar.

El equipo cinco propone una descripción muy interesante, que se ubicó en la categoría 1, puesto que acopla el elemento conceptual de la interferencia con el experimento de la doble rendija, afirmando lo siguiente: *“Lo más probable es que la luz se fragmente al pasar por la lámina con las dos ranuras, llegándose a dar una interferencia entre aquellas rayas de luz, puede ser una interferencia destructiva”* Un primer aspecto que se evidencia, es que no dan por sentado que la descripción que ellos elaboraron sea correcta, sino que dan cuenta del fenómeno en términos de una probabilidad, por otro lado su comprensión de este fenómeno pareciera va encaminada hacia las ondas, pues su conclusión termina siendo que se genera

un patrón de interferencia, sin embargo, ponen de manifiesto que no son las ondas las que interfieren, sino la luz que se fragmenta al pasar por la rendija.

Contrario a lo anterior, el equipo seis establece su descripción dando por sentado que lo que sucede en este fenómeno, es que el rayo de luz se divide en dos ondas que interfieren consigo mismas y generan un patrón de interferencias: *“El resultado que se obtuvo en esta experiencia, es que cuando pasaba la luz por la ranura al atravesar la rendija la luz se convertía en dos ondas que se intersectan entre sí”* Esta es una descripción de corte experimental, es decir situada en la categoría 3, ya que su reflexión no va encaminada a pensar en lo que pasa cuando el rayo de luz atraviesa las dos ranuras, sino en el resultado, de esta manera si el resultado es un patrón de interferencias, es porque aquello que salió del láser y cruzo la rejilla, tenía que ser ondas.

En la última columna de la tabla No. 4 se presenta la conclusión de los estudiantes referente a cómo comprendieron la naturaleza de la luz, es decir que es en este punto en donde se va a observar si se logró cumplir el objetivo propuesto para este trabajo de investigación. Se encontró que la conclusión de los equipos cuatro, cinco y seis se puede ubicar en la categoría 1, puesto que recogen varios de los elementos experimentales trabajados a lo largo de la propuesta y lo articulan de manera clara y coherente con los elementos teóricos que al finalizar ya eran conocidos por ellos a través de sus revisiones en el blog y sus reflexiones en cada fase, por ejemplo el equipo cinco concluye afirmando: *“Como conclusión, nosotros decimos que la luz está conformada por ondas, pero también por partículas, porque el efecto fotoeléctrico se explica con la idea de los fotones que pueden ser como partículas, y por ejemplo en el experimento de las dos las rendijas se vio que la luz se comportaba como ondas, ósea que tanto Newton como Huygens tenían la razón.”* Es claro que sin conocer como tal el modelo de dualidad onda-partícula, el equipo logra dar cuenta de sus características a partir de actividades como la del video del efecto fotoeléctrico y la del experimento de la doble rendija y concluye que no se puede desechar ninguna de las dos teorías, puesto que ambas son necesarias para explicar diferentes fenómenos. De otra manera el equipo cuatro que también concluye que son necesarias las dos teorías, recoge como elemento fundamental para justificar su explicación, el efecto fotoeléctrico en cuanto a la

teoría corpuscular y menciona el trabajo de Maxwell en cuanto a la teoría ondulatoria, así mismo el equipo seis llega a la misma conclusión retomando el experimento de la superposición de colores para las ondas y el efecto fotoeléctrico para las partículas. En contraste con estos equipos, los equipos uno, dos y tres llegan a la misma conclusión, lo cual permite decir que también tuvieron alguna comprensión alrededor del modelo dualidad onda-partícula, pero su conclusión quedó bastante injustificada al suponer solamente que la luz debía ser entendida como una dualidad, pero sin argumentar desde las bases experimentales o conceptuales trabajadas a lo largo de la propuesta porque la naturaleza de la materia microscópica es dual

### **5.7. Impacto de la estrategia de aula**

La propuesta presentada en este trabajo de investigación se diseñó de tal manera que los estudiantes pudieran caracterizar los fenómenos a escala macroscópica y aquello pudieran trasladarlo a los fenómenos de la luz, esto se justifica en la medida en que es imposible percibir ondas o partículas en un rayo de luz, sin embargo se pueden encontrar características similares a estas tales como los patrones de interferencia que se generan en el experimento de la doble rendija que pueden ser evidentes de alguna manera en el experimento de interferencia de las ondas en el agua con la cubeta, así mismo se puede asociar de alguna manera lo que sucede en el efecto fotoeléctrico, cuando una pelota golpea a otra y la hace saltar del lugar en donde se encuentra.

A lo largo de todo el análisis fue evidente como los estudiantes retomaban varios aspectos de las prácticas experimentales a escala macroscópica y del blog teórico, para dar descripciones cada vez más elaboradas a los experimentos relacionados con la luz, y al finalizar cada una de las fases desarrolladas, cada equipo iba obteniendo más elementos conceptuales y experimentales para poner en discusión en sus descripciones y así tener en cada fase estructuras más completas. Es importante recalcar que lo anterior no hubiese sido posible si

se hubieran realizado solo los experimentos con la luz y no se hubieran realizado los experimentos exploratorios a escala macroscópica, acompañados de las fases teóricas del blog en línea, pero tampoco hubiese sido posible si solo se hubiera implementado el blog teórico, ya que la teoría es un complemento del experimento, pero el experimento también es un complemento de la teoría, y los dos estudiados de manera individual y sin relación, no permiten establecer adecuados niveles de comprensión de los fenómenos que se estudien, independientemente de si estos pertenecen a la física clásica o a la moderna. Es por todo lo anterior que se puede afirmar que la estrategia de aula tal cual como se diseñó, tuvo un impacto positivo a la hora de lograr el objetivo planteado en el trabajo investigativo.

Es claro que aunque el diseño de la estrategia de aula fue exitoso en su diseño, no se puede afirmar que haya sido perfecto, puesto que hay actividades que deben mejorar si se quiere volver a implementar, por ejemplo el experimento mental se debe pensar de otra manera para que los estudiantes sean capaces de relacionar el cambio de dirección de las partículas como una de las características del fenómeno de refracción, así mismo en la cubeta de ondas, para muchos estudiantes no fue tan claro que cuando la onda incidía en el triángulo de acrílico, lo que sucedía era que estaba cambiando de medio y por ello se producían esos cambios de dirección de las ondas en el agua.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que esta propuesta se diseñó para un tiempo aproximado de cuatro días, en donde el primer día se socializó la fase introductoria del blog teórico, el segundo día se realizó la fase del fenómeno de reflexión, el tercer día la fase del fenómeno de refracción, el cuarto día la fase final y la socialización de todo el trabajo realizado, por lo cual si se quisiera llevar esta propuesta al aula de clase como uno de los tópicos a trabajar en el currículo, deberían incluirse más actividades en el blog teórico que amplíen mucho más el espectro teórico de los estudiantes de cada uno de los fenómenos trabajados.

## CAPÍTULO 6

### Conclusiones

- ✓ La comprensión en este trabajo de grado y como se pudo notar en los análisis está enfocada en dos elementos; la relación entre elementos conceptuales y experimentales que hicieron los estudiantes mediante las descripciones de los fenómenos con los que interactuaron a lo largo de la propuesta, y por otro lado las discusiones que se pueden establecer entre los estudiantes y el docente para consensuar una descripción de los fenómenos que se aborden tanto en el aula de clases, como en la vida cotidiana. Estos dos aspectos fueron cruciales para que los estudiantes realizaran procesos de creación mental y lograran a través de los elementos ya mencionados tener algún nivel de comprensión del modelo dualidad onda-partícula.
- ✓ Se pudo evidenciar que la totalidad de los estudiantes lograron concluir que la luz debía ser entendida como una dualidad, sin embargo solo tres de los equipos logró dar argumentos en donde recogieran elementos conceptuales y experimentales trabajados a lo largo de la propuesta para llegar a dicha conclusión.
- ✓ Las socializaciones después de cada una de las fases trabajadas, fueron elementos indispensables para conocer de qué manera estaban pensando los estudiantes sus descripciones alrededor de los fenómenos trabajados. Fue incluso en estas discusiones que algunos de los estudiantes, permeados por las descripciones y argumentos de los otros equipos cambiaron sus ideas sobre cómo concebían los fenómenos.
- ✓ El diseño del blog teórico, fue una herramienta fundamental para el proceso de confrontación de las ideas aceptadas por la comunidad científica y las elaboradas por

los diferentes equipos de estudiantes, esto permitió que en cada una de las socializaciones de las fases, los estudiantes argumentaran desde su trabajo por que dichas teorías y leyes si podían o no dar cuenta del fenómeno observado.

- ✓ Tener en cuenta algunos de los presupuestos del aprendizaje por investigación orientada en la implementación de la estrategia de aula, fue una elección pertinente, pues esto permitió generar procesos de reflexión y discusión, entre los estudiantes de un mismo equipo, entre los distintos equipos, y entre la docente y todos los estudiantes, lo cual fue indispensable para la elaboración de las descripciones realizadas por los estudiantes, de cada experimento exploratorio abordado en la propuesta.
- ✓ Cada fase permitió a los estudiantes tener más elementos conceptuales y experimentales para establecer cada vez mejores procesos de discusión y reflexión alrededor de los fenómenos estudiados. Esto se evidencio en la estructura de las descripciones que elaboraban los estudiantes en cada una de las fases.
- ✓ Es necesario pensar en rediseñar la actividad del experimento mental en la segunda fase (Fase del fenómeno de refracción), puesto que fue evidente que los estudiantes no la retomaron como un aspecto fundamental para describirla refracción de la luz si suponían que esta estaba compuesta por partículas, razón por la cual tuvieron que recurrir a elementos teóricos de la fase introductoria del blog para dar respuesta a la situación planteada.
- ✓ No es posible afirmar que en el lapso de cuatro sesiones, los estudiantes lograran una comprensión total del modelo de dualidad onda partícula, sin embargo en los resultados obtenidos fue evidente que los estudiantes tienen alguna comprensión sobre dicho modelo y que son capaces de retomar elementos de otras actividades experimentales para dar diversas descripciones desde sus niveles de comprensión.

## BIBLIOGRAFIA

Bautista, G., (2009). *Apuntes de cuántica*, Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá- Colombia. Pre-impreso No, 20

Brogie, L. D. (1957). *Continuidad y Discontinuidad en Física Moderna*. Madrid: Espasa-Calpe S.A.

Furio, C., Guisasola, J. (2001). *La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje por investigación orientada*. Innovaciones Didácticas, 320, 321.

Corchuelo, M. (2005). *El aprendizaje de las ciencias como investigación orientada*. Bogotá.

Gregorio, Rodríguez y Gómez (1996). *Metodología de la Investigación Cualitativa*. Granada. Ajibe.

Gribbin, J. (1986). *En busca del gato de Schrödinger. La fascinante historia de la mecánica cuántica*. Barcelona-España: Salvat Editores, S.A.

Sepúlveda, S (2012). *Los conceptos de la física, evolución histórica* (tercera edición). Editorial Universidad de Antioquía. Antioquia-Colombia

Sandoval, S., Ayala, M., Malagón, J., Tarazona, L. (2006), *El experimento en la enseñanza de las ciencias como una forma de organizar y ampliar la experiencia*. Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá-Colombia Bogotá

Hodson, D. (1994). *Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio*. Instituto de Toronto para estudios en educación. Toronto-Canadá

Matthews, M.R. (1994). *Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: Una aproximación actual*. Enseñanza de las ciencias.

Ferreiros, J., Ordoñez, J. (2002). *Hacia una filosofía de la experimentación*. Revista Hispanoamericana de Filosofía

Koponen, I. T. & Mäntylä, T. (2006 ). *Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching Physics: A Suggestion for Epistemological Reconstruction*. *Science & Education*, 15 (1) 31-54

De la Peña, L. (2011). *Cien años en la vida de la luz* (Vol. 1, pp. 1-143). . Fondo de Cultura Económica.

Hewitt, P. (2007). *Física Conceptual* (10th ed., Vol. 1). México: Pearson.

Martí, J. *La investigación - acción participativa. Estructura y fases.* 1-10.

La web de física. Física la web de. Revisado Abril 3, 2013, de <http://www.lawebdefisica.com/dicc/fermat/>

*La refracción de la luz.* Revisado Agosto 3, 2013, de <http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/39/refraccion.htm>

Se toma la imagen de la estrategia de aula. *En Naturaleza de la luz.* Revisado Septiembre 18, 2013, de 3) <http://f2malbaida.wordpress.com/2012/03/28/naturaleza-de-la-luz-2/>

Fanaro, M. (2009). *La Enseñanza de la Mecánica Cuántica en la Escuela Media* (Tesis Doctoral). Julio

Kirchner, A. (2011). *La investigación acción participativa (IAP).* 1-4

Tuffanelli, L. (2010). *Comprender. ¿Qué es? ¿Cómo funciona?* (Vol. 1). Piacenza, Italia: CEP Osuna-Écija.

## ANEXOS

### ANEXO 1: Descripción de la Segunda Sesión

El 26 de marzo, siendo las 6:30 am se da inicio a la segunda sesión de la implementación de la estrategia de aula. Estaban presentes alrededor de treinta y seis estudiantes, tres docentes practicantes, la docente encargada de la implementación y la docente titular. La clase inicio con la socialización de la fase de reflexión del blog teórico, en donde el objetivo era que los estudiantes lograran encontrar una relación entre lo que habían hecho de manera experimental y las actividades que habían sido desarrolladas en el blog en línea, de tal forma que en esta primera parte la docente encargada realizó varias preguntas asociadas a dichas actividades, la primera de ellas hacía referencia como tal a lo que ellos comprendían como fenómeno de reflexión. Al principio se notó un poco de timidez, pero se animó a los estudiantes a participar con lo que ellos comprendieran de dicho fenómeno sin pensar si la respuesta era correcta o no. De esta manera una de las estudiantes levanto la mano y dijo que de lo que ella había visto en el blog el fenómeno de reflexión era un cambio de dirección de las ondas y que se producía sobre superficies reflectantes, como por ejemplo los espejos que habían utilizado en la sesión pasada. En ese instante la docente encargada pregunto dónde habían evidenciado en las actividades experimentales el fenómeno de reflexión, a lo que varios integrantes de diferentes equipos mencionaron que la actividad con el láser, otros explicaron que en la experiencia de la pelota saltarina también se podía observar este fenómeno, y que aunque en las ondas no se veía igual que en el experimento del láser, también se podía asociar por el hecho de que las ondas cambiaran de dirección cuando las ondas golpeaban la placa semicircular.

La pregunta con la que se cerró esta socialización estaba direccionada alrededor de la relación entre el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción, en donde existió un pequeño debate entre dos equipos, que se tocara con mayor profundidad en los análisis de esa primera fase.

Después de los primeros veinte minutos de socialización se dio paso a la segunda fase de la estrategia de aula, el fenómeno de refracción, para lo cual se tenía dispuesto una primera actividad con una probeta, agua, aceite y las pelotas saltarinas, pero por cuestiones de organización se decidió cambiar a un recipiente transparente con ambos fluidos y chinches. En esta actividad, cada equipo debía observar la diferencia de la caída de un chinche de un medio al otro, para lo cual se les sugirió en el documento orientador que tuvieran en cuenta la rapidez que podían percibir en ambos medios. Debido a que en esta experiencia de los corpúsculos no es perceptible el cambio de dirección que experimentan las partículas, se propuso un experimento mental que fue expuesto para el grupo de estudiantes en general, pero desarrollado de manera individual, el experimento consistía en imaginarse un campo inicialmente pavimentado en donde se movían un grupo de carros uno al lado de otro, en una línea recta horizontal que avanzaban con la misma velocidad, sin embargo llegaba un punto donde existía una diagonal que dividía dicho campo en una sección de pavimento y arena que haría por su composición que los carros sufrieran mayor fricción que en el pavimento y que por tanto comenzaran a experimentar una disminución en la velocidad y por tanto se observara un cambio en la dirección inicial que llevaban. Surgieron varias hipótesis en los equipos alrededor de lo que sucedería, unos afirmaban con total seguridad que se seguiría observando la misma línea recta ya que algunos carros al no entrar en contacto con la arena seguirían avanzando más rápido, mientras que los otros decían que cambiaría la dirección tomando la diagonal de la arena, para explicarlo cada equipo realizó su propio dibujo teniendo en cuenta sus hipótesis.

La siguiente actividad experimental de esta fase consistió en colocar un triángulo de acrílico en la cubeta de ondas y observar que sucedía cuando las ondas generadas por la fuente, incidían en el triángulo de acrílico. En esta parte dos de los equipos afirmaban que observaban exactamente lo mismo que en la actividad de reflexión de ondas con la placa semicircular, por lo cual la docente encargada les preguntó si observaban esto mismo independientemente de donde colocaran el triángulo, uno de los equipos afirmó que sí, que era igual, el otro logró percatarse de que la onda bordeaba el acrílico, pero además que la onda se veía diferente antes de incidir en el acrílico y después de este, mientras que los otros

cuatro equipos explicaban que la onda realmente cambiaba su velocidad por el efecto del acrílico.

Finalmente se realizó el experimento con el láser y el recipiente de agua con unas gotas de leche y aceite, donde los estudiantes para examinar el fenómeno, jugaron a hacer incidir el rayo láser en diferentes ángulos respecto a la línea normal a la superficie. Se podía observar como algunos equipos pensaban que el fenómeno que estaban observando no solo dependía del ángulo de incidencia, sino también de que tan cerca estuviera el láser del recipiente, otros al echar talcos en la dirección de propagación del rayo notaron como al aceite ser una superficie lisa, se podía observar simultáneamente una reflexión sobre la superficie del aceite.

Cabe resaltar que la docente encargada de la implementación pasaba por cada uno de los equipos, escuchando como explicaban los fenómenos y formulando algunas preguntas a los equipos en relación a lo que pasaría si cambiaran ciertos aspectos en la experiencia, como el ángulo, o los fluidos o incluso la misma luz, estas tenían la finalidad de ayudar a debatir a los estudiantes entre ellos para que llegaran a un acuerdo de cómo describirlo observado, teniendo en cuenta los aspectos mencionados. Para finalizar la sesión de clase se pidió a los estudiantes que revisaran la fase de refracción y desarrollaran las actividades allí planteadas para realizar la socialización iniciando la siguiente clase.

## **ANEXO 2: Descripción de la Tercera Sesión**

La tercera sesión se realizó el día 27 de marzo a las 8:20 am, fue la última que se realizó con prácticas experimentales, desarrollándose la fase final que tenía como objetivo que los estudiantes pudieran asociar todo lo que se había venido trabajando con las actividades de esta fase, y por tanto pudieran debatir al interior de cada uno de los equipos para llegar a una conclusión final.

La primero que se hizo, como en las sesiones anteriores fue la socialización de la fase de refracción del blog teórico, en donde los estudiantes intentaron relacionar lo expuesto en el blog, con las actividades experimentales realizadas a lo largo de la sesión experimental, de esta manera se debatió entre los diferentes equipos la pregunta de que era el fenómeno de

refracción, en ese instante surgió una discusión entre los integrantes de un mismo equipo, ya que unos decían que el fenómeno de refracción era como lo decía en el blog el cambio de dirección de una onda cuando la onda atraviesa dos superficies de diferente índice de refracción, pero los otros decían que no que era el rebote del rayo de luz, porque cuando hicieron incidir el rayo en el recipiente de agua y aceite vieron lo mismo que pasaba en el espejo. Ante esta situación los demás equipos opinaron unos a favor de lo que teóricamente se conoce como el fenómeno de refracción y otros estaban a favor del experimento, hasta que llegamos al consenso de que se presentaban las dos situaciones al mismo tiempo y que esto se debía a la superficie del aceite que era tan lisa como el espejo.

Al igual que en las otras dos sesiones, los estudiantes respondieron varias preguntas de las que estaban planteadas en el blog, como por ejemplo porque cuando se tiene un pocillo con un objeto adentro y no se puede ver el objeto, al llenar el pocillo de agua, el objeto se vuelve visible. Muchos volvieron a recurrir al fenómeno de reflexión de la luz, afirmando que lo que sucedía era un rebote de la luz en el agua. Mientras que otros decían que tenía que ver con el fenómeno de refracción, aunque no utilizaban la teoría para explicarlo, sino lo hacían con sus propias palabras; *“Lo que sucede es que el rayo atraviesa el agua y entonces se introduce pero después rebota y por eso vemos el objeto.”* Ante esa afirmación algunos integrantes de cada equipo opinaron a favor y otros explicaban que eso no podía ser cierto porque lo que allí pasaba era que el rayo se fraccionaba por que entraba en el agua y lo se veía era ese fraccionamiento después de que la luz cruzaba el agua. Finalmente se discutió sobre la ley de Snell, y se dio lugar a la actividad adicional, la cual constaba de un video titulado *“El legado de Einstein”*, con una duración de veinte minutos y que explicaba el por qué se considera que el efecto fotoeléctrico debe ser explicado a través de la teoría “corpúscular” y no de la ondulatoria.

Las actividades experimentales de esta sesión, comenzaron con la exploración del fenómeno de interferencia en la cubeta de ondas, en donde el objetivo es que pudieran observar que sucedía cuando existían varias fuentes que perturbaran el medio y generaran ondas al mismo tiempo. De esta actividad se logró observar que la mayoría de equipos logro identificar lo que se podría llamar *“una suma de ondas”*, aunque todos los explicaban de diferentes

maneras, unos lo asociaban al medio, decían que esa suma se daba por que las ondas se propagaban en el agua y que por ejemplo esto no se iba a presentar si el medio fuera otro, como aceite, ya que la densidad del mismo haría que las ondas rebotaran. La docente encargada paso por cada uno de los equipos y respondió algunas preguntas en relación al fenómeno, de esta manera eso que ellos llamaron la suma de las ondas, se explicó que se trataba de una interferencia constructiva, en ese instante una de las estudiantes del equipo, hizo una relación muy interesante del comportamiento de las ondas; *“profe osea que algo parecido debe pasar con el sonido, porque por ejemplo entre más sonido se haga, más duro se oye, y esa sería la interferencia constructiva y el ruido sería la destructiva”* Fue curioso ver como la estudiante asociaba lo destructivo al ruido y para ella los sonidos armoniosos eran interferencias constructivas, a pesar que se intentó explicarle que el ruido era una interferencia destructiva y el silencio la constructiva, ella pareció no deshacerse de su idea por lo razonable que parece ser.

La siguiente actividad a desarrollar, fue la primera parte del video del Dr. Quantum, en la cual se trabajó un experimento con partículas (canicas), donde se podía observar algunos aspectos de los que se habían venido trabajando, como por ejemplo que las partículas rebotan cuando chocan contra algo, que si se pone una lámina con dos aberturas y una pantalla, después de lanzar muchas canicas, se lograran ver sobre la pantalla dos rayas de canicas, mientras que con las ondas se obtiene un patrón de interferencias, en el instante en el que se iba a realizar el experimento con luz de las dos ranuras, se detuvo el video y se discutió alrededor de lo que cada uno esperaba ver con la luz, suponiendo que esta estuviera formada por fotones, es decir partículas. Aquí no se hizo ningún tipo de corrección, solo interesaba de momento lo que cada estudiante pensará y pudiera discutir, en su gran mayoría esperaban lo que se suponía era evidente, es decir dos líneas como en las partículas, otros esperaban algún tipo de mancha, y un estudiante en particular, esperaba dos líneas perpendiculares cruzadas, afirmaba que al golpear las canicas contra el filo de las ranuras estas cambiarían a una dirección perpendicular. Cada equipo realizo el experimento, debatió con sus compañeros y llegaron a diferentes conclusiones, para unos fue muy evidente que la luz se estaba comportando como onda, otros sin embargo dijeron que eso que se veía era las diferentes

partículas que habían logrado pasar y curiosamente el estudiante que esperaba ver líneas perpendiculares, las vio.

Esta fase concluyó con la finalización del video y la socialización de cada equipo de manera individual, completaron las preguntas de su documento orientador y se dejó de tarea revisar la fase final del blog teórico en línea.

### **ANEXO 3: Descripción de la Cuarta sesión**

Esta sesión se desarrolló el día 31 de marzo, alrededor de las 6:45 am, se contaba con la presencia de la docente titular, la docente encargada de la implementación, tres estudiantes practicantes y alrededor de treinta y seis estudiantes. El objetivo en esta clase era dar un cierre a todas las actividades desarrolladas a lo largo de la implementación, para ello los estudiantes se reunieron en sus equipos de trabajo y se comenzó la discusión. En la primera pregunta se planteó el por qué se había realizado todas las actividades desarrolladas a lo largo de la semana, y fue curioso notar que algunos no recordaban que en la primera socialización, había surgido la pregunta acerca de la naturaleza de la luz, tanto así que afirmaban que el objetivo final de este trabajo era estudiar los fenómenos de reflexión, refracción e interferencia, sin embargo muchos otros recordaron que se había planteado en el inicio, dos teorías sobre la naturaleza de la luz y se quería saber cuál era la correcta.

De esa manera, se retomó toda la primera fase de la reflexión, se discutieron paralelamente los experimentos con partículas y con ondas y luego la relación que estos tenían con el experimento con luz. Allí la mayoría de equipos plantearon que se podía explicar desde las dos teorías, la ondulatoria y la corpuscular, por las similitudes que había entre el comportamiento del láser, las ondas y las partículas. Sin embargo uno de los integrantes de un equipo hizo una afirmación asociada a las características que había notado en cómo se comportaban las partículas: “... yo digo que si la luz fueran partículas y se chocaran contra

*el espejo, entonces todas se dispersarían, y no veríamos nada...*” y ante esa afirmación se propuso que pensarán en que todas las “canicas” por las que está conformada la luz, van de manera ordenada, que llevan una misma distancia entre ellas y una misma velocidad, es decir que no tienen la posibilidad de estrellarse unas con otras, y a partir de esa consideración varios estudiantes dijeron que en ese caso entonces la luz si se podría estudiar desde la teoría de partículas. Después se revisó la experiencia de la combinación de colores, para la cual tuvieron muchos más elementos para explicarla desde la teoría ondulatoria y no desde la corpuscular, un equipo hacía relaciones con el blog y con toda la parte de interferencia de las ondas, afirmando que ya que las ondas tenían la particularidad de sumarse, entonces ese color blanco que se había visto en la pantalla, era la suma de los colores primarios de la luz.

La segunda discusión que se planteó fue la de la refracción, en donde ya hicieron alusión a que en el video que se había visto sobre el legado de Einstein, después del experimento de Young, los fenómenos que habíamos estado estudiando se asociaban más a las ondas que a las partículas; *“... yo intente buscar sobre las partículas en la refracción y no había nada, pero en el video discutimos que después de Young se creyó que la luz eran ondas...”* Y por ese argumento, ante el cual muchos estuvieron de acuerdo, se discutió el fenómeno de refracción en términos ondulatorios, pero sin olvidar las comprensiones realizadas a través del experimento mental y el recipiente de agua y aceite con chinchas, incluso para los estudiantes tenía lógica hablar de la refracción como el cambio de velocidad en el medio, después de haber hecho el experimento con partículas, ya que como muchos afirmaron en dicha sesión: *“Profe pero yo no veo que las partículas disminuyan la velocidad... solo veo que el rayo se parte y en el agua como que se difumina toda... además que las partículas se ven es cuando uno echa el talco no??...”* Era interesante ver como algunos asociaban las partículas a los talcos que se ponían para observar el rayo, lo cual podría dificultar las comprensiones desde la teoría corpuscular para ellos.

Finalmente hablamos de la Fase de interferencia y los videos que se vieron para esta fase, discutiendo a la vez las actividades realizadas en el blog, y empezando a preguntar a partir de ellas cuál sería entonces la naturaleza de la luz, si para explicar la interferencia de Young se tenía que recurrir a la teoría ondulatoria, pero el fenómeno del efecto fotoeléctrico tenía

que ser vista desde la teoría de partículas. Esta situación se puso en discusión en cada uno de los equipos pidiendo que elaboraran un mapa conceptual donde recogieran todos los elementos trabajados y al final concluyeran algo sobre la naturaleza de la luz. Esta actividad fue muy emocionante, ya que muchos estaban confundidos entre ellos, se dividían los equipos y algunos lograban convencer a los otros con sus argumentos, hasta que varios preguntaban a la docente encargada si no podrían escoger las dos teorías como una forma de explicar la naturaleza de la luz, ante esa solución solo se podía responder que serían sus ideas y argumentos los que le dieran validez a esa conclusión y lo mejor es que tenían todos los elementos sobre la mesa para discutir alrededor de ello.

**ANEXO 4: TABLA No. 2: Respuestas de los estudiantes de la Fase de reflexión**

Fase 1: Fenómeno de reflexión					
Equipo	Con Partículas	Con Ondas	Con luz desde las Partículas	Con Luz desde Las Ondas	Experiencia adicional (Superposición de luces de colores)
1	Podemos decir, que según el ángulo de caída al momento de rebotar, forma el mismo ángulo que en el de bajada.	Las ondas se comportan de la misma forma, hasta que se encuentran con la placa se mueven circularmente de acrílico, la cual hace que las ondas se devuelvan por el mismo camino en el que venían inicialmente, generando que la onda se refleje.	Como partícula, igualmente cambia la dirección que venía inicialmente, similar al experimento de las pelotas.	Cuando las ondas se encuentran con un objeto que las detiene, este proporciona que se refleje en diferente dirección, como el experimento de la placa en la cubeta.	Por medio de la teoría ondulatoria podemos explicar este fenómeno, donde se plantea un fenómeno de interferencia constructiva y destructiva, evidenciamos la constructiva solamente, la cual consiste en reunir todas las ondas formando una sola de gran magnitud, ya que si fuese destructiva, pensaríamos que se ve como negro.
2	Al chocar la esfera contra la pared, esta refleja el mismo movimiento inicial con el mismo ángulo de simetría	Las ondas se comportan de tal manera que al ser interrumpidas por la placa, su movimiento es más rápido	Cuando las pelotas rebotaban en un mismo punto, se dispersaban en diferentes direcciones, mientras que con el láser en el espejo, estas rebotan en el sentido contrario al que fue apuntado, pero reflejando el mismo ángulo.	En este caso se evidencia que el rayo rebota produciendo un reflejo de él, como el de su ángulo, tal cual como se dio a conocer en el video de la energía.	Se podría explicar con la teoría de Huygens, ya que esta se basa en las ondas producidas por la luz, más exactamente la interferencia constructiva.
3	Cuando la pelota se lanza con un ángulo, y esta choca con la base, se devuelve en la dirección contraria a la que fue lanzada anteriormente y con el mismo ángulo, formando una "v"	Cuando se coloca la placa, las ondas tienden a distorsionarse un poco, entre más cerca se pone la placa, tiene más velocidad de propagación de las ondas...	Si el rayo fuera partículas, al chocar con el espejo, partiría en diferentes direcciones.	Si el rayo fueran ondas, al reflejarse en el espejo se distorsionarían.	Se puede explicar este fenómeno desde la teoría de Huygens, ya que es ondulatorio, porque las linternas al encontrarse se mezclan, formando la luz blanca, cosa que no se podría explicar con la teoría corpuscular, ya que las partículas al colisionar, partirían en diferentes direcciones y no podríamos ver la luz blanca.

**Continuación de la Tabla No. 2**

<b>Fase 1: Fenómeno de reflexión</b>					
<b>Equipo</b>	<b>Con Partículas</b>	<b>Con Ondas</b>	<b>Con luz desde las Partículas</b>	<b>Con Luz desde Las Ondas</b>	<b>Experiencia adicional (Superposición de luces de colores)</b>
4	Antes de chocar la pelota iba en una dirección determinada y al chocar, la pelota toma una dirección perpendicular a la inicial.	Cuando colocamos la lámina cerca al objeto que genera ondas con poca velocidad, las ondas parten con una forma y al momento de chocar con la lámina la forma se invierte...	Si la luz estuviera compuesta por partículas su forma no cambiaría al reflejarse, pues esta rebota creando un ángulo sobre x	Si el rayo fuera como una onda, en el momento de reflejarse, su tamaño aumentaría porque lo que hace la onda es expandirse desde el punto que empieza.	Es posible explicarlo desde la teoría de Huygens por que las ondas al momento de chocar se mezclan, mientras que las partículas rebotan en distintas direcciones
5	Cuando la pelota rebota contra la pared se forma un ángulo de simetría, con respecto al ángulo inicial, se da como un proceso de reflexión....	Las ondas colisionan contra la placa fragmentándose, es decir que rebotan y se devuelven tan solo las que chocan.	Si el rayo se encuentra compuesto por partículas, se puede decir que la trayectoria de propagación es en línea recta y llega al espejo y rebota, como las pelotas.	Si el rayo son ondas, entonces se debería ver como que se amplía la luz, así como en la cubeta, pero eso no se ve.	Conseguimos explicar el fenómeno, a través de la teoría de Huygens...
6	La trayectoria inicial se da en dirección diagonal y al momento de rebotar contra la mesa, sigue la misma trayectoria diagonal como una especie reflejo.	Su trayectoria se veía obstaculizada, y el sentido fina de las ondas variaba.	Las partículas de la luz rebotan en dirección del sentido que se proyecte sobre el espejo, tal cual como pasaba en las pelotas saltarinas haciéndolas chocar contra la pared.	La luz se propaga en forma de onda, dispersándose por todo el espacio y las ondas del láser llegan a chocar y si hay algún medio que pueda interferir su paso como el espejo, entonces las ondas cambian su dirección, como en la cubeta de ondas.	Consideramos que puede ser explicada a partir de la teoría ondulatoria de Huygens, porque la luz de las linternas se mezclan y esto no pasa con las partículas por que se chocan cuando se encuentran en ciertos puntos

**ANEXO 5: TABLA No. 3. Respuestas de los estudiantes de la Fase de refracción**

<b>Fase2: Fenómeno de refracción</b>					
<b>Equipo</b>	<b>Con Partículas</b>	<b>Con Ondas</b>	<b>Con luz desde las Partículas</b>	<b>Con Luz desde Las Ondas</b>	<b>Experiencia adicional (Video efecto fotoeléctrico)</b>
<b>1</b>	Por un lado en el aceite, al ser lanzado el chinche, baja más despacio, provocando unas ondas de gran magnitud, a diferencia de lo que se observó en el agua, donde el chinche viaja con más velocidad...EM: si se sigue viendo una línea recta, pero cambia su dirección a una diagonal, ya que cuando los carros experimentan la fricción causada por la arena, disminuyen su velocidad...	Realizamos dos experimentos, ubicando en un primer momento el triángulo al lado de la fuente, la cual al ser encendida las ondas se propagan en la dirección del triángulo y se observa más velocidad. Y poniendo el triángulo en frente las ondas se chocan y se reflejan en dirección contraria.	Al observar las partículas, el rayo cambia de dirección en las distintas sustancias (medios)	Comparando con las ondas, y hallando la similitud entre estas dos, podemos darnos cuenta que también cambian de dirección además de aumentar la velocidad	No porque este fenómeno no cumplía con las características de las ondas por tanto no se podría explicar desde la teoría ondulatoria, por lo cual se llevó al estudio desde las partículas retomada por Einstein el cual modifico esta teoría diciendo que las partículas ahora serían los fotones que arranquen a los electrones.
<b>2</b>	La velocidad en el aceite fue menor gracias a la densidad que contiene el aceite, mientras que en el agua su velocidad es mayor ya que su densidad es menor. EM: no se va a ver en línea recta, ya que cada uno de los carros va a entrar a la arena en un tiempo distinto por la fricción de la arena...	Cuando no se pone el triángulo, las ondas siguen de largo su trayectoria normalmente, pero al poner el triángulo, las ondas quedan obstruidas y no sigue su ciclo normal como sin el triángulo	En el aceite las partículas corren más lentamente, en el agua las partículas viajan más rápido. No se vio evidenciado en el rayo de luz	En el agua y el aceite, se notó un cambio en la trayectoria de la luz, al igual que sucedió con el agua y el acrílico, se observaba como cambiaba el sentido cuando las ondas chocaban con el acrílico.	No, ya que era imposible demostrar la teoría del efecto fotoeléctrico por medio de las ondas y tuvieron que retomar la teoría corpuscular de Newton.
<b>3</b>	El movimiento del chinche en el aceite tuvo una velocidad menor al sumergirse, que la velocidad que tuvo en el agua. EM: no ya que la arena ocasionaría que el carro disminuya su velocidad...	Cuando las ondas inciden en el triángulo, siguen su dirección pero se vuelven más oscilantes y tienen mayor velocidad.	Si el rayo estuviera compuesto por partículas, al chocar con un medio diferente partirían en todas las direcciones	Si el rayo fuera una onda se abriría bidimensionalmente, porque al chocar con un medio diferente cambia su dirección y velocidad.	No, es decir el efecto fotoeléctrico implica las ondas, pero también está compuesta por fotones, los cuales se pueden tomar como partículas.

**Continuación de la Tabla No. 3**

<b>Fase2: Fenómeno de refracción</b>					
<b>Equipo</b>	<b>Con Partículas</b>	<b>Con Ondas</b>	<b>Con luz desde las Partículas</b>	<b>Con Luz desde Las Ondas</b>	<b>Experiencia adicional (Video efecto fotoeléctrico)</b>
<b>4</b>	En el aceite el chinche tuvo una velocidad muy reducida en comparación con la que tuvo en el agua. EM: creemos que el último carro que toque la arena llegara primero a la meta, debido a que lleva más velocidad y tiene menos arena para recorrer	La onda lleva una dirección, cuando choca cambia el sentido de las ondas ampliándolas y aumentando su velocidad	Lo que sucede en el aceite, es un cambio de velocidad, por eso se ve como si cambiara su dirección, debido a que el aceite es más denso (espeso) que el aire.	La onda en el aceite rebotaría paralelamente a la dirección inicial respecto a una recta normal perpendicular al aceite.	No porque se pudo observar en el video que en el efecto fotoeléctrico, el fotón golpeaba al electrón, produciendo que este se fuera hacia arriba...
<b>5</b>	Logramos percibir que depende del medio la velocidad del objeto, como por ejemplo en el aceite la velocidad disminuye, en el agua la velocidad también disminuye, pero no tanto como en el aceite. EM: no se va a seguir viendo una línea recta, puesto que la fricción que ejerce la arena en las llantas, consigue que la velocidad de los carros al atravesarla disminuya	Cuando las ondas chocan con el triángulo se interrumpe su dirección, es decir rebotan pero no pasan. El triángulo actúa como un interruptor de la onda...cuando la onda cambia de medio y una parte de ella choca, la velocidad aumenta y la otra se mantiene normal	El rayo incidió directamente en los dos medios, pero fue mucho más visible en el aceite...	El rayo necesita de un medio para poderse proyectar como el éter, pero en el caso del agua y el aceite, no se necesitaría y sería visible en ambos.	No, consideramos que para que se produzca este experimento se necesita de un cuanto de radiación o fotón, el cual sería absorbido por el electrón, cuando se incrementa una intensidad de radiación sobre el metal, aumenta la emisión de electrones, pero no su energía.
<b>6</b>	En el aceite el chinche descendió con menor velocidad, con respecto a la mezcla de agua con leche, pues sus densidades son distintas, además el chinche se vio de mayor tamaño al pasar por el aceite. EM: No por lo mismo de que la arena genera una fricción distinta a la que produce el pavimento, así su carro disminuye la velocidad.	Cuando se pone el triángulo se debe tener en cuenta la ubicación, si está lejos del punto donde se generan las ondas, no hay mayor cambio, pero si está cerca, las ondas son cortadas y se interrumpe su trayectoria...	Al propagarse la luz e interactuar con la materia, la luz se comporta como partícula y transporta energía	Las ondas propagan por el medio transportado energía, la cual es proporcional a su frecuencia y por tanto es mayor la energía.	Definitivamente el efecto fotoeléctrico no se puede explicar pensando la luz como una onda, porque estas irán aumentando cuando lo que sucede es que hay un valor exacto que no varía y de esa manera lo que sucedería es que la luz se proyecta en forma de lluvia de fotones.

**ANEXO 6: TABLA No. 4. Respuestas de los estudiantes de la Fase de final**

Fase final					
Equipo	Interferencia Con Ondas	Video Dr. Quantum	Qué se esperaba y qué se observó (Exp Doble ranura)	Interferencia Con Luz (como lo explican)	Conclusión final
1	Al descubrir el fenómeno se empieza a cuestionar sobre el comportamiento de este, el cual consiste en la propagación de las ondas a partir de dos pines, que genera un patrón de interferencias y por eso se amplía la frecuencia, la intensidad y la longitud	El comportamiento de las partículas y ondas a partir de distintas situaciones tales como la reflexión, la refracción y la interferencia	Se esperaba encontrar dos rayos de laser ya que al momento de pasar por las dos aberturas se dividiría el rayo en dos debido a su propiedad como partícula. Pero se observó que el punto rojo que principalmente estaba se iba convirtiendo en punticos que hacían de esta una simulación de línea	Inicialmente al momento de ocurrir las ondas, estas se van dispersando en el instante que pasan por las rejillas, propagando más ondas que a la vez se unen, convirtiéndose en varias.	A partir de los experimentos realizados podemos concluir que la luz tiene características tanto de las ondas, como de las partículas por lo cual llega a comportarse de las dos maneras, siendo una combinación de las dos
2	Al observar el fenómeno donde hay un rozamiento de un objeto solido (Pines) con un líquido (agua) se produce una serie de ondas las cuales chocan transformándose en una sola	Los aspectos que encontramos en el video que hemos trabajado en la práctica, son la producción de ondas y como se afectan cuando chocan contra diferentes superficies, al igual que hemos experimentado y trabajado las dos teorías sobre la luz, la ondulatoria, con una máquina, y la corpuscular con el uso del rayo, el aceite y el agua	Nosotros esperábamos encontrar en la pared las dos aberturas, tal cual como fueran atravesadas, viendo la forma de las dos ranuras según el video del súper héroe	Se puede explicar, desde el punto de vista que las ondas o partículas, chocaron y no se dispersaron en diferentes direcciones, sin embargo se ve reflejado una onda constructiva como en las ondas, una interferencia constructiva...	En conclusión, pensamos que la luz es una onda y una partícula, ya que las características de la luz se pueden explicar de las dos formas, en las actividades que hemos trabajado en clase con el rayo y el efecto fotoeléctrico
3	Esto sucede porque los medios hacen cada onda al tiempo y por esto se expanden con la misma velocidad, desde la misma distancia y hasta el mismo punto se unen y a medida que se van esparciendo las ondas, su velocidad va cambiando, y cada vez se hacen más grandes	Cuando hemos experimentado en el laboratorio, con el aparato que genera ondas en el agua, al lanzar cada uno de los palitos, propagaba una onda, esta se cruzaba, es decir se interferían generando muchos patrones de interferencia	Se esperaba que aparecieran dos puntos, ya que como había dos ranuras, se esperaba que la luz se dividiera. Se observó un punto en el centro rodeado de unas líneas oscuras, que podrían ser ondas	en el punto proyectado en la pantalla, se logran ver ondas con partes más iluminadas(interferencias constructivas) y partes más oscuras (interferencias destructivas)	Llegamos a la conclusión de que la luz se comporta como onda o como partícula, dependiendo de la situación o medio al que sea sometida...

<b>Fase final</b>					
<b>Equipo</b>	<b>Interferencia Con Ondas</b>	<b>Video Dr. Quantum</b>	<b>Qué se esperaba y qué se observó (Exp Doble ranura)</b>	<b>Interferencia Con Luz (como lo explican)</b>	<b>Conclusión final</b>
<b>4</b>	En el momento en que un objeto incide en el agua, se crean circunferencias secuencialmente que se amplían (agrandan)... y aunque se crucen siguen su trayectoria.	Evidenciamos el comportamiento de las partículas y de las ondas, las partículas actúan en movimiento en línea recta y las ondas se expanden, generando más al mezclarse	Esperábamos que el rayo se pudiera ver como un solo punto, ya que creíamos que pasaría lo mismo que con las partículas. Pero observamos una línea horizontal que contenía muchos puntos.	Se logró comprobar que la luz es una onda y una partícula, para poder explicar todos sus fenómenos	Concluimos que la luz es una onda o una partícula dependiendo de la situación en la que se estudie la luz, para algunos experimentos como el de Einstein se necesitan las partículas, para otros como todo lo que hizo maxwell la luz era una onda
<b>5</b>	Cuando dos ondas se direccionan en sentidos opuestos, lo más seguro es que choquen, en el experimento aquel choque manifestó una intersección de ondas, cuando esto sucede las ondas se suman generando un mayor grado de amplitud en la onda que no choca y continua proyectándose	Los aspectos que se familiarizan con el video, son los comportamientos de la luz dependiendo del experimento que se esté estudiando.	Pensábamos encontrar dos líneas paralelas, puesto que la luz se fragmentaría al pasar por las dos aberturas. Logramos observar como la luz se proyecta en una línea horizontal, pero dentro de esta hay pequeñas divisiones donde hay luz y otras donde no, pudimos observar también que la franja del centro es la que tiene mayor intensidad de la luz	Lo más probable es que la luz se fragmente al pasar por la lámina con las dos ranuras, llegándose a dar una interferencia entre aquellas rayas de luz, puede ser una interferencia destructiva	Como conclusión, nosotros decimos que la luz está conformada por ondas, pero también por partículas, porque el efecto fotoeléctrico se explica con la idea de los fotones que pueden ser como partículas, y por ejemplo en el experimento de las dos las rendijas se vio que la luz se comportaba e como ondas, ósea que tanto Newton como Huygens tenían la razón.
<b>6</b>	Primero que nada, las ondas se producen por una perturbación en un medio, en este caso el agua y se propagan por medio de este, al haber dos pines se generan ondas idénticas pero que parten de puntos distintos y luego de un pequeño periodo de tiempo se encuentran chocando unas con otras eliminándose entre ellas o intersectándose	El experimento de las ondas donde vimos comportamientos como el de la interferencia y los cambios de dirección de las mismas.	Esperábamos encontrar dos rayos de luz, ya que eran dos aberturas, como actuaba la materia en una sola abertura, en forma de partículas, pero cuando salían en las dos aberturas el resultado era como en las ondas	El resultado que se obtuvo en esta experiencia, es que cuando pasaba la luz por la ranura al atravesar la rendija la luz se convertía en dos ondas que se intersectan entre si	Llegamos a la conclusión de que la luz se manifiesta como ondas o como partículas, porque después del recorrido experimental que realizamos evidenciamos que la naturaleza de la luz en el caso de la superposición de colores se comportaban en forma de ondas, mientras que en otros casos como el de Einstein y su efecto fotoeléctrico es necesario recurrir a la teoría de partículas, porque la de las ondas no lo puede explicar.

## ANEXO 7: Documento orientador experimental



# Escuela Normal Superior Distrital María Montessori

## Documento Orientador del trabajo experimental

Nombre: \_\_\_\_\_

Curso: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

### Introducción

Seguramente ya habrás investigado un poco alrededor del misterioso pero fascinante fenómeno de la luz. Pues bien ha llegado la hora de experimentar y aprender un poco sobre este interesante suceso de la naturaleza.

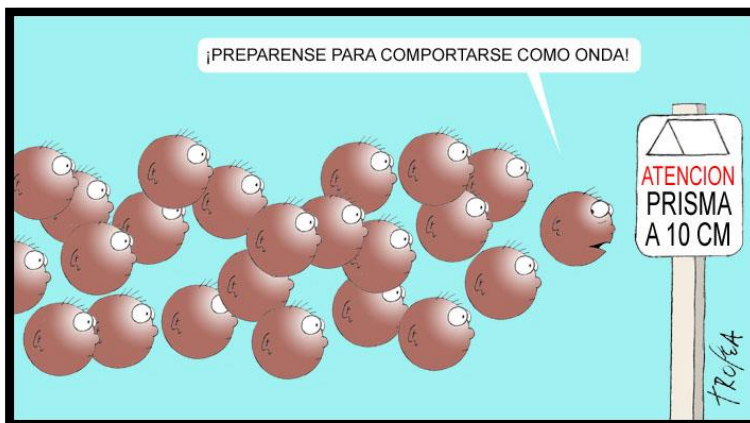


Ilustración 1 Caricatura de Partículas a punto de comportarse como onda  
(Imagen tomada de: [http://inciclopedia.wikia.com/wiki/Albert\\_Einstein](http://inciclopedia.wikia.com/wiki/Albert_Einstein))

Primero vamos a formar pequeños equipos de investigación y experimentación, pues entre ustedes deberán intentar resolver este curioso misterio de la luz pasando por diferentes estaciones experimentales. Ahora sí manos a la obra!

### **Objetivo General**

- Lograr mediante una práctica experimental la observación, el análisis y la discusión alrededor del comportamiento de la luz, para lograr los niveles de comprensión de los estudiantes acerca del modelo dualidad onda-partícula.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar los experimentos que se proponen en cada de una de las estaciones.
- Lograr que los estudiantes se pregunten acerca de lo que ven en cada experimento y relacionen esto con lo que han leído acerca de la teoría.
- Identificar las características fundamentales de cada una de las fenomenologías presentadas y analizarlas grupalmente.
- Concluir mediante los experimentos y los análisis realizados en cada una de las sesiones, cual es la naturaleza de la luz.

## Primera Fase: El fenómeno de *Reflexión*



Ilustración 2 Esferas chocando. (Imagen tomada de: [http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Fuerzas\\_momento\\_lineal.html](http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Fuerzas_momento_lineal.html))

Para esta primera parte de la 1ª estación necesitaremos los siguientes materiales:

- ✓ Tres pelotas saltarinas o esferas

Toma dos de las pelotitas y hazlas colisionar (chocar) entre ellas, Observa, analiza y discute con tus compañeros las siguientes situaciones.

- ✓ Realiza una descripción del movimiento antes y después de que las dos pelotas colisionen. (Sugerencia: puedes tener en cuenta las direcciones iniciales en el movimiento de ambas esferas y las direcciones después de chocar)

---

---

---

---

---

- ✓ Imagina que estas en una piscina con tus amigos y comienzan a jugar con balones en la superficie del agua. ¿Qué crees que sucedería si dos de ellos chocaran? ¿La colisión sería igual que la que se produce en una mesa? Justifica tu respuesta

---

---

---

- ✓ Ahora toma tres pelotitas, hazlas chocar nuevamente y observa que sucede, escribe en tu documento las observaciones y ten en cuenta la sugerencia del

primer punto. Nuevamente haz que colisionen varias veces e intenta observar si en todas las colisiones se producen los mismos movimientos. Discute con tus compañeros e intenta llegar a alguna conclusión alrededor del movimiento que se produce después de que las pelotitas colisionan.

---

---

---

---

- ✓ Toma una de las pelotas y lánzala contra una pared a un ángulo diferente de cero, ten cuidado de no golpear a nadie y describe el movimiento teniendo en cuenta la dirección en la que se movía antes de chocar y la dirección en la que se mueve después del choque

---

---

---

---

---

---

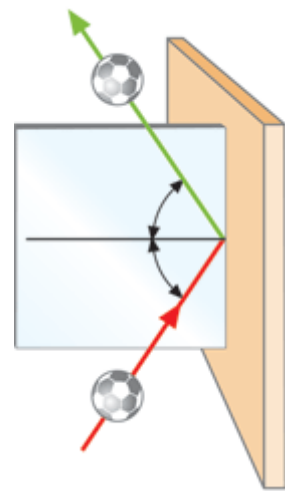


Ilustración 3 Pelota rebotando contra una pared (imagen tomada de: [http://profejaimepacheco.mx.tl/459901\\_Fenomenos-con-las-Ondas.html](http://profejaimepacheco.mx.tl/459901_Fenomenos-con-las-Ondas.html))

- ✓ Imagina que la pelotita pudiera dejar un rastro de su camino antes y después de chocar y que pudieras medir los ángulos que se forman con respecto a la línea perpendicular entre las trayectorias de antes y después de la colisión, así como se observa en la ilustración 3. Como crees que serían esos ángulos. Explica tu respuesta.

- ✓ 

---

---

---

---

- ✓ Imagina que eres un científico y tienes que contestar a la pregunta de cómo se comportan las partículas en el mundo atómico. Escribe un pequeño discurso para

describir ese comportamiento ayudándote de las descripciones que has hecho de las pelotas saltarinas en las actividades anteriores.

---

---

---

---

---

Pasaremos ahora a la segunda parte de la 1ª estación. Encontraras el montaje de una cubeta de ondas para la realización de algunas actividades. Lo primero que harás es intentar generar una onda en la cubeta con algún objeto puntiagudo. Inténtalo varias veces, Observa, analiza, discute con tus compañeros y responde a las siguientes situaciones.



- ✓ ¿Qué características encontraste que se repiten cada vez que generas la onda? (Sugerencia: Ten en cuenta la forma, el tamaño, la velocidad que logres percibir de las ondas)

---

---

---

---

- ✓ Enciende la fuente y ve proporcionando al generador diferentes velocidades. ¿Observas alguna diferencia con respecto a las ondas que tú generaste? ¿Las ondas generadas con la fuente, tienen alguna similitud con las generadas por el objeto puntiagudo?

---

---

---

- ✓ Al lado de tu cubeta de ondas encontraras una placa semicircular de acrílico, colócala en la cubeta de tal forma que interrumpa las ondas generadas por la fuente, puedes variar la distancia de la placa a la fuente tanto como quieras. ¿Cómo se comportaron las ondas cuando colocaste la placa semicircular interrumpiendo su camino? ¿Cuál crees que es el papel del agua en este experimento? ¿Crees que si colocáramos otra sustancia como aceite se generarían ondas?

---

---

---

---

Hemos llegado a la parte final de esta primera estación, para ella necesitaremos los siguientes materiales:

- Un laser
- Un espejo
- Un poco de talcos

Vamos a jugar un poco con estos materiales. Apunta el rayo láser en alguna dirección cuidando de no apuntar a nadie en los ojos, espolvorea un poco de polvo en la misma dirección que apuntaste el rayo.

- ✓ Observa y describe como es la dirección de propagación del rayo.

---

---

- ✓ Ahora sitúa el espejo en un lugar fijo, apunta el láser sobre el espejo a un determinado ángulo y vuelve a espolvorear talco en la dirección de incidencia del rayo. ¿Qué sucedió con el rayo cuando incidió en el espejo?

---



---



---



---

- ✓ En la primera Fase del Blog teórico te presentamos dos videos en los que se discutían inicialmente dos teorías para la naturaleza de la luz, la de Newton decía que estaba compuesta de partículas y la de Huygens afirmaba que la luz era una onda. Imagina que tienes que ayudar a ambos científicos a describir el experimento del rayo láser y el espejo desde cada una de las dos teorías. En el siguiente cuadro escribe en un lado tu explicación de este fenómeno si la luz estuviera compuesta por partículas y en el otro si la luz fuera una onda. (Sugerencia: Imagina que las partículas se comportan como las pelotitas saltarinas y las ondas tal cual lo observaste en la cubeta)

El rayo compuesto de partículas	El rayo como una onda

**Experiencia Adicional**

En esta experiencia encontraran tres linternas, cada una de ellas proyecta un color de luz primario diferente, comienza a explorar y puedes comenzar por juntar dos colores

diferentes en la pantalla y observar que sucede cuando se superponen los dos colores. Luego puedes intentarlo con otros dos diferentes y luego con los tres colores. Observa, discute con tus compañeros y responde:

- ✓ Recuerda las teorías de las partículas enunciada por Newton y la de las ondas enunciada por Huygens y analiza este experimento de la superposición de la luz desde cual teoría podría ser explicada y por qué. (Sugerencia: : Recuerda que las partículas se comportan como las pelotitas saltarinas y las ondas tal cual lo observaste en la cubeta)

---

---

---

---

## **Segunda Fase: *El fenómeno de Refracción***

Bien ahora entraremos a explorar la segunda estación y como ya lo habrás notado estamos persiguiendo el objetivo de comprender como se comporta la luz en distintas situaciones, por ello en este apartado vamos a explorar el fenómeno de refracción. Para ello recurriremos a las teorías de Newton y Huygens, por lo cual vamos a empezar a revisar este fenómeno desde ambas perspectivas a escala macroscópica y luego entraremos a intentar comprender lo que sucede a escala microscópica. Vamos a utilizar para esta primera parte los siguientes materiales:

- Una recipiente transparente
- Aceite
- Agua
- Chinche

Vamos a llenar el recipiente hasta la mitad de agua y encima agregaremos aceite mineral. Deja soltar una de los chinches dentro del recipiente y observa lo que sucede.

- ✓ Describe como fue el movimiento del chinche en el aceite y como fue en el agua. (Sugerencia: Puedes hacer referencia a la velocidad que percibiste en cada uno de los medios

---

---

---

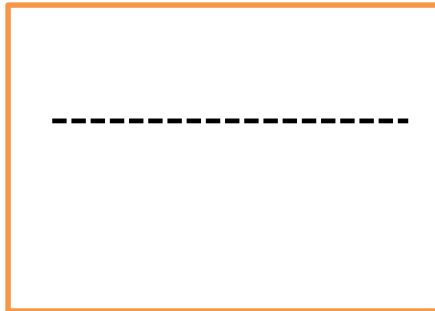
- ✓ ¿Qué crees que signifique la palabra refracción?

---

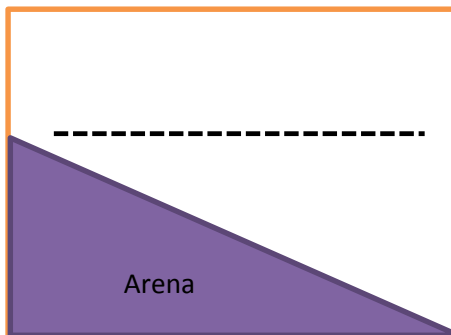
---

### Experimento Mental

Supón que hay una línea de carros de carrera que parten todos al mismo tiempo y con la misma velocidad sobre el pavimento recorriendo una misma distancia, por lo tanto si te pudieras subir en un helicóptero y mirar la escena desde allí, verías una línea punteada, de la siguiente manera



Ahora imagina que ese campo de pavimento por dónde van los carros, se divide por una diagonal y una de las secciones de la división es rellenada con arena, así como se ve en la siguiente imagen.



- ✓ ¿Crees que después de que el primer carro toque la sección de arena, se va a seguir viendo la línea recta de carros? (Sugerencia: Recuerda que la arena genera fricción con las llantas del carro)

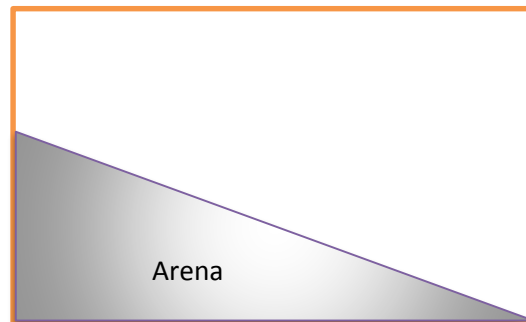
---

---

---

---

- ✓ Realiza un dibujo de cómo crees que se vería la línea de carros después de que estos crucen a la sección de arena



Para la segunda parte de esta estación encontraras un montaje que consta de una cubeta de ondas y un triángulo de acrílico. Enciende el generador de ondas y ubica el triángulo de acrílico de forma que este interrumpa las ondas. Describe que sucede cuando las ondas generadas en el agua inciden sobre el triángulo. (Sugerencia: Puedes tener en cuenta la dirección antes y después de que las ondas incidan en el triángulo de acrílico, al igual que la velocidad luego de que las ondas incidan sobre el triángulo)

---

---

---

---

---

---

La parte final de esta estación consta de un experimento bastante entretenido, y que tiene como finalidad retomar las dos experiencias anteriores. Para ello deberás tomar un vaso plástico transparente y llenar la mitad de agua con unas gotas de leche y la mitad de aceite. Ahora has incidir un rayo láser en un ángulo diferente de cero con respecto a la recta normal, sopla un poco de talcos en la dirección de. Observa, analiza y responde:

- ✓ Que sucede cuando el rayo pasa del aire al aceite y luego al agua. ¿Por qué crees que sucede? Explica Tu respuesta.

---

---

---

- ✓ En el siguiente cuadro intenta describir el anterior experimento retomando las descripciones que hiciste con respecto a las partículas en los dos medios de agua y aceite y las que hiciste con respecto a las ondas en los dos medios de agua y acrílico, en el primer recuadro describan lo que sucedió si el rayo estuviera compuesto de partículas, en un segundo caso expliquen lo que sucedió si el rayo fuera una onda. Recuerden todo lo visto en la teoría.

El rayo compuesto de partículas	El rayo como una onda

### Experiencia Adicional

En esta experiencia deberás observar con atención los videos que se presentan del efecto fotoeléctrico, ir tomando algunos apuntes, preguntas y observaciones que tengan al respecto, luego cada equipo deberá escribir observaciones generales de lo visto y exponerlas ante los otros equipos y sacar algunas conclusiones. Para ello puedes pensar en las siguientes preguntas.

- ✓ Se podría describir el experimento del efecto fotoeléctrico pensando en la luz como una onda. Explica tu respuesta

---

---

---

---

- ✓ Menciona aspectos importantes acerca del comportamiento de la luz, como onda y como partícula.

---

---

---

---

- ✓ Cuales experimentos según el video, garantizan que la luz es una onda, y cuales garantizan que la luz está compuesta de partículas.

---

---

---

---

- ✓ Como fueron bautizadas las partículas en el fenómeno de la luz. Recuerdan el nombre del científico que lo hizo.

---

---

---

---

---

## Fase Final

Bien hemos llegado a la tercera estación, este será el final de nuestro recorrido experimental para lograr dar una respuesta al comportamiento de la luz.

Para la primera parte de esta estación, disponemos del montaje de la cubeta de ondas y el generador de ondas con diversos pines, que harán las veces de fuentes generadoras. Enciende el generador y observa lo que sucede, ahora analiza y responde las siguientes preguntas:

- ✓ Realiza una breve descripción de lo que observas. ¿Qué sucede con las ondas generadas por os diferentes pines? (Sugerencia: Puedes observar que pasa cuando las ondas generadas por los diferentes pines comienzan a encontrarse, ¿se hacen más grandes?)

---

---

---

---

- ✓ ¿Qué características de las ondas encuentras en este experimento?

---

---

---

- ✓ Imagina que nadie ha estudiado este fenómeno y que acabas de descubrirlo en tu laboratorio con tu equipo de trabajo, discute con tus compañeros y construye una explicación que de razón del fenómeno.

---

---

---

---

- ✓ Realiza un dibujo de lo que observas en este experimento, donde observes que zonas iluminadas (interferencia constructiva) dibuja un círculo pequeño y coloréalo fuertemente de color rojo y donde y donde veas zonas oscuras (Interferencia destructiva), dibuja un círculo pequeño y coloréalo de un rojo muy suave.

La segunda parte y la final de esta estación esta combinada en dos momentos, iniciando deberán ver la primera parte de un corto y entretenido video de animación, este de alguna manera recoge algunos de los aspectos que has venido trabajando. Responde

- ✓ Que aspectos de los que has venido trabajando a lo largo de la práctica experimental encuentras en el video del Dr. Quantum. (Sugerencia: Puedes tener en cuenta los dos caminos que decidimos tomar al inicio de todo nuestro trabajo experimental)

---

---

---

- ✓ Según el video del Dr. Quantum, al lanzar canicas, o esferas en una lámina de una ranura ¿que se observa en la pantalla donde llegan las esferas? Y ¿que se observa con dos ranuras?

---

---

---

---

- ✓ ¿En cuál experimento, el Dr. Quantum evidencia el fenómeno de interferencia?

---

---

- ✓ ¿Qué se pudo observar en la pantalla cuando se produjo el patrón de interferencias constructivas y destructivas creadas por las ondas en el agua?

---

---

---

Bien, como pudiste observar el video se detuvo en el experimento de la doble rendija, puesto que vamos a realizar nosotros esta experiencia, para ello, debemos utilizar los siguientes materiales

- Una rejilla de dos ranuras
- Un porta rejillas
- Una pantalla
- Un laser
- Un porta laser

Coloca la rejilla de dos ranuras en el porta rejillas y ubica a un metro de esta la pantalla blanca. Ahora apunta con el láser hacia las dos aberturas y observa que sucede en la pantalla. Analiza y responde

- ✓ ¿Qué observaste en la pantalla blanca después de apuntar el láser hacia las dos aberturas?

---

---

- ✓ ¿Qué esperabas encontrar como resultado al apuntar el rayo láser contra las dos aberturas? Justifica tu respuesta

---

---

---

---

- ✓ Como podrías explicar el resultado obtenido en esta experiencia (Sugerencia: Recuerda que sucedió en el experimento de las ondas, y el dibujo que realizaste de esta experiencia)

---

---

---

Ahora termina de ver el video para aclarar las dudas que tengas, discute con tu equipo, analiza y responde:

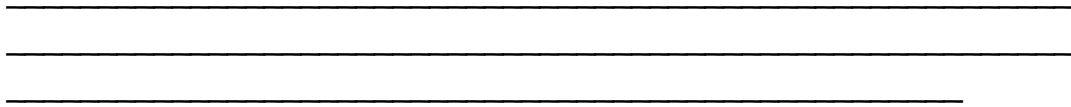
- ✓ Menciona por lo menos un experimento donde la luz se comporte como una onda, y por lo menos un experimento donde la luz se comporta como si estuviera compuesta por cuantos ósea partículas.

---

---

---

- ✓ Como has visto a través de toda esta secuencia experimental, la luz no tiene solo una forma de comportarse, pero finalmente ¿cuál podríamos decir que es la naturaleza de la luz, ondulatoria o corpuscular? ¿Podrías plantear otra solución? Justifica tu respuesta teniendo en cuenta todos los elementos que hemos trabajado a lo largo de las tres fases



## ANEXO 8: Ampliación del marco Disciplinar

### Fenómeno de Reflexión

La mayoría de los objetos que nos rodean no emiten su propia luz, son visibles por una sola razón, y es que reemiten la luz que les llega desde otra fuente lumínica, como el sol, la luz del día e incluso las lámparas y bombillos, así, cuando la luz incide en algún material, esta es reemitida sin cambiar su frecuencia, o incluso es absorbida en el material convirtiéndose en calor. Pero, existe un proceso en el cual al incidir la luz sobre un material esta es reemitida al medio de donde vino, a este suceso se le llama *reflexión*.

Existe una ley que explica como sucede este proceso de reflexión, evidentemente tiene por nombre *Ley de la reflexión*, esta ley se puede explicar mediante el Principio de Fermat del tiempo mínimo, que fue una idea de un físico francés llamado Pierre Fermat y enuncia que; entre todas las trayectorias posibles que podría seguir la luz para ir de un punto a otro, esta toma la que requiere el tiempo más corto.

Inicialmente esta idea podría ser algo compleja de comprender, sin embargo un ejemplo puede aclarar todo, se puede suponer que se tiene un objeto en el cual se refleja la luz, como por ejemplo un espejo, y se necesita que un haz de luz de un láser vaya del punto A hasta el punto B (imagen 1), pasando por el espejo en el tiempo mínimo, ¿Cómo lograrlo?:

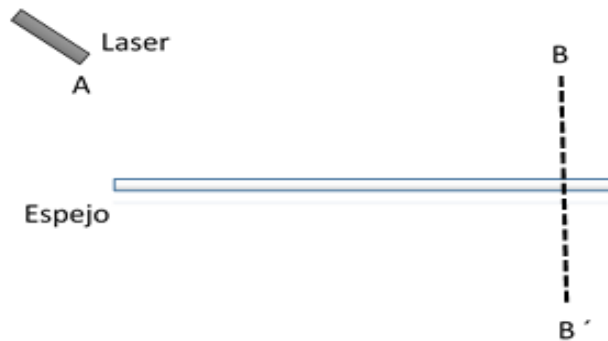
A

B



Imagen 1 una superficie reflectante (espejo) por donde deberá pasar el rayo desde A hasta B

Bien pues, resolver este planteamiento solo requiere de un poco de lógica y algo de geometría básica; para recorrer el tiempo mínimo, el rayo necesita viajar en línea recta desde el punto A hasta el espejo, donde se refleja y desde allí hasta B, sin embargo para que suceda en el menor tiempo, la distancia recorrida por el rayo, también debe ser mínima. Así lo único que se necesita es determinar dicha distancia, para ello lo que se hace es establecer un punto B' por debajo del espejo a la misma distancia que se encuentra el punto B por arriba del espejo, como se muestra en la imagen a continuación:



*Imagen 2 Punto B' abajo del espejo a la misma distancia del punto B arriba del espejo*

Luego de esto se debe determinar la distancia más corta entre el punto A y el punto B', lo cual solo se logra trazando una línea recta entre los dos puntos, esto va a implicar que dicha línea tenga que atravesar el espejo, es decir que lo intersecta en un punto C (imagen 3), y es esa intersección el punto exacto de reflexión del rayo, que estará tomando la trayectoria más corta y por ende el tiempo mínimo para recorrerla.

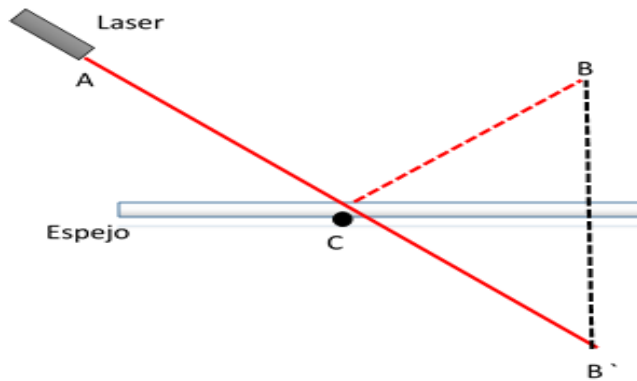


Imagen 3 Distancia más corta recorrida por un rayo entre el punto A y B pasando por el espejo

Por otro lado, se tiene que otra característica importante del fenómeno de reflexión, es que el ángulo de incidencia, es igual al ángulo de reflexión, en donde los ángulos no se miden con respecto a la horizontal, es decir a la superficie reflectora, sino a una línea imaginaria perpendicular al plano de la superficie, llamada *Normal*, así como se observa en la imagen a continuación:

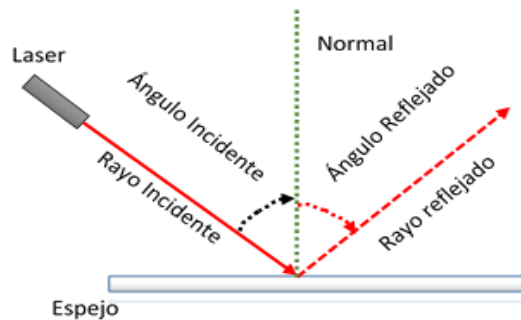


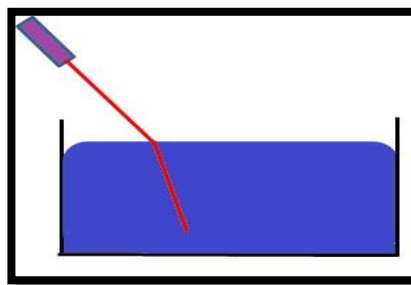
Imagen 4 Rayo incidente que se refleja en una superficie reflectora

#### 4.1.1. Fenómeno de Refracción

El fenómeno de refracción, es un cambio en la dirección y en la velocidad de propagación de la luz cuando esta atraviesa de manera oblicua la superficie de separación de dos medios. La primera característica importante que se debe tener en cuenta, está asociada a los medios, y es que estos deben ser de color transparente (un material transparente, es aquel que permite el paso de la mayoría de rayos de luz a través de él) y de diferente naturaleza, como por ejemplo el aire y el agua, el aceite y el agua, el aire y el vidrio, entre otros.

Cuando se experimenta el fenómeno de refracción, se puede observar que también se produce el fenómeno de reflexión en la superficie que limita ambos medios, entonces el rayo incidente (es el que llega a la superficie de separación de los dos medios) de alguna manera se refracta, pero también se refleja, y es por ello que tanto el rayo reflejado, como el refractado (es el rayo que se observa después de que pasa al otro medio) tiene una menor intensidad lumínica que el rayo incidente, aunque esa distribución en la intensidad de cada uno dependerá de los medios y el ángulo de incidencia.

Por otro lado y como se ha explicado en la sección de la reflexión, la luz se comporta de acuerdo al principio de Fermat, o del mínimo tiempo, y sucede que cuando la luz atraviesa un medio refringente, disminuye su velocidad en dicho medio, lo que hace que tenga que tomar otro camino para utilizar el mínimo tiempo en propagarse, y es por ello que se observa una desviación en la dirección de propagación del rayo cuando incide sobre la superficie de ambos medios.



*Imagen 5 rayo refractándose en un recipiente con agua*