

**FÍSICA CREATIVA:
UNA APROXIMACIÓN PARA LA COMPRESIÓN DE LA LUZ**

JAIR ALBERTO GONZALEZ GUTIERREZ

**TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
LICENCIADO EN FÍSICA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
BOGOTA
2026**

**FÍSICA CREATIVA:
UNA APROXIMACIÓN PARA LA COMPRENSIÓN DE LA LUZ**

JAIR ALBERTO GONZALEZ GUTIERREZ

**TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
LICENCIADO EN FÍSICA**

**ASESOR
JUAN CARLOS OROZCO CRUZ**

**LINEA DE PROFUNDIZACION: LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DESDE
UNA PERSPECTIVA CULTURAL**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
BOGOTA
2026**

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de este proceso de educación, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi asesor Juan Carlos Orozco, por su guía y apoyo constante que han sido fundamentales en mi formación.

También deseo agradecer sinceramente a mis profesores y compañeros, quienes han enriquecido mi aprendizaje con su dedicación y colaboración.

Finalmente, agradezco a mi familia en especial a mi hermana Estefania Gonzalez, por su amor, paciencia y respaldo incondicionales.

RESUMEN ANALITICO EN EDUCACION – RAE

1. Información General	
Tipo de documento	Tesis de pregrado Licenciatura en Física
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Física creativa: Una aproximación para la comprensión de la luz
Autor(es)	Jair Alberto Gonzalez Gutierrez
Director	Juan Carlos Orozco Cruz
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2023.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	Luz, actividad creadora, actividad experimental, fenomenotécnica.

2. Descripción
En el siguiente documento se encuentra el desarrollo de un trabajo de investigación realizado en el contexto de la Licenciatura en Física, donde se propone como trabajo de grado para optar por el título de Licenciado en Física de la Universidad Pedagógica Nacional El ejercicio de investigación surge como contribución a la construcción de explicaciones de los fenómenos ondulatorios asociados a la luz, basado en las concepciones que se ha tenido sobre el concepto de luz enmarcado en la creación de espacios en el aula acudiendo a un ambiente que promueva la pasión por el saber y aprender desde la experiencia, la interacción con los fenómenos físicos, la investigación, la creatividad y la construcción de explicaciones. De esta manera, se diseñó un montaje experimental titulado “<i>entre luces y sombras</i>”, en donde, se plantean situaciones de análisis y reflexiones, experiencias sensibles, creativas e innovadoras y practicas experimentales. De modo que la investigación reconoce el papel que juega la práctica experimental y la

relación directa con la comprensión de los fenómenos de la luz, por lo que, se resalta algunos aspectos importantes en la necesidad de fortalecer la actividad experimental, la actividad creadora y la cultura de la humanidad, y de esta manera comprender que deben saber hoy las nuevas generaciones.

3. Fuentes

Se realizó un estudio histórico-crítico sobre la concepción que acompaña a los fenómenos de la luz, reconociendo algunas fuentes documentales para la enseñanza de las ciencias, en particular, de la física donde se destacan obras de carácter filosófico, pedagógico y disciplinar pertinentes a la investigación.

A continuación, las principales referencias bibliográficas que se citan son:

- Granes, J (2001). La gramática de una controversia científica: el debate alrededor de la teoría de Newton sobre los colores de la luz.
- Salinas, J (2004). El papel de la experimentación en la enseñanza de la física; Graó; Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales
- Amaya, J. L. (2014). Los fenómenos de la iluminación: una propuesta para la enseñanza de las ciencias.
- Serrano, AL (2013). El comportamiento de la Luz: diseño y evaluación de una secuencia de enseñanza basada en el aprendizaje como investigación orientada.

4. Contenidos

Se presenta el documento organizado en cuatro capítulos; en el primer apartado se formula el planteamiento del problema, la justificación y el rol de la actividad experimental, en el ámbito de la educación y en el análisis de los fenómenos relacionados con la luz.

En el segundo apartado se exponen los análisis conceptuales de la investigación, que contextualiza cada una de las teorías, leyes y principios que concedieron a formular explicaciones sobre la comprensión de los fenómenos relacionados con la luz. Además, se analizan las implicaciones filosóficas y epistemológicas de estas teorías, reflexionando sobre cómo los cambios en el paradigma científico han influido en la concepción de la luz

como fenómeno ondulatorio, por lo que, se acude a los planteamientos de José Granés para reconstruir la historia alrededor del debate de la teoría de Newton sobre los colores de la luz.

El tercer capítulo del trabajo describe el proceso de creación de la caja fenomenotécnica, cuales fueron las ideas clave, los objetivos establecidos, la creación de experiencias y pone de manifiesto la finalidad del trabajo realizado en el COLEGIO REAL DE COLOMBIA.

Finalmente, el cuarto capítulo se refiere a las conclusiones y reflexiones finales, los referentes investigativos y el resultado del material organizado y compilado.

5. Metodología

Para la metodología del presente ejercicio de investigación, se valora el contexto histórico-epistemológico, teniendo en cuenta un análisis de las comprensiones que involucran la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias, no solo como verificación de teorías, sino como un elemento fundamental en la construcción del discurso científico y la enseñanza de la física.

De modo que, se optó por una metodología que articula la investigación del tipo histórico-crítico, expuestos en los análisis conceptuales que incluyen la comprensión y la caracterización de las variables necesarias para formular las explicaciones acerca de los fenómenos asociados con la naturaleza de la luz, con la sistematización de una experiencia de aula. El enfoque sigue una variedad basada en la historia que se conecta con los hechos y las teorías del pasado, lo que sugiere que la experimentación debe entenderse en su entorno conceptual, además es crítico y contextualiza el desarrollo de la física clásica y la física moderna.

6. Conclusiones

Del trabajo realizado surgen conclusiones en torno al papel de la experimentación en el aula

de clase y la necesidad de realizar contribuciones a la construcción de explicaciones en la enseñanza de las ciencias.

La realización de este ejercicio investigativo permitió plantear varias reflexiones y aportes a las experiencias y prácticas que se desarrollan en la enseñanza de las ciencias, por lo cual se resalta los siguientes aspectos:

Se realizó un análisis teórico del comportamiento de la luz, revisando sus principales hallazgos y teorías que han marcado su evolución. Esto permitió contextualizar y comprender los avances desde las ideas iniciales hasta las teorías modernas sobre la naturaleza de la luz y sus propiedades.

El experimento en los espacios académicos va más allá de validar hipótesis; es una herramienta fundamental para construir explicaciones científicas, integrando la experiencia y el conocimiento previo de los estudiantes. Además, fomenta la reflexión, el pensamiento crítico y una comprensión profunda de los fenómenos.

La construcción de la caja fenomenotécnica logró crear una herramienta educativa efectiva para comprender y explicar fenómenos relacionados con la luz. Este proyecto se lleva a cabo con el objetivo de lograr aproximarse a una comprensión de la luz, asumiendo en primera instancia la capacidad que tienen los seres humanos para construir conocimiento.

La fuente más importante para construir nuestro conocimiento sobre la naturaleza es la experiencia que acumulemos con nuestra interacción con ella. Sin embargo, es necesario hacer de nuestra experiencia objeto de reflexión y análisis para avanzar en la construcción de nuestro conocimiento. Es por ello por lo que hacemos experimentos y desarrollamos estrategias para analizar de la mejor manera los resultados obtenidos fomentando el uso de actividades experimentales para un aprendizaje activo y significativo.

Elaborado por:	Jair Alberto Gonzalez Gutiérrez
Revisado por:	Juan Carlos Orozco Cruz

Fecha de elaboración del Resumen:	30	03	2026
--	----	----	------

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
Objetivos	12
Antecedentes	13
Justificación	14
Metodología	16
CAPITULO I	17
CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA	17
La creatividad como propulsor en la ciencia	18
La observación	19
El experimento	21
El rol de la actividad experimental para la comprensión de la luz	22
CAPÍTULO II	24
ANÁLISIS CONCEPTUAL DEL FENÓMENO DE LA LUZ	24
La explicación mecanicista de los colores de la luz	25
La luz como un haz de corpúsculos	26
La luz como un fluido	30
La luz como un pulso	33
El experimento luminoso	37
CAPITULO III	44
CREACIÓN DE EXPERIENCIAS CON RELACIÓN A LOS FENÓMENOS DE LA LUZ	44
El modelo y las ideas claves	45
Diseño e implementación de la sistematización de experiencias	46
Estructura de la secuencia de sistematización	50

Construcción de una cámara oscura como practica experimental	52
Desarrollo contrucción de la camara oscura	54
Construcción de la caja fenomenotécnica	56
Entre luces y sombras: un recorrido experimental sobre la naturaleza de la luz	59
CAPITULO IV	60
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN CRÍTICA Y REFLEXIVA DE LA EXPERIENCIA	60
Consideraciones importantes	61
CONCLUSIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	67
Entre luces y sombras: un recorrido experimental sobre la naturaleza de la luz.	67

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1 . Experiencia cartesiana del prisma	28
<i>Ilustración 2 .Efecto de la sombra sobre la rotación de los glóbulos de luz.</i>	30
Ilustración 3 . Experiencia de Grimaldi	32
Ilustración 4 . Pulso incidente, pulso refractado	35
<i>Ilustración 5 . La formación decolores por refracción.</i>	36
Ilustración 6 . Esquema del experimento del prisma	38
Ilustración 7 . Experimento de los dos prismas	39
Ilustración 8 . El efecto del tamaño finito del sol	40
Ilustración 9 . Esquema del experimentum crucis	41
Ilustración 10 . Estructura del espectro	42
Ilustración 11 . Tabla de agrupación de ideas clave de la luz para un trabajo de aula	48
Ilustración 12 . Tabla de propuesta de progresión de ideas clave de la luz	49
Ilustración 13 . Diseño y construcción cámara oscura con los estudiantes de grado noveno. Fotografías tomada por Jair Gonzalez	55
<i>Ilustración 14 . Informes cámara oscura</i>	55
Ilustración 15 . Imagen del diseño de la caja fenomenotécnica. Fotografía tomada por Jair Gonzalez	57
Ilustración 16 . Ejecucion caja fenomenotecnica. Fotografías tomada por Jair Gonzalez ..	59

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia la labor del maestro ha sido una práctica adaptada en el ámbito social y cultural, su impacto en la sociedad implica estrategias o acciones que permitan fomentar la reflexión en torno a los temas abordados precisos para el desarrollo en los diferentes niveles de educación básica, media y superior, es decir, la educación desempeña un rol fundamental en la medida que permite fomentar la construcción y reconstrucción de la comprensión del hombre y del mundo que lo rodea. Por lo que surge la importancia de fomentar espacios de aprendizaje, donde los estudiantes participen activamente en los procesos de indagación, exploración, interacción y análisis frente a los fenómenos particulares, un ambiente enriquecido por la efusividad, que genere pasión por aprender, que invite a la participación, al análisis, la indagación, al descubrimiento, a la interacción y el juego, apreciando los conocimientos, la experiencia y el lenguaje. Que sea el motor que impulse a los estudiantes a participar en el descubrimiento de la ciencia, donde se sientan identificados desde su experiencia a desarrollar prácticas de interacción, así como, competencias personales en los procesos de aprendizaje y dinámicas de estudio con relación a las ciencias, en particular la física y puntualmente los conceptos relacionados a este fenómeno tan común como lo es la luz.

Para el desarrollo del presente ejercicio de investigación se asumió desde la postura de la actividad docente un análisis de las perspectivas que implica involucrar prácticas experimentales, creativas e innovadoras realizando un estudio de tipo histórico-crítico al abordar el fenómeno de la luz por medio de la actividad experimental y un ejercicio de sistematización.

Como fruto del trabajo realizado se creó una propuesta en aras de la educación que aporte a la enseñanza de las ciencias y el aprendizaje de los niños y jóvenes en educación primaria, básica y media. Para ello, se propuso diseñar y construir un montaje experimental innovador, creativo y práctico que fomente la actividad experimental y permita como punto de partida una secuencia que aproxime al estudiante a la comprensión del fenómeno de la

luz, por lo que, se acude a los planteamientos de José Granés para reconstruir la historia alrededor del debate de la teoría de Newton sobre los colores de la luz.

El presente trabajo está organizado en cuatro capítulos; en el primer apartado se formula el planteamiento del problema, la justificación y el rol de la actividad experimental, en el ámbito de la educación y en el análisis de los fenómenos relacionados con la luz; en el segundo apartado se exponen los análisis conceptuales de la investigación, que contextualiza cada una de las teorías, leyes y principios que concedieron a formular explicaciones sobre la comprensión de los fenómenos relacionados con la luz; en el tercer capítulo del trabajo, se describe el proceso de creación de la caja fenomenotécnica, y así mismo, el ejercicio de sistematización y el trabajo experimental realizado con los estudiantes de grado noveno del Colegio Real de Colombia. Finalmente, el cuarto capítulo se refiere a las conclusiones y reflexiones finales, cuáles fueron los referentes investigativos, los objetivos establecidos y la finalidad del material organizado y compilado.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La problemática que fundamenta la siguiente propuesta de investigación parte de considerar la manera en que se presentan los conceptos de las ciencias, en el campo de la educación, en particular, de la física. Es decir, la educación moderna enfrenta en la práctica unos desafíos, entre ellos la excesiva orientación hacia la memorización y la adquisición de conocimientos superficiales dentro de un modelo de sistema educativo de carácter determinista, academicista y tradicional, que busca en cuanto a los currículos, los métodos de enseñanza, las pruebas estandarizadas, los mecanismos de control y calidad, mostrar la eficiencia, uniformidad, y seguimiento de estudiantes y profesores, en lugar de promover no solo el desarrollo de habilidades “duras”, habilidades “blandas”, habilidades cognitivas o mentales y habilidades físicas, sino también habilidades de tipo ético y estético, dando lugar a la idea de que la educación en su esencia debería ser un proceso que fomente la sensibilidad, el pensamiento crítico, la creatividad, la intuición, la innovación, el asombro, la individualidad, la libertad y la comprensión intercultural, como lo destacan (Gastón Bachellard, 1938), (George Steiner, 1974), (David Johnson & Roger Johnson, 2014).

Es por esto, que la propuesta de investigación busca por medio de una experimentación significativa identificar las ideas previas que tienen los estudiantes sobre la luz, realizar una caracterización de los fenómenos asociados a la luz, vincular la experiencia y el entorno por medio de la percepción sensible, y la manera de interpretarlos haciendo énfasis en los procesos de observación, análisis, experimentación e indagación frente a un fenómeno en particular.

De acuerdo con lo anterior surge la pregunta problema del trabajo de investigación, *¿Cómo elaborar una práctica experimental significativa, acerca del fenómeno de la luz, que permita a los estudiantes de grado noveno, una aproximación para la comprensión del fenómeno de la luz, y qué relación guardan con las diferentes concepciones que se ha tenido de dichos fenómenos en la historia?*

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar una propuesta experimental significativa basada en la actividad creadora para favorecer la comprensión del fenómeno de la luz en los estudiantes de grado noveno 9° del Colegio Real de Colombia.

Objetivos específicos

- Diseñar y construir una caja fenomenotécnica para el estudio del fenómeno de la luz.
- Desarrollar actividades experimentales que permita distinguir los fenómenos asociados a los fenómenos de la luz.
- Presentar un análisis que reconozca la necesidad de incentivar la producción y aplicación de actividades experimentales significativas en la clase de ciencias y las ventajas de promover el trabajo en equipo, aprender técnicas y adquirir hábitos o modos de pensar y razonar, así como la importancia que conlleva realizar trabajos innovadores.

Antecedentes

Para abordar el desarrollo de este trabajo de investigación fue necesario consultar distintas fuentes para determinar la correlación que hay entre las dinámicas; métodos, modelos de enseñanza, y los procesos mentales que sitúan a la experimentación como parte activa implicada en los procesos de la educación. Dentro de ellos cabe resaltar la investigación por parte de Martha Lucia Rodríguez R. (1998), en su trabajo de Licenciatura en Física, *Construcción de una alternativa para la enseñanza de la óptica: las sensaciones y su organización como eje estructurante*, donde aborda una propuesta educativa innovadora para enseñar óptica; se centra en cómo las sensaciones perceptivas pueden ser utilizadas como base para organizar y comprender conceptos ópticos, facilitando un aprendizaje más experimental y significativo.

El comportamiento de la luz: diseño y evaluación de una secuencia de enseñanza basada en el aprendizaje como investigación orientada. Por Adriana Lorena Serrano Sánchez (2013), en esta monografía de Licenciatura en Física se elabora un documento en el que se realiza una investigación documental y experimental acerca del comportamiento de la luz desde la perspectiva del modelo de los rayos y el modelo de las ondas, el principal objetivo de este proyecto es realizar un estudio sobre la enseñanza del comportamiento de la luz y su comportamiento dual, para esto se ha desarrollado una serie de actividades orientadas a la caracterización rayo, como fundamento de la óptica geométrica, dando explicación a la interacción de la luz con la materia. De la misma manera se realiza la caracterización de la noción de onda como fundamento de la óptica física, dando explicación a los fenómenos de propagación, interferencias y difracción.

Los fenómenos de la luz: una propuesta para la enseñanza de las ciencias. Por Jenny Lorena Amaya Jiménez (2014), en este trabajo de grado de la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional. Se elabora una investigación que busca contribuir a explicar los fenómenos de iluminación a través de la creación de espacios en el aula que fomenten un ambiente de aprendizaje basado en la experiencia, la relación con fenómenos físicos y la construcción de explicaciones; principalmente está relacionado con el propósito de la actual propuesta. La investigación destaca la importancia de la experimentación en el

aula para comprender mejor las disciplinas y los fenómenos físicos, resaltando su papel en el proceso de aprendizaje.

Justificación

La propuesta de investigación se justifica en una situación problema actual de nuestra sociedad que precisa de una contundente atención frente a la organización de los procesos educativos en todos sus niveles. La creación de estrategias pedagógicas y didácticas especialmente organizadas y orientadas con el papel de la experimentación en la enseñanza y al desarrollo de la creatividad, al igual que una adecuada capacitación del personal docente, la destinación de recursos económicos para la dotación de ambientes y la consolidación de políticas educativas, todo esto en su conjunto, permitirá convertir la educación en un bien social accesible y disponible para cada una de las personas, (Klimenko, 2008).

"Si el siglo XIX fue el siglo de industrialización y el siglo XX el siglo de los avances científicos y de la sociedad del conocimiento, el siglo XXI está llamado a ser el siglo de la creatividad, no por conveniencia de unos cuantos, sino por exigencia de encontrar ideas y soluciones nuevas a los muchos problemas que se plantean en una sociedad de cambios acelerados, adversidades y violencia social" (Saturnino de la Torre, 2006, pág. 12).

Es decir, las diferentes concepciones, definiciones e interpretaciones que hay de la creatividad nos permite verla como un instrumento poderoso para resolver problemas, pues, según Guilford (1978), *"la creatividad implica huir de lo obvio, lo seguro, lo previsible para producir algo que, al menos para el niño, resulte novedoso"*; mientras que Torrance (1973) considera que *"la creatividad es un proceso que vuelve a alguien sensible a los problemas, deficiencias, grietas o lagunas en los conocimientos y lo lleva a identificar dificultades, buscar soluciones, hacer especulaciones o formular hipótesis, aprobar y comprobar esas hipótesis, a modificarlas si es necesario, además de comunicar los resultados"*. Piaget, indicaba que esta capacidad no surge de inmediato, sino que es un proceso minucioso y por etapas, se desarrolla abordando las formas más sencillas y elementales hasta las más complejas. Pero, el cerebro también es capaz de combinar,

transformar y crear a partir de los elementos de esa experiencia anterior, nuevas ideas, relaciones y conductas; se está de acuerdo con que las personas poseen un potencial de innovación y transformación ilimitado, como afirma el premio Nobel de Química Ilya Prigogine (1997), por lo tanto, se apuesta por las implicaciones que tiene la investigación en creatividad y las propuestas de innovación que favorecen a una mejor institución educativa.

De modo que, se reconoce el valor de la actividad creadora y surge la necesidad de fomentar la actividad experimental y el uso de prácticas experimentales con el objetivo de construir una base fenomenológica a partir de la observación como herramienta de aprendizaje, ya que posibilita la interacción entre el fenómeno u objeto de estudio y el mundo físico que nos rodea, en este caso particular, la luz, la cual está determinada por la percepción sensible del sujeto, el conocimiento previo y la relación que tiene con el mundo físico a través de los sentidos. Así lo resalta Ian Hacking (1983), haciendo énfasis en que la observación activa permite a los estudiantes a construir conocimientos a partir de la exploración directa, además en este ejercicio resalta la importancia que los estudiantes aprendan a observar con atención, detalle y precisión, desarrollando habilidades de indagación, críticas y analíticas. Hacking considera que la observación es fundamental en los métodos de aprendizaje, como es el caso del método científico, ayudando a formular hipótesis y comprender los fenómenos naturales.

Por esto, la importancia que juega el papel del docente en ciencias, y la necesidad de fomentar y reconocer que las practicas experimentales son muy significativas para la enseñanza de las ciencias en un contexto personal, familiar y social. De manera que, surge la preocupación por la distribución y comprensión de las disciplinas o métodos que se enseñan actualmente, dando paso así a la actividad experimental, la cual está directamente relacionada con la comprensión del objeto de estudio en cuestión, dando así, cierto grado de validez que conlleva a una mayor experiencia de los estudiantes en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, hubo que comenzar en primera instancia con un análisis de las comprensiones que implica el ejercicio de la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias, por lo que, se valora el contexto histórico-epistemológico, no solo como verificación de teorías, sino como un elemento fundamental en la construcción del discurso científico y la enseñanza de la física.

De modo que, se realizó una metodología de investigación del tipo histórico-crítico, expuestos en los análisis conceptuales que incluyen la comprensión de los factores que intervienen en este proceso y la caracterización de las variables necesarias para formular las explicaciones acerca de los fenómenos asociados con la naturaleza de la luz, brindando así un enfoque más completo y detallado sobre el tema en cuestión. El enfoque sigue una variedad basada en la historia que se conecta con los hechos y las teorías del pasado, lo que sugiere que la experimentación debe entenderse en su entorno conceptual, además es crítico y contextualiza el desarrollo de la física clásica y la física moderna.

Al tiempo se realizó el diseño y la construcción de una caja fenomenotécnica para la representación de fenómenos asociados a la luz con el propósito de trabajar con los estudiantes el concepto de luz a partir de unas experiencias sencillas considerando la actividad experimental como eje central. La configuración y disposición de la caja adquiere un valor agregado al permitir la consolidación de la elaboración de fenómenos que están relacionados con la luz y aquellos que no son precisamente fenómenos ópticos.

CAPITULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

Durante el siglo XX el mundo sobrellevó un incremento del progreso en todos los niveles de la ciencia, la tecnología, la industria, el comercio; lo que a su vez puso de manifiesto la gravedad de los problemas que amenazan a la humanidad, empezando por la escasez de recursos energéticos, la problemática social, el deterioro continuo de los valores o la amenaza inminente del calentamiento global, entre otros. Este siglo parece de cambios inevitables, decisiones responsables e impostergables, porque ya no hay tiempo que esperar, Klimenko (2008).

Lo anterior cobra sentido en el momento actual de la historia de la humanidad, que precisa de cambios fundamentales en el pensar, actuar y ser de las personas. Proceso en el cual, la educación, orientada por la reconstrucción de nuevos modelos pedagógicos, ocupa un lugar esencial. Por ejemplo, aquellos modelos pedagógicos que ocupan transformar la enseñanza tradicional mediante actividades y/o practicas experimentales que inviten a los estudiantes a reflexionar sobre sus conocimientos, sobre la realidad que se les enseña y como la perciben, y sobre su propia responsabilidad como individuos creadores; que se aproxime a su experiencia previa promoviendo una comprensión más profunda de los conceptos y de los fenómenos a través de la organización de estas sensaciones como un eje estructurante en el proceso de aprendizaje que tienen, y a su vez, que promueva el trabajo colaborativo y la reflexión por la importancia de fortalecer aquellas capacidades humanas que se consideran necesarias para, *"diseñar nuestro futuro común, en el marco de lo que se denomina especie-planeta y humana-cognitivo, dentro del cual la educación desempeña un papel fundamental, porque los nombres que asignamos a las cosas están agotados y porque todo debe ser renombrado a la luz de los nuevos conocimientos y los nuevos desafíos"* (Domingo Motta, 2008).

Estos cambios deben ser asumidos por todas las sociedades. En este sentido, la educación surge como base del cambio social, alcanzando que todas las personas participen activamente en la reconstrucción de alternativas desde todos los campos. Ahora bien, con el fin de destacar la importancia de contextualizar históricamente los experimentos y de

presentar un análisis en las ideas o consideraciones llevadas a cabo en la discusión de la naturaleza de la luz alrededor del siglo XVII, surge la pregunta problema, ***¿Cómo elaborar una práctica experimental significativa, acerca del fenómeno de la luz, que permita a los estudiantes de grado noveno, una aproximación para la comprensión del fenómeno de la luz, y qué relación guardan con las diferentes concepciones que se ha tenido de dichos fenómenos en la historia?***, y lo que se busca es acercar a los estudiantes a una comprensión más profunda del fenómeno de la luz, fomentando así su capacidad para observar, indagar, experimentar y caracterizar sus diferentes comportamientos. Para lograr esto, se diseñan dinámicas de clase participativa que estimulen e invite a los estudiantes a construir sus propias explicaciones, promoviendo un proceso activo de indagación. En este proceso, los alumnos son motivados a cuestionar las ideas preconcebidas, refutar conceptos erróneos, modificar sus ideas previas, analizar los resultados obtenidos y, finalmente, plantear sus propias interpretaciones y puntos de vista relacionados con el comportamiento dual de la luz —como onda y partícula—, que históricamente ha generado diversas concepciones en la comunidad científica y en el ámbito educativo.

La creatividad como propulsor en la ciencia

Podemos replantearnos el papel de la experimentación en sus principios, retomando una serie de explicaciones del fenómeno de la producción de colores por refracción de la luz, dando lugar a un determinado momento de la historia de las ciencias. Desde los comienzos del siglo XVII, se propone cimentar el conocimiento de la naturaleza sobre nuevas bases, en sus inicios, esta nueva ciencia busca definirse a partir de un distanciamiento y de una crítica radical de las formas de conocimiento de la naturaleza propias del medioevo. Impregnada de un pensamiento Aristotélico dogmático, esta ciencia tradicional se había convertido, en los tiempos de Galileo, en una actividad libresca, distante de la observación y de la consideración directa de la naturaleza. Para el filósofo medieval, explicar un fenómeno significaba esencialmente motivarlo causalmente, lo cual significaba remitirlo a ciertos principios o esencias que jugaban el papel de causas y que, así fuese en una forma puramente nominal, podían dar razón de su existencia física y de su desarrollo. Sin embargo, ya en la época de Galileo y la ciencia medieval en crisis, sobresale

el nuevo espíritu de investigación directa de los fenómenos acudiendo a argumentos de autoridad. Como habría de señalarlo Galileo repetidamente en Los Dialogos, la ciencia se diferencia del estudio de las leyes o de las humanidades porque busca la verdad en la naturaleza misma y no en los textos, (José Granés, 2001):

“Si lo que estamos discutiendo fuese un asunto de leyes o de humanidades, en el cual ni lo verdadero ni lo falso existiesen, se podría confiar en la sutileza de la mente, en la agilidad de la palabra y en la gran experiencia de los autores, y esperar que aquel que más sobresaliese en éstas cosas presentase su razonamiento como el más plausible y como el mejor para nosotros. Pero en las ciencias naturales, cuyas conclusiones son verdaderas y necesarias y no tienen nada que ver con la voluntad o el deseo de los hombres, debe tenerse cuidado de no defender el error, pues mil Demóstenes y mil Aristóteles se encontrarían sin recursos ante un espíritu mediocre que tuviese la suerte de encontrar por sí mismo la verdad. Cedád pues, Señor Simplicio, de acariciar la idea y la esperanza de que podrían existir hombres más eruditos y más versados en textos que nosotros, a tal punto de poder hacer lo que es falso o verdadero, desafiando la naturaleza”.

La nueva ciencia se propone un retorno a lo real, a la observación directa, al descubrimiento de la verdad en la naturaleza misma. Pero esta verdad no puede reducirse a un inventario detallado o a una simple descripción de los fenómenos. La nueva ciencia tendrá que establecer su propia modalidad explicativa. La elaboración y la puesta en práctica de una nueva concepción de lo que significa explicar un fenómeno natural será una de las grandes tareas y de los grandes logros del siglo XVII.

La observación

La observación es un concepto fundamental en la filosofía de la ciencia, especialmente en la historia y filosofía del empirismo. La observación no es simplemente mirar pasivamente, sino que está influenciada por las prácticas, conceptos y contextos en los que se realiza. De modo que la observación puede ser vista como un ejercicio activo que contribuye a la construcción del conocimiento, y que no puede separarse completamente de los instrumentos y teorías que usamos. Es decir, la observación no es una especie de

ventana transparente a la realidad, sino un proceso que está mediado por nuestras capacidades y marcos conceptuales, por lo que no es solo un acto técnico, sino que está profundamente vinculada con la percepción y la interpretación, y que la forma en que observamos depende del contexto cultural y del marco de referencia en el que nos encontramos. La observación tiene un carácter dinámico y subjetivo, y su respaldo argumentativo radica en la idea de que nuestras percepciones están condicionadas por nuestras experiencias previas y conocimientos, lo que hace que la observación sea un acto activo y no meramente pasivo.

La observación, como fuente primaria de datos, ha sido siempre una parte de la ciencia natural, pero no muy importante. Aquí me refiero a la concepción de la observación de los filósofos: la idea de que el experimentador se pasa la vida haciendo las observaciones que proporcionan los datos para el contraste de teorías, o sobre los cuales se construyen las teorías. Este tipo de observaciones desempeña un papel relativamente pequeño en la mayoría de los experimentos. Algunos grandes experimentadores han sido malos observadores. Muchas veces la tarea experimental, y la prueba de ingenio e incluso de grandeza, no es tanto observar e informar, sino construir una pieza de equipo que muestre un fenómeno de una manera confiable. José Granés, señala que existe un aspecto de la observación que resulta fundamental para la experimentación, aunque a menudo recibe menos atención: la atención cuidadosa y persistente que el buen experimentador dedica a los detalles. Este tipo de observación va más allá de simplemente registrar lo que se ve; implica captar sutilezas y resultados inesperados en los instrumentos o en las piezas del equipo. Granés destaca que el éxito de un experimento no solo depende del aparato, sino también de la capacidad del observador para notar esas pequeñas diferencias o anomalías que otros podrían pasar por alto. En este sentido, la calidad de la observación no es solo una cuestión técnica, sino también de sensibilidad y persistencia, cualidades que hacen que un observador sea verdaderamente competente y que muchas veces llevan a descubrimientos novedosos.

Las observaciones dignas de atención han sido a veces esenciales para iniciar una investigación, pero rara vez dominan el trabajo posterior. La verdadera fuerza del progreso

científico radica en la experimentación, que permite probar, verificar y refinar las hipótesis formuladas a partir de las observaciones iniciales. La experimentación, por tanto, supera a la observación cruda en el sentido de que no solo recopila datos, sino que también diseña condiciones controladas para validar o refutar las ideas propuestas, aportando así un nivel de rigor y certeza que las simples observaciones no siempre pueden ofrecer.

El experimento

El experimento es una de las metodologías fundamentales en la investigación científica, permitiendo a los investigadores explorar, verificar y comprender fenómenos mediante la manipulación controlada de variables. La calidad y validez de un experimento dependen en gran medida de cómo se diseñe y lleve a cabo. La imagen popular del científico era la de alguien en una bata blanca de laboratorio. Por supuesto, la ciencia precedió a los laboratorios. Los aristotélicos subestimaban los experimentos y favorecían la deducción a partir de primeros principios. Pero la revolución científica del siglo XVII cambió todo ese paradigma. Dentro de la tradición Galileana de la física matemática, un experimento es una pregunta que se le plantea a la naturaleza. Para poder formularla es necesario estar en posesión de algún marco teórico, así este sea limitado, desde el cual se construyen los interrogantes pertinentes, se diseñan los dispositivos experimentales y se prevé el desarrollo y el resultado del experimento.

La tradición baconiana por el contrario, conciben el experimento como una instancia de descubrimiento. Su función, es ante todo, permitirnos encontrar lo nuevo; no solamente mostrarnos fenómenos nunca vistos sino también, y sobre todo, hacernos descubrir las causas.

De lo anterior, podemos afirmar que el desarrollo de experimentos en la clase de física se considera fundamental, al igual que en otras disciplinas científicas, como un medio para contrastar y verificar teorías. La concepción del experimento en este contexto no se limita únicamente a la validación de hipótesis, sino que también cumple una función crucial en la construcción de conceptos científicos. Es decir, el experimento sirve tanto para plantear y resolver problemas conceptuales, facilitando la comprensión de principios físicos

complejos, como para establecer una base fenomenológica sólida basada en hechos observacionales. Estos hechos, recopilados mediante la experiencia, son posteriormente estructurados e interpretados dentro de un marco teórico que permite explicar y predecir fenómenos de manera coherente (Herron, 1971).

El rol de la actividad experimental para la comprensión de la luz

Las actividades experimentales desempeñan un papel fundamental en el proceso de aprendizaje científico, ya que constituyen uno de los pilares esenciales para comprender, analizar y profundizar en el comportamiento de la luz. Más allá del simple estudio de sus propiedades ópticas, estas actividades permiten a los estudiantes elaborar explicaciones fundamentadas, que faciliten la construcción de ideas y concepciones acerca de la naturaleza de la luz.

Dando lugar a aspectos que han sido profundamente analizados por pensadores como Ian Hacking y Marek Wartofsky.

Por un lado, Hacking enfatiza la importancia de la experimentación en la creación de conocimientos científicos, destacando que las experiencias controladas permiten no solo verificar teorías, sino también producir "nuevas cosas" en la ciencia, como fenómenos y conceptos. Para Hacking, una experimentación efectiva requiere:

- **Control y manipulación:** La capacidad de alterar variables específicas para observar efectos causales.
- **Repetibilidad:** Que los experimentos puedan ser replicados para confirmar resultados.
- **Contexto:** Reconocer que los resultados pueden depender del entorno y las condiciones en que se realizan.

Hacking también señala la importancia que tiene la reflexividad en la experimentación, es decir entender cómo la propia intervención puede modificar el objeto de estudio y cómo los resultados pueden influir en la percepción del fenómeno.

Por otro lado, Marek Wartofsky, destaca la dimensión filosófica y epistemológica de la experimentación, subrayando que no es solo un método técnico sino también una práctica que implica interpretación y construcción de significado. Para Wartofsky, la experimentación:

- **Es un acto de creación:** La experimentación no solo revela hechos, sino que también construye nuevos conocimientos y perspectivas.
- **Implica una visión hermenéutica:** La interpretación de los resultados es clave, considerando las concepciones previas y los marcos culturales.
- **Requiere consideraciones éticas y filosóficas:** La forma en que se realiza la experimentación impacta la validez epistemológica y moral del proceso.

La enseñanza de la física puede abordarse desde diferentes enfoques que enriquecen el proceso de aprendizaje. Según Derek Hodson (1986), la actividad experimental es fundamental porque permite a los estudiantes no solo adquirir conocimientos, sino también involucrarse activamente en la construcción de su comprensión del mundo físico. Del mismo modo, Ian Hacking (1983), resalta que el experimentar y observar fenómenos en primera persona fortalece la conexión entre teoría y realidad, promoviendo un conocimiento más profundo y significativo. Por su parte, Julia Salinas (2004), subraya que la actividad experimental fomenta no solo la adquisición de habilidades científicas, sino también la capacidad de interpretar y darle sentido a los fenómenos en su entorno, promoviendo un pensamiento crítico y reflexivo.

De lo anterior, se está de acuerdo en que la actividad experimental juega un papel fundamental para comprobar o refutar hipótesis planteadas, como lo menciona Newton en la reconstrucción del proceso investigativo que se hace en el artículo de 1672, ahí él mismo denomina su experimento crucial como un experimento luminoso.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS CONCEPTUAL DEL FENÓMENO DE LA LUZ

A lo largo de la historia se ha tratado de establecer como se forma el color y lo que sucede cuando se mezclan varios colores. En la antigua Grecia se desarrollaron teorías, que datan de hasta 350 años a. C., el filósofo Aristóteles, definió que todos los colores se conforman con la mezcla de cuatro colores y además otorgó un papel fundamental a la incidencia de luz y la sombra para describir la formación de los colores, basadas en que estos solo son visibles con luz más brillante que el negro y más oscura que el sol. Estos colores que denominó como básicos eran los de la tierra, el fuego, el agua y el cielo, los cuales están además en perfecta armonía con los cuatro elementos que regían el mundo.

Ya en el siglo XV con el Renacimiento en pleno auge, Leonardo Da Vinci (1452 – 1519), definió al color como propio de la materia, consideraba que la producción de los colores era una característica de los objetos al reflejar la luz y aportó una nueva gama de colores básicos. El color principal era el blanco, ya que permite recibir a todos los demás colores, después el amarillo para la tierra, verde para el agua, azul para el cielo, rojo para el fuego y negro para la oscuridad, ya que es el color que absorbe a todos los otros. Con la mezcla de estos colores obtenía todos los demás, aunque también observó que el verde también surgía de una mezcla, lo que hizo surgir algunas dudas y hacia el final de su vida puso en duda su propia teoría.

La revolución de la ciencia trajo consigo nuevas instituciones. Una de las primeras fue la Royal Society de Londres, fundada alrededor de 1660. Sirvió como modelo para otras academias nacionales en París, San Petersburgo y Berlín. Se inventó una nueva forma de comunicación: la revista científica. Las primeras páginas de la *Philosophical Transactions of the Society*, tenían un aire curioso. Si bien este registro impreso de trabajos presentados a la Sociedad tenía siempre algo de matemáticas y teoría, era más que todo una crónica de hechos, observaciones, experimentos y deducciones a partir de experimentos. Los trabajos memorables de personajes como Robert Boyle (1627-1691), Isaac Newton (1643-1727) o Robert Hook (1635-1703) no se le presentaba a la Royal Society sin una

demostración de algún nuevo aparato o fenómeno experimental para enseñar delante de las personas reunidas.

El siguiente capítulo plantea recoger los aportes de los principales científicos que contribuyeron y dieron lugar a las diferentes concepciones para la comprensión de la luz. Esto implica, exponer y confrontar, además del fenómeno de la luz, las diversas maneras de entender la ciencia en el siglo XVII. Se plantea entonces, como material base, el trabajo realizado por José Granés, (2001), considerando así, la controversia que había alrededor del fenómeno de la luz, desde luego, al reconocer una nueva teoría sobre la formación de los colores a partir de la luz blanca, permitiendo hacer énfasis en las ideas iniciales y consideraciones que se llevaron a cabo en la construcción de conocimiento de esta investigación sobre la luz y los colores.

La explicación mecanicista de los colores de la luz

Los diversos fenómenos de producción de colores a partir de luz blanca, y en particular el más sobresaliente y maravilloso de todos ellos, el arco iris, han estimulado la imaginación y el intelecto de los hombres desde la antigüedad. Aristóteles, retomando en parte ideas de Anaxímenes, había elaborado una teoría de los colores que tendrá repercusiones hasta el siglo XVII y de la cual pueden retraerse huellas en las explicaciones mecanicistas del fenómeno. Las tesis de Aristóteles, según las cuales los colores resultan de modificaciones que sufre la luz blanca, inicialmente homogénea y pura, al mezclarse en mayor o menor proporción con la sombra, están presentes transformadas de diferentes maneras, en las explicaciones que abordaremos en este capítulo.

Revisaremos tres de los modelos explicativos más difundidos en el siglo XVII, en el momento en que Newton publica su trabajo. Estos modelos se basan a su vez sobre tres concepciones distintas de la luz. El modelo de Descartes trata la luz blanca por analogía con flujo de corpúsculos de alguna materia muy sutil; el de Grimaldi supone que la luz es un fluido y el de Hooke piensa la luz como un pulso o una onda. Granés, J, (2001).

En el siglo XVII Isaac Newton desafió estas creencias cuando estableció un principio hasta hoy aceptado: *«la luz es color»*. En el artículo de 1672, Isaac Newton

presenta a la sociedad de manera más formal su trabajo donde describe en detalle el experimento en que la luz que pasa a través de un prisma es capaz de descomponerse en varios colores formando un espectro. Este fenómeno se observa cuando la luz incide sobre las gotas de agua y crea el arco iris. Estos colores son básicamente el azul violáceo, el azul celeste, el verde, el amarillo, el rojo anaranjado y el rojo púrpura. Posteriormente, en 1704 publico *Opticks*, donde mostro su «círculo de color» y propuso que éste es, en realidad, una propiedad fundamental de la luz, en lugar de una propiedad física de los objetos que emiten color. El círculo de color de Newton estaba formado por todos los colores del espectro de visible dispuestos en un círculo, de forma que el extremo rojo quedaba junto al extremo azul. Con este dispositivo fue capaz de demostrar varias relaciones entre los colores que vemos, incluyendo el hecho de que la mezcla de unos pocos colores da lugar a la luz blanca.

Newton llegó a la conclusión de que la luz natural está formada por luces de seis colores y que cuando ésta incide sobre un elemento absorbe algunos de esos colores y refleja otros. Con esta observación di lugar al siguiente principio: «todos los cuerpos opacos al ser iluminados reflejan todos o parte de los componentes de la luz que reciben». Por lo tanto, cuando vemos una superficie azul, realmente estamos viendo una superficie de un material que contiene un pigmento el cual absorbe todos los colores con excepción del azul, reflejando la luz en el objeto y que al ser captada por el ojo humano y decodificada por el cerebro nos permite ver el color azul.

La luz como un haz de corpúsculos

René Descartes (1596-1650), desarrolla su teoría sobre la formación de colores a partir de la luz blanca de los *Meteoros*, con el propósito principal de explicar el fenómeno del arco iris. Para componer su explicación retoma una de las analogías sobre la luz que había propuesto anteriormente en la *Dióptrica*. En esta obra el autor no se compromete con la veracidad de ningún modelo sobre la naturaleza de la luz. Más bien, de manera hipotética y tentativa, propone analogías para pensar las diversas propiedades de la luz o, por lo menos, acercar su comprensión a la experiencia.

“... nos es necesario que me proponga decir cuál es su verdadera naturaleza [de la luz], y creo que bastará con servirme de dos o tres comparaciones que ayudan a concebirla de la manera que me parece más adecuada para explicar todas aquellas propiedades que la experiencia nos permite conocer y para deducir luego todas las otras que no pueden ser tan fácilmente observadas; imitando en esto a los astrónomos, quienes, aunque sus suposiciones sean casi todas falsas o inciertas, sin embargo, en razón de que ellas se refieren a diversas observaciones que ellos han hecho, no dejan de sacar de ellas varias consecuencias muy ciertas y muy seguras”

Para Descartes aparentemente lo principal es tener una buena cantidad de modelos disponibles para deducir de algunos de ellos las propiedades verificables en la experiencia. En el caso de la luz. Descartes propone tres analogías que se presentan en el comienzo de la *Dióptrica*. Granes, J (2001).

1. La luz es como la presión o la fuerza que el bastón de un ciego ejerce sobre la mano que lo empuña. Lo único que se transmite, siguiendo esta analogía, es una presión sobre el fondo del ojo que produce en él la impresión de los objetos:

Aclarando aún mejor su idea, Descartes afirma que *“no es necesario suponer que se transporta algo material de los objetos hasta nuestros ojos para hacernos ver los colores y la luz”*. Granes, J (2001).

2. La luz se puede pensar por analogía con el escape de vino de un barril lleno de uvas a través de un agujero hecho fondo. Las uvas representan la materia gruesa y el vino la materia sutilísima de la luz que logra atravesar la materia gruesa en las sustancias transparentes. Así como en el barril los intersticios entre las uvas están llenos de vino, así mismo en la naturaleza no existe el vacío y los poros de las partículas de los cuerpos están llenos de una materia sutilísima que trasmite -o es ella misma- la luz.
3. La luz es como un haz de bolas de tenis que, según como sean golpeadas por la raqueta, pueden poseer ya sea solo un movimiento de traslación o bien, conjuntamente, traslación y rotación. Un medio denso pero transparente juega, en el caso de las partículas de luz, el mismo papel de la raqueta para las bolas de tenis.

Por medio de esta analogía Descartes explica en la *Dióptrica*, la reflexión y la refracción de la luz, (Granes, J, 2001).

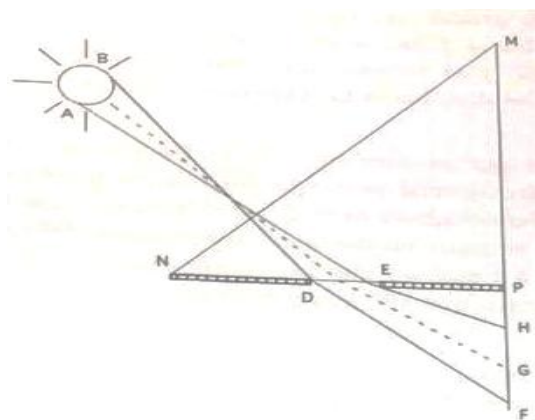


Ilustración 1. Experiencia cartesiana del prisma

La teoría cartesiana sobre los colores se desarrolla sobre la base de esta tercera analogía y se construye a partir de observaciones realizadas en un experimento particular sobre la formación de los colores por medio de un prisma.

Un haz de rayos luminosos proveniente del sol cae perpendicularmente sobre la cara NM de un prisma. La cara NP se encuentra recubierta por un cuerpo oscuro en el cual se ha hecho una pequeña abertura DE. El haz de luz penetra el prisma, se refracta al salir por el orificio DE y se refracta en un papel colocado en FH, donde aparecen los colores del arco iris. “*Observé, dice Descartes, que los rayos que pasaban por esta abertura y que caían, a partir de allí, sobre una tela o un papel blanco FGH, teñían allí todos los colores del arco iris y que tenían siempre el rojo hacia F y el azul o violeta hacia H. Además si se retira el cuerpo opaco que recubre la cara NP del prisma los colores desaparecen*”. Esta última observación es crucial para Descartes, según, José Granes, (2001).

“... observé que era necesaria la sombra o la iluminación de esta luz, pues si se retira el cuerpo oscuro que se encuentra sobre NP, los colores FGH dejan de aparecer y si se hace la abertura DE bastante grande, el rojo, el naranja y el amarillo que se encuentran hacia F no se extienden muy lejos, ni tampoco el verde,

el azul y el violeta que están hacia H. el espacio que sobra entre los dos, hacia G, permanece blanco”.

Descartes concluye que la sombra, o la limitación de la luz por el orificio DE, es un elemento esencial para que los colores puedan producirse. El problema que se plantea ahora es establecer por qué razón el color rojo y el azul aparecen siempre en bordes determinados del espectro, el azul en H y el rojo en F, a pesar de que las condiciones de luz y sombra son las mismas en ambos extremos del haz refractado:

“Y concibiendo la naturaleza de la luz tal como la he descrito en la Dióptrica, a saber, como la acción o movimiento de una cierta materia muy sutil, de la cual hay que imaginar las partes como pequeñas bolas que ruedan en los poros de los cuerpos terrestres, he sabido que estas bolas pueden rodar de diversas formas, según las diversas causas que las determinan a rodar”.

Descartes supone, que las partículas de luz adquieren al refractarse, además de su movimiento rectilíneo de propagación, un movimiento de rotación. El color o el efecto del color que se produce en el fondo del ojo, sospecha Descartes, dependerá tanto de la rotación de los glóbulos de luz alrededor de su centro como de la relación entre traslación y rotación de las bolas:

“... cuando ellas [las bolas] tiene al lado unas que se mueven más rápido y del otro lado otras que se mueven más o igualmente rápido, tal como ocurre en los confines de la sombra, y de la luz, si ellas encuentran aquellas que se mueven menos rápido del lado hacia el cual ellas ruedan, como ocurren con las que componen el rayo EH, esto causará que ellas roten menos rápido de lo que se mueven en línea recta; y ocurre todo lo contrario cuando ellas las encuentran del otro lado como ocurre con el rayo DF”

Las dos situaciones que describe Descartes podrían representarse por la siguiente figura, en la cual se aprecia como el entorpecimiento del movimiento de rotación por la sombra, representada por una bola en reposo (a la derecha para el rayo EH y a la izquierda para el rayo DF). Ocurren en cada caso en sentido contrario.

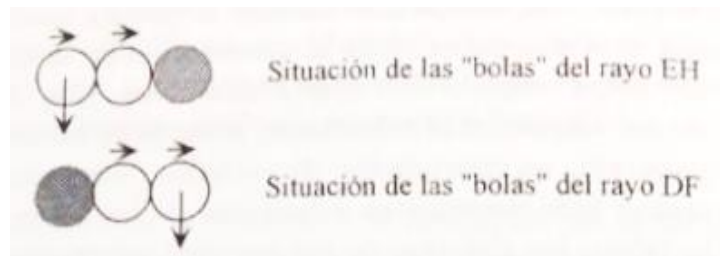


Ilustración 2. Efecto de la sombra sobre la rotación de los glóbulos de luz.

Descartes llega a la conclusión:

“y se demuestra, me parece, muy evidente de todo esto, que la naturaleza de los colores que aparecen hacia F no consiste sino en que las partes de materia sutil que transmite la acción de la luz tienden a girar con más fuerza que a moverse en línea recta; de tal manera que las que tienden a girar mucho más fuerte causan el color rojo y aquellas que no tienden a girar sino de manera un poco más fuerte, causan el amarillo. Como, al contrario, la naturaleza de aquellas que viajan hacia H no consiste sino en que estas pequeñas partes no giran tan rápido como acostumbraban cuando no había ninguna causa particular que se lo impidiese; de tal manera que el verde aparece donde ellas no giran sino menos rápidamente y el azul donde ellas giran mucho menos rápido”

Por lo tanto, Descartes ha construido una explicación sobre la base de un modelo meramente cualitativo. De alguna manera, el modelo deja filtrar la concepción aristotélica que asociaba los distintos colores a mezclas diferentes de luz y sombra.

La luz como un fluido

Francesco María Grimaldi (1618–1663). Imagina la luz como un fluido sutil, susceptible de sufrir ondulaciones como el agua, y que se propaga a gran velocidad. Sobre la base de este modelo Grimaldi elabora una explicación del fenómeno de la difracción de la luz, descubierto por el mismo. Reflexionando sobre la aparición de los colores en la luz blanca. Grimaldi encuentra que la luz puede colorearse por fenómenos diversos: reflexión,

refracción o difracción. Concluye de esta consideración que ninguno de los fenómenos mencionados es en sí mismo necesario para que aparezcan los colores. La modificación de la luz para producir los colores debe provenir entonces de ella misma; la luz es, en efecto, el único elemento común a todas las experiencias antes señaladas. ¿Cuál es entonces la naturaleza de esta modificación? Grimaldi propone dar cuenta de la génesis de los colores por una variación de la tensión o consistencia de la luz. Estas modificaciones, como en Descartes, afectan el órgano de la visión produciendo la impresión de los colores:

“Cuando la luz se transforma en color visible en general cambia de tensión (intensionem) o de consistencia (densitatem): de tal manera que adquiere intensidad o se vuelve densa cuando el color se hace brillante (clarus) y alegre (hilaris); o bien se encuentra, ya sea relajada, ya sea ratificada, ya sea que se vuelve menos densa cuando el color es más oscuro (obscurus)”

Grimaldi se propone demostrar la tesis que acabamos de enunciar por medio de experimentos:

“La proposición (anterior se verifica realizando experiencias que muestran que los rayos luminosos (luminis radiationes) se colorean de manera desigual puesto que los rayos que constituyen estos haces se encuentran apretados en una parte y distendidos en otra parte”

Para mostrar esta concentración en una parte y distensión en la otra de los haces luminosos, Grimaldi realiza la experiencia de refracción que se muestra en la figura.

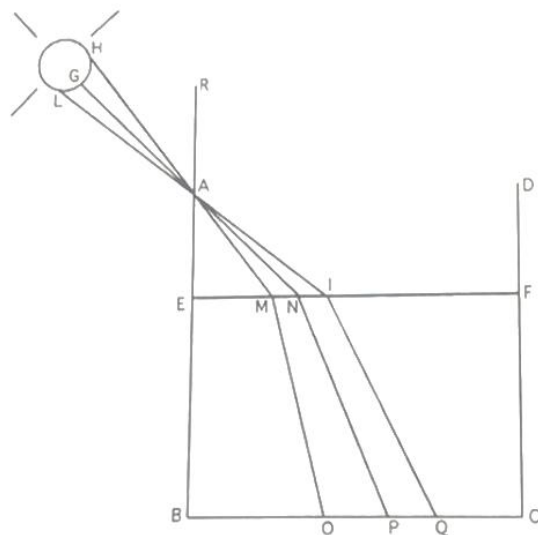


Ilustración 3. Experiencia de Grimaldi

En esta experiencia el autor considera tres rayos provenientes del sol LA, GA y HA que pasan por el pequeño orificio A de una lámina opaca refractante, de allí, que aparezca una coloración rojiza cerca de Q y otra azulosa cerca de O. En palabras de Grimaldi:

“Además, en el haz limitado por el fondo blanco BC del recipiente, observamos el color rojizo o amarillo hacia el punto Q donde la luz es densa (densatur); sin embargo, hacia el punto O, donde la luz se ha dilatado más ampliamente (lumen laxius diffusum est), observamos un color azul que es evidentemente más oscuro que los dos precedentemente citados... debe concluirse, como en la proposición, que la luz cuando esta coloreada de una manera evidente como en el caso de esta experiencia, es más densa hacia aquella parte que se tiñe de un color más claro o más luminoso, pero que ella es menos densa hacia la parte teñida de un color más oscuro”

Grimaldi aplica el mismo principio a experiencias con prismas, con lentes y con esferas refractantes, que son desde luego un modelo de las gotas del agua del arcoíris. El modelo de Grimaldi, nuevamente, es enteramente cualitativo y también en él podemos notar la influencia subyacente de Aristóteles que identificaba el color de la luz con su

intensidad. Aquí la intensidad se traduce a una mayor o menor densidad del fluido luminoso. (Granes, J (2001).

La luz como un pulso

Robert Hooke (1635–1703), consagra algunas páginas de su *Micrographia*, obra esencialmente dedicada a la descripción detallada de numerosas observaciones realizadas con ayuda del microscopio, a la luz y a los colores. Para Hooke, dice José Granes, “es manifiesto que no existen cuerpos luminosos sino cuerpos cuyos elementos se encuentran en mayor o menos grado de movimiento”. La luz se genera por movimientos vibratorios, muy rápidos y de débil amplitud, de las partes de los cuerpos luminosos. A partir de su generación, se propaga a través de los cuerpos transparentes. Hooke caracteriza de la siguiente manera los aspectos esenciales de esta propagación:

“Primero: debe ser un cuerpo susceptible de adquirir este movimiento (el movimiento vibratorio) y capaz de comunicarlo, el que merezca el nombre de transparente. Y en seguida, que las partes de tal cuerpo deben ser homogéneas o de la misma naturaleza. Tercero, que la constitución y el movimiento de estas partes deben ser tales que la percusión del cuerpo luminoso pueda ser comunicada o propagada a través de este medio a la más grande distancia imaginable en el mínimo de tiempo imaginable; aunque no veo razones para afirmar que esto deba ocurrir en un instante pues no conozco ninguna experiencia u observación que lo pruebe... Cuarto, que el movimiento es propagado en todas partes a través del medio homogéneo siguiendo líneas directas o rectas desplegándose como los rayos de una esfera a partir del centro. Quinto, en un medio homogéneo, este movimiento es propagado en todos los puntos con una velocidad igual, de donde necesariamente cada impulso o vibración del cuerpo luminoso engendrará una esfera que se desarrollará continuamente y se volverá cada vez más grande, de la misma manera (aunque indefinidamente más rápido) que las ondas o los círculos en la superficie del agua que se agrandan en círculos más y más grandes a partir de un punto donde, por el sumergirse de una piedra, el movimiento ha comenzado; de

donde se sigue necesariamente que todas las partes de estas esferas ondulando a través de un medio homogéneo cortan los rayos a ángulo recto”.

Como puede apreciarse por el contenido de esta cita, Hooke tiene una concepción muy precisa de los elementos más sobresalientes que caracterizan la propagación ondulatoria en un medio material. Las posibilidades de desarrollo de su idea se ven limitadas por su escepticismo frente al uso de las matemáticas en el estudio de los fenómenos naturales y por su consecuente incapacidad para formular sus ideas en ese lenguaje.

Sobre la base de su modelo sobre la naturaleza y la propagación de la luz, Hooke puede proceder ahora a examinar el mecanismo de la aparición de colores a causa de la refracción:

"Pero, puesto que los medios transparentes no son homogéneos los unos con respecto a los otros, examinaremos ahora, en con secuencia, como esta impulsión o movimiento se verá propagada a través de medios transparentes diferente. Y aquí de acuerdo con el más penetrante y el mejor de los filósofos, Descartes, supondré que la relación del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refracción en el segundo medio es como la densidad del primero con relación a la densidad del segundo. Por densidad no entiendo densidad desde el punto de vista de la gravedad (con la cual las refracciones o la transparencia no guardan ningún a relación), sino solamente en relación con la trayectoria descrita por los rayos de la luz, trayectoria de la cual difieren solamente con respecto a lo que sigue: que uno de los medios propaga la impulsión más fácil y débilmente y el otro más lenta pero más fuertemente. Pero en cuanto a los pulsos, estos adquirirán por refracción, otra propiedad que debemos ahora tratar de explicar.”

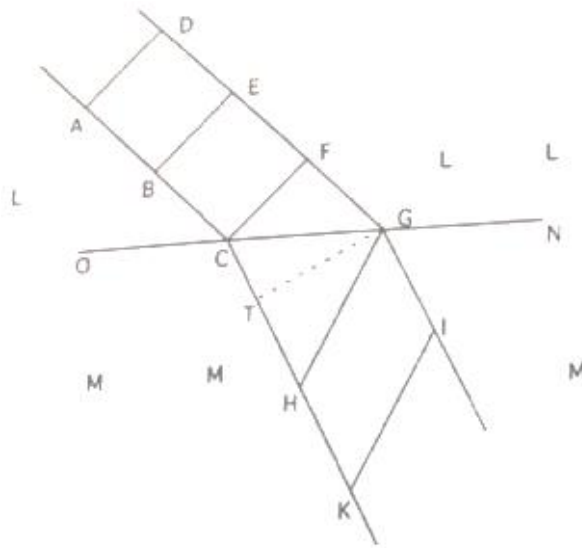


Ilustración 4. Pulso incidente, pulso refractado

Para resumir. El pulso AH que penetra en el medio refractante, inclinado, como ya se ha visto, por efecto de su velocidad mayor en él, al abrirse paso en el medio irá debilitándose progresivamente, más hacia el lado de H ya que este penetra primero el medio. La debilidad del pulso generará en el ojo del observador un color azul profundo que, a medida que avanza el pulso en el medio, se irá extendiendo en el triángulo BOS. El extremo A al penetrar el medio “tranquilo y oscuro” por el camino ya abierto por lado H, se debilitará menos. Se irá poco a poco extendiendo más allá de su límite original A, hacia K y M a medida que el pulso perturba el medio quieto en Q. Se origina así un haz ligeramente divergente, donde el triángulo ANM generara el color rojo, más intenso del lado AM, donde el pulso esta menos debilitado. A medida que el haz del medio de luz avanza en el medio, las líneas AN y BR llegaran a interceptar generándose, por mezcla de los matices rojo y azul, diversos colores intermedios como verdes, etc. Según Hooke no existen sino esos dos colores “primarios” u originales, todos los otros generándose por la atenuación o la mezcla de los dos, según matices y proporciones distintas. El esquema de Hooke también muestra por qué cerca de la superficie solo los extremos del haz aparecen coloreados (de rojo y azul) mientras que al avanzar la luz en el medio los demás colores van apareciendo hasta cubrir todo el haz.

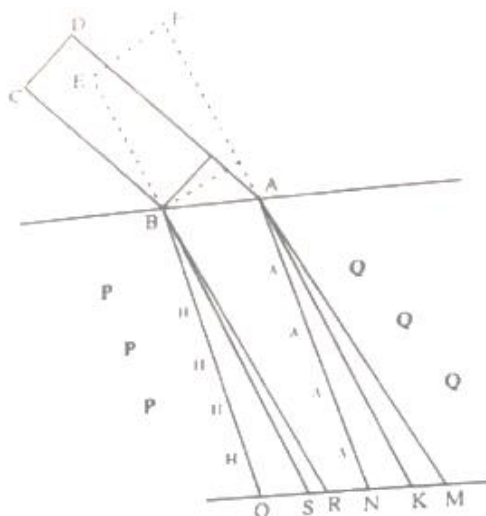


Ilustración 5. La formación de colores por refracción.

Lo anterior trata sobre el por qué y cómo se forman los colores por refracción a partir de la luz blanca. El modelo tiene que ver con explicaciones causales. En otras palabras, se busca descubrir, en los tres casos, cuáles son las causas que propician la aparición de los colores cuando la luz blanca se refracta. Por eso mismo las tres teorías son esencialmente modelos mecánicos en los cuales se adopta una hipótesis sobre la naturaleza física de la luz. Luz como partícula, como fluido o como pulso, y se propone un mecanismo que muestra como la sustancia luminosa es modificada diferenciadamente por acción del medio cuando sufre una refracción: aumento o disminución de la rotación de las partículas de luz, condensación o rarefacción del fluido luminoso, inclinación del pulso con relación a la dirección de propagación y en consecuencia debilitamiento desigual en sus partes, respectivamente.

Los tres modelos ya mencionados sobre la producción de los colores son modelos mecanicistas. Es decir, ponen de manifiesto solamente objetos puntuales (partículas, fluidos y pulsos) e inventan interacciones para explicar cómo los movimientos, las densidades o las intensidades se modifican al interactuar. Solo intervienen cantidades y efectos físicos. Sin embargo, las cantidades físicas y los conceptos que se ponen en juego se definen en general con muy poca precisión, apelando principalmente a la experiencia común y a la analogía con las cosas sensibles. Estos modelos mecanicistas son enteramente cualitativos. Ninguna

indicación sobre ordenes de magnitud de las cantidades involucradas o sobre procedimientos que permitiesen medir alguna de las cantidades es suministrada. Mas que conceptos, los modelos nos ofrecen imágenes.

El experimento luminoso

En una carta a comienzos de 1672, Isaac Newton (1626 - 1727), se dirige a Henry Oldenburg, secretario de la Royal Society, manifestando su interés en enviar a la sociedad un estudio teórico que fundamente la construcción del telescopio. Producto del entusiasmo que genera entre los miembros de la sociedad el telescopio de reflexión que presenta a finales de 1671 su colega, Isaac Barrow (1630 - 1677). Basta citar un aparte de esta carta para apreciar la relevancia e importancia que Newton le otorgó:

“Deseo que en vuestra próxima carta me informéis acerca de durante cuánto tiempo proseguirá la Sociedad sus reuniones semanales, porque si prosiguen aún durante un tiempo quiero proponerle, para que sea considerado y examinado, un informe sobre un descubrimiento filosófico que me indujo a construir el dicho telescopio, y que no dudo probará ser mucho mas iluminador para la comunicación de ese instrumento, siendo a mi juicio el mas sorprendente sino el más considerable descubrimiento que hasta ahora se ha hecho sobre las operaciones de la naturaleza”.

Como se deduce de esta cita, Newton responde a una solicitud que le hace el secretario de la Royal Society en el sentido de componer un manual explicativo del telescopio. Newton decide más bien presentar una carta, en un texto, cuidadosamente escrito, exhibe de una forma más articulada de los principios de la teoría newtoniana sobre los colores de la luz.

El problema, que en la reconstrucción que Newton hace de su propio trabajo, motiva la investigación sobre los colores y precisa cual será el objeto de investigación como se muestra en el primer párrafo de la carta:

“Para cumplir con mi reciente promesa, le informo sin mas ceremonia que al comienzo del año 1666 (en cuyo momento me aplicaba en pulir vidrios ópticos de formas distintas a la esférica) me procure un prisma triangular de vidrio para intentar el célebre fenómeno de los colores. Y para lograrlo, habiendo oscurecido mi cuarto y abierto un pequeño orificio en las persianas para dejar entrar una cantidad conveniente de luz solar, coloqué mi prisma a la entrada de la luz de tal manera que pudiese ser refractada en la pared opuesta. Al comienzo constituyo una diversión muy placentera observar lo vividos e intensos colores así producidos; pero después de un rato, aplicándome en considerarlos de manera más circunspecta, me sorprendí de verlos en una forma oblonga, forma que, según las leyes conocidas de la refracción, yo esperaba que hubiese sido circular”.

Ahora bien, con relación a las explicaciones mecanicistas expuestas anteriormente, vemos que el experimento del prisma, hacia 1672, había sido realizado en distintas versiones por los mejores hombres de ciencia del momento. Puesto que, la explicación sobre la aparición de los colores al producirse la refracción de la luz blanca había cambiado, ahora se busca, dar cuenta del alargamiento de la mancha sobre la parde.

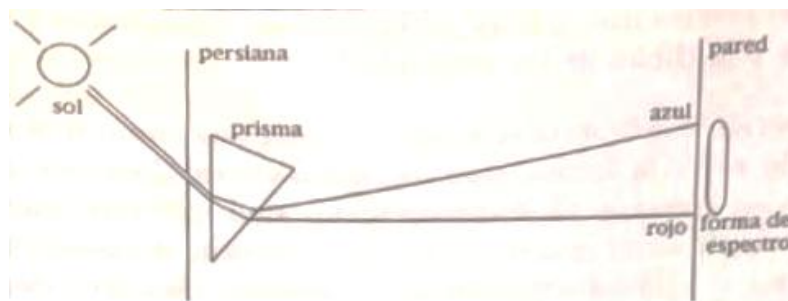


Ilustración 6. Esquema del experimento del prisma

La ilustración 6, nos muestra, un alargamiento del espectro, al observar el fenómeno de los colores. Sin embargo, la observación de un mismo fenómeno no revela lo mismo a observadores diferentes. Es decir, el tipo de interpretación dependerá, entre muchas otras cosas, de la formación cultural y de la perspectiva de pensamiento de quien observa. Por lo que, para Newton, la forma alargada del espectro es un elemento clave que vale la pena destacar y matematizar específicamente.

Newton investiga, con gran rigor metodológico, varios de estos posibles aspectos circunstanciales. Piensa primero que tal vez la anomalía podría ser producida por los grosores diferentes de cristal que encuentra el haz incidente al penetrar en el prisma, o también, como un efecto de “los límites de la sombra o la oscuridad” en el orificio de entrada. Para descartar esas posibles causas, Newton realiza el experimento haciendo pasar el haz de luz por secciones del prisma de distinto grosor, variando el tamaño del orificio en la persiana que delimita el haz incidente sobre el prisma y colocando el prisma fuera de la ventana de tal manera que la refracción de la luz se produzca antes de que ésta penetre el orificio. En todos los casos, concluye Newton, *“el aspecto de los colores era el mismo”*, (J. Granes, 2001).

“Luego sospeche, nos dice, que los colores pudieron ser dilatados de esa manera ya sea por desigualdades en el vidrio o por alguna otra irregularidad contingente”. Para descartar esa posible causa, Newton toma otro prisma idéntico al primero y lo coloca de tal manera que los dos unidos forman una lámina de lados paralelos, como se muestra en la siguiente ilustración:

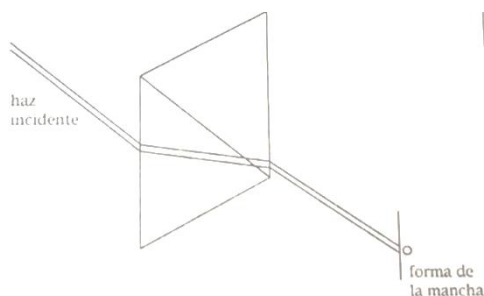


Ilustración 7. Experimento de los dos prismas

De esta manera la refracción de la luz en el primer prisma es exactamente contrarrestada por la refracción en el segundo. Dice Newton, *“los efectos regulares del primer prisma serían destruidos por el segundo prisma pero los efectos irregulares se verían aumentados por la multiplicidad de las refracciones”*. Al realizar este experimento, Newton observa que desaparece completamente el espectro sobre la pared y se produce allí una mancha circular de luz blanca, similar a la que produciría el haz incidente. Por lo tanto,

concluye Newton, el alargamiento no puede ser producido por posibles irregularidades del prisma, que hubiesen distorsionado mas el haz de luz, al pasar por dos de ellos.

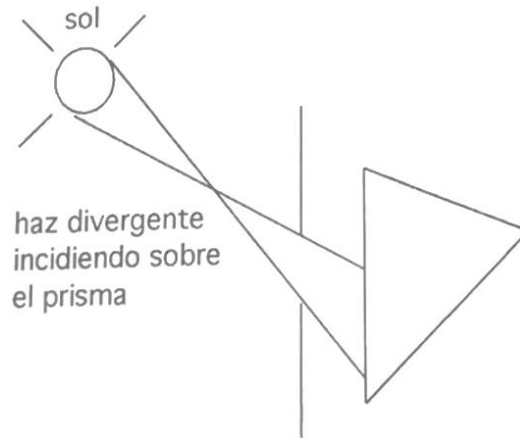


Ilustración 8. El efecto del tamaño finito del sol

Finalmente, Newton indaga la posibilidad de que la luz al penetrar el prisma pudiese curvarse, “*si los rayos de luz fuesen posiblemente cuerpos globulares, y por su paso oblicuo de un medio al otro adquiriesen un movimiento circular*”. Como los corpúsculos luminosos de Descartes. Sin embargo, Newton descarta este posible efecto observando cuidadosamente la trayectoria de los rayos, en los cuales no observa ninguna curvatura. Y habiendo descartado los posibles efectos circunstanciales que podrían causar el alargamiento del espectro, Newton concluye que la forma “*oblonga*” del espectro es esencial al fenómeno mismo de la dispersión de un haz de luz blanca por un prisma.

Durante el proceso de investigación que realiza, Newton, destaca la importancia del experimento al que él denomina el *experimentum crucis*. De esta manera es como Newton lo describe:

“La eliminación gradual de esas sospechas [las posibles causas circunstanciales] me llevó al final al Experimentum crucis, que era el siguiente: tomé dos tablas y coloque una de ellas justo detrás del prisma de la ventana, de tal manera que la luz pudiera pasar a través de un pequeño orificio practicado en ella con este propósito y pudiera caer en la otra tabla, colocada a cerca de doce pies de distancia,

habiendo practicado de antemano también en ésta un pequeño orificio para que parte de la luz incidente pasara a través de él. Entonces coloque otro prisma detrás de esta segunda tabla, de tal manera que la luz que atravesaba las dos tablas pudiera también pasar a través de él y ser refractada antes de llegar a la pared. Hecho esto, tomé el primer prisma en mi mano y lo hice girar en un movimiento de va y viene alrededor de su eje, para que todas las partes de la imagen enviadas sobre la segunda tabla pasaran sucesivamente por el orificio practicado en ella, de tal forma que pudiese observar los lugares sobre la pared en los cuales el segundo primas las refractaba”.

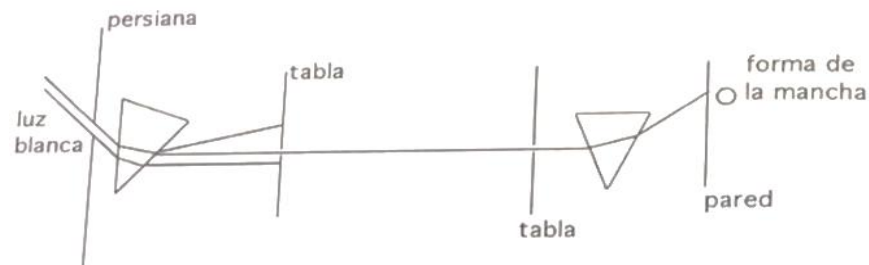


Ilustración 9. Esquema del experimentum crucis

En el diseño del experimento, los pequeños orificios en dos tablas permiten que un haz muy fino y monocromático, seleccionado del espectro que emerge del primer prisma, mantenga una dirección constante respecto al segundo prisma. Al rotar el primer prisma, se pueden hacer pasar diferentes colores del espectro por los orificios, enfocándose cada uno en el segundo prisma con un ángulo de incidencia fijo. Newton observó que cada rayo monocromático se refracta sin dispersarse ni cambiar de color en el segundo prisma, formando manchas de color en la pared. Además, cada color refracta en ángulos distintos: la luz roja, que llega al extremo inferior del espectro, sufre menor desviación que la azul, ubicada en el extremo superior. De esta manera, esto explica cómo la extensión del espectro en la pared resulta de la superposición de manchas circulares, desplazadas unas con respecto a las otras según su color, en palabras de Newton:

“Y se detecto que la verdadera causa de la longitud de aquella imagen no era otra cosa que ésta, a saber, que la luz consiste en rayos diferentemente refrangibles los

cuales, sin relación alguna a diferencias en su incidencia, eran transmitidos hacia partes diferentes de la pared según sus grados de refrangibilidad.”



Ilustración 10. Estructura del espectro

La luz blanca, concluye Newton, no es una sustancia homogénea, como se pensaba, sino *“una mezcla heterogénea de rayos diferentemente refrangibles.”*

Así pues, la teoría newtoniana de los colores está sentada sobre los siguientes juicios: primero, la luz blanca es una mezcla heterogénea de rayos de diferentes colores, y segundo, que cada rayo, según su color, se refracta de manera distinta. Nótese que la ley de refracción se ha mantenido pero con una modificación que ha introducido Newton: la refrangibilidad de la luz ya no depende solamente de los medios refractantes, sino también del color.

Es interesante notar como Newton presupone la existencia de “rayos” y como utiliza la palabra “rayo” en expresiones como *“(los rayos) difieren en su disposición para exhibir éste o aquel color particular”* o bien *“los rayos menos refrangibles están todos dispuestos para recibir el color rojo”*; la palabra se usa como si se tratara de una sustancia (o un objeto) que tiene disposición para recibir alguna cualidad, en este caso, el color. Considerando que Newton creía fuertemente en la naturaleza corpuscular de la luz el uso que le asigna a la palabra se refiere a: cada rayo debería corresponder a un tipo particular y distinto de corpúsculos de luz que produce en la retina la impresión de un color determinado.

Citaremos las tres :

De esta manera, Newton quiere evitar una polémica alrededor de la naturaleza de la luz y por lo tanto trata al rayo como una entidad abstracta. Por lo que, al final del artículo, Newton resume e ilustra su teoría en 13 proposiciones. No obstante, tomaremos las tres primeras que conforman el núcleo de su doctrina:

En la primera proposición, a cada rayo, y por lo tanto a cada color, le corresponde además una refrangibilidad que le es propia. La segunda proposición enfatiza justamente la correspondencia equivalente entre rayo, color y refrangibilidad. La tercera, establece la inmutabilidad del color y de la refrangibilidad asociados a cada rayo.

Finalmente, vale la pena también hacer mención de la proposición 13 que trata sobre los colores de los cuerpos:

Allí, Newton propone una concepción novedosa sobre los colores de los cuerpos, muestra, que ya no es simplemente una propiedad de los cuerpos, como se pensaba hasta entonces, sino, por el contrario, que cualquier cuerpo puede verse del color que se desee con solo colocarlo en un cuarto oscuro e iluminarlo con luz de ese color. El color de los objetos a la luz del día resulta de la capacidad diferenciada de los cuerpos para reflejar en mayor o menor medida los rayos de distintos colores.(Granes, J, 2001)

CAPITULO III

CREACIÓN DE EXPERIENCIAS CON RELACIÓN A LOS FENÓMENOS DE LA LUZ

Para promover una enseñanza más efectiva y comprensible del fenómeno de la luz, se diseñó un modelo de montaje experimental que invita al asombro, facilita a la exploración, al descubrimiento y permite una aproximación para la comprensión de aspectos fundamentales. Este montaje se compone principalmente de materiales reusables o de bajo costo, accesibles para los estudiantes, de modo que, se fomente la divulgación de la ciencia sin requerir un espacio determinado o herramientas complejas, propiciando, en aras de la construcción de conocimiento, la innovación, el descubrimiento, la actividad creadora y el trabajo en equipo; así pues, conseguir el desarrollo de una actividad experimental asociada a la comprensión del fenómeno de la luz representando de manera práctica fenómenos asociados a la luz, acompañado de reflexiones en torno a la construcción de conocimiento alrededor del comportamiento de la luz. Además, integra ejercicios teóricos y prácticos que fomentan la experimentación, la observación directa y la participación activa del estudiante; soportado por una metodología de investigación por indagación enmarcado en la pedagogía de aprendizaje por descubrimiento. Este método educativo sitúa al estudiante como pilar fundamental para llevar a cabo sus avances cognitivos, de acuerdo con sus pretensiones e intereses, de modo que, la adquisición de conocimientos se rige fundamentalmente por medio del descubrimiento creativo y la experimentación, (Bruner, 1961). Complementariamente, se incluyen lecturas analíticas que profundizan en los conceptos científicos detrás de los fenómenos de la luz, así como reflexiones críticas que invitan a cuestionar y analizar los resultados obtenidos. Todo esto con el objetivo de crear un proceso de aprendizaje integral, dinámico y participativo que facilite la comprensión de los principios ópticos, promoviendo el desarrollo del pensamiento científico y la curiosidad por la física de la luz.

«George Steiner, decía que un clásico, ya sea de cualquier disciplina “es una forma significativa que nos lee”. Hacia énfasis en que “es ella quien nos lee, más de lo que nosotros la leemos, escuchamos o percibimos”, (1999). La obra que llamamos clásica,

aunque haya sido realizada hace dos mil años, sigue estando presente entre nosotros; nos sigue interpelando de manera significativa; sigue siendo parte viva de nuestra cultura. Su riqueza de significado abre la puerta a múltiples interpretaciones distintas a lo largo del tiempo. Cada época puede abordarla de nuevo y conferirle sentido según sus propios códigos. Por eso, como también mencionaba Steiner, “todo intento de comprensión, de “correcta lectura”, de recepción sensible es, siempre histórico, social e ideológico”.»

Lo que Steiner decía podría afirmarse también a las grandes obras científicas. Entendidas como obras integrantes en nuestra cultura, encierran formas de pensamiento que viven aún entre nosotros. Volver a pensarlas otra vez desde nuevos puntos de vista, es hacerlas vigentes y eficaces para la reflexión contemporánea. Esta perspectiva renovada permite iluminar fundamentos de nuestro conocimiento actual para comprender el comportamiento de la luz, más allá del estudio de sus propiedades ópticas o explicaciones sobre la fenomenología asociada a la luz. En el capítulo anterior se abordó una de las controversias científicas más importantes del siglo XVII, buscando no solo esclarecer su significado y sus alcances en el contexto de las elaboraciones iniciales de la nueva ciencia, sino procurando también reinterpretar sus contenidos, formulando descripciones que busquen la identificación de los elementos que intervienen cuando se manifiesta sus interacciones en el mundo físico, reconociendo las condiciones y características del entorno, apelando a categorías filosóficas y epistemológicas contemporáneas que permitan dar cuenta de situaciones y experiencias asociadas a los fenómenos de la luz.

El modelo y las ideas claves

En el campo de las ciencias, uno de los temas que ha sido ampliamente abordado y que continúa siendo fundamental en la enseñanza y aprendizaje de estas disciplinas es la modelización y el uso de modelos. Diversos autores han señalado la importancia de trabajar con modelos en el proceso de adquisición del conocimiento científico, ya que estos desempeñan un papel crucial en la producción, difusión y aceptación de las ideas científicas (Gilbert, 1991). Para Gilbert, los modelos actúan como un puente que conecta la teoría científica con la realidad observable, permitiendo que los conceptos abstractos sean representados de manera comprensible. Estos modelos pueden ser descripciones

simplificadas de fenómenos o entidades observadas, creadas con fines específicos y que incorporan las abstracciones propias de la teoría científica para facilitar su comprensión. Además, los modelos también pueden constituir idealizaciones de una realidad posible, diseñadas con el propósito de hacer comparaciones con fenómenos reales y así facilitar su análisis. La utilidad de los modelos en la ciencia es diversa: sirven para visibilizar entidades abstractas (Francoeur, 1997), para simplificar y describir fenómenos complejos (Rouse y Morris, 1986), y también constituyen una base fundamental para explicar fenómenos científicos o realizar predicciones precisas acerca de eventos futuros (Gilbert et al., 1998). En conjunto, estos enfoques resaltan la importancia de los modelos como herramientas didácticas y metodológicas en la enseñanza de las ciencias, promoviendo una comprensión más profunda y contextualizada de los conceptos científicos.

Las diferentes maneras de emplear los modelos benefician las actividades en el aula de ciencias, ya que ayuda a los estudiantes a entender mejor la esencia y el significado de aquellos modelos que han sido fundamentales en la evolución del conocimiento científico.

Es por ello, que el presente trabajo demanda la elaboración de un modelo que permita la simulación de fenómenos asociados a la luz, con fines específicos, donde las abstracciones de la teoría científica puedan ser idealizadas y visibilizadas en una realidad observable para establecer así criterios, relaciones, comparaciones y descripciones más simplificadas de fenómenos complejos. Dicho esto, se sugiere, desde una perspectiva cultural en el ámbito de las ciencias, hacer indispensable la modelización o el uso de los modelos, ya que estos son fundamentales para la producción, difusión y aceptación del conocimiento científico, (Giere, 1988; Gilbert, 1991). Los modelos permiten relacionar la teoría científica abstracta con el mundo real perceptible, (Gilbert, 2004).

Diseño e implementación de la sistematización de experiencias

A continuación, se presenta una propuesta de sistematización de experiencias que recopila las ideas clave para abordar el estudio de los hechos más básicos relacionados con la luz. Este enfoque abarca desde la propagación rectilínea de la luz, la reflexión y la refracción, conceptos fundamentales para comprender su comportamiento, así como una

aproximación adicional a temas más complejos, como la difracción y la interacción de la luz con los objetos de color.

Esta propuesta parte de la explicación de la luz entendida como partícula, lo que podemos considerar como la idea clave de contexto de trabajo. Utilizar el modelo corpuscular de la luz en esta etapa favorece la comprensión de su comportamiento, ya que proporciona una visión sencilla y concreta que resulta más accesible para los estudiantes en fases iniciales de aprendizaje. Además, este enfoque ayuda a establecer conexiones con el modelo de la materia como un conjunto de partículas, lo cual es muy relevante en la educación primaria y en niveles básicos de secundaria.

El modelo de partícula permite aproximar a los alumnos a una representación física de la luz que resulta más tangible y comprensible, facilitando la visualización de fenómenos como la propagación rectilínea y la reflexión. De esta manera, se logra que los estudiantes puedan relacionar estos conceptos con experiencias cotidianas, fomentando una comprensión más intuitiva y sólida. Posteriormente, se podrá introducir el modelo ondulatorio y otras teorías más complejas, enriqueciendo así su visión sobre la naturaleza multifacética de la luz y sus diferentes comportamientos en distintos contextos.

Luego de considerar la luz como partícula se proponen las siguientes ideas clave que coinciden con las de Anderson y Bach (2005):

1. Entender la luz como partícula.
2. Identificar el lugar de donde hay o está la luz.
3. Distinguir entre luz, fuente de luz y objeto iluminado.
4. La luz se propaga a través del espacio.
5. La luz se propaga en línea recta en un medio homogéneo.
6. Al llegar a un espejo la luz se refracta, esto es, rebota.
7. La reflexión en un espejo sigue una determinada ley.
8. Al llegar a una superficie cualquiera la luz también se refleja, pero solo en parte, y de manera más irregular que en los espejos.

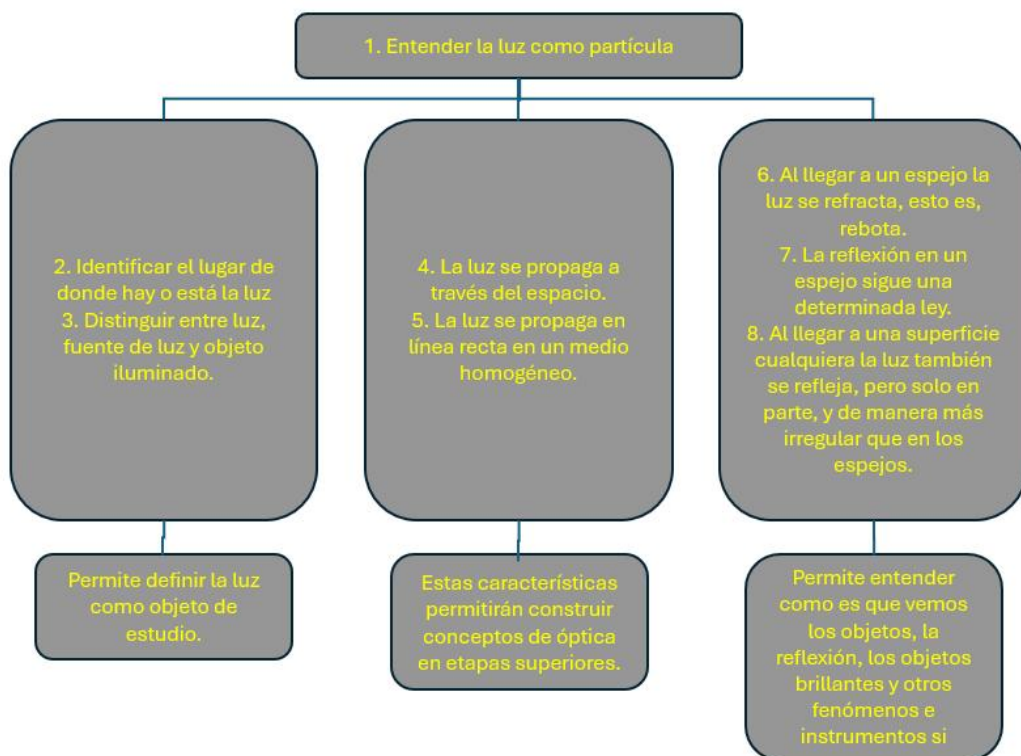


Ilustración 11. Tabla de agrupación de ideas clave de la luz para un trabajo de aula

En primer lugar, se propone abordar las ideas 2 y 3 con el objetivo de que los estudiantes tengan un contexto de trabajo y pueda asociar a la luz la característica de objeto de estudio y todo lo que conlleva esta asociación (es observable, es medible, etc.).

A continuación, se propone trabajar las ideas 4 y 5 con el fin de identificar el comportamiento que tiene la luz y así poder caracterizar el objeto de estudio. Este conocimiento favorecerá la construcción de conceptos de óptica más complejos en etapas superiores.

Finalmente se proponen las ideas 6, 7, y 8, que permiten conocer y entender cómo se comporta la luz al interactuar con los objetos como así también las variables que intervienen, por ejemplo, la tipología y geometría de las superficies.

Según Anderson y Bach (2005) desde el principio es importante abordar la idea clave de que la luz existe (en esta propuesta, ideas 2 y 3) y se propaga a lo largo de líneas rectas entre fuentes y objetos (en esta propuesta, ideas 4, 5, 7, y 8). Además, sostienen que

las ideas clave se deben utilizar como una herramienta para explicar fenómenos del mundo real, como el tamaño y la forma de las sombras y/o las áreas iluminadas.

	Ciclo inicial	Ciclo medio	Ciclo superior
Ideas clave	Identificar donde hay luz [2] Distinguir entre luz, fuente de luz y objeto iluminado [3] La luz viaja y lo hace en línea recta [4 y 5] Al llegar a una superficie cualquiera la luz también se refleja, pero solo en parte, y de manera más irregular que en los espejos [8]	Al llegar a un espejo la luz se refracta, esto es, rebota [6] Al llegar a una superficie cualquiera la luz también se refleja, pero solo en parte, y de manera más irregular que en los espejos [8]	La reflexión en un espejo sigue una determinada ley [7] Al llegar a una superficie cualquiera la luz también se refleja, pero solo en parte, y de manera más irregular que en los espejos [8]
Ejemplo de la actividad	Visualizar el trayecto de la luz a cortas, medianas y largas distancias, con y sin luz ambiente. [2, 3, 4 y 5] Experiencias para mostrar que vemos cuando la luz llega a nuestros ojos. Comparar objetos brillantes y luminosos. Relacionar con el funcionamiento del sentido de la vista	Visualizar y representar la formación de imágenes y sombras con la ecuación de la recta demostrando la trayectoria de la luz. De manera cualitativa: reflexión de la luz en objetos para entender la visión. Reflexión en espejos planos con luz laser.	Visualizar la formación de sombras y penumbras. Deducir experimentalmente la ley matemática de reflexión. Comparar la reflexión en los objetos con la reflexión en los espejos, profundizando en la idea 8.
Modelo de luz recomendado	Rayos y partículas	Rayos y partículas	Rayos y partículas Se puede comenzar a introducir la idea de onda.

Ilustración 12. Tabla de propuesta de progresión de ideas clave de la luz

El diseño de esta sistematización de experiencias se basó en la organización y distribución de experiencias en el aula, de manera que, fueran acordes para el desarrollo de una reconstrucción de las concepciones que hay en torno a los fenómenos asociados a la luz, que abarque dentro del amplio abanico de contribuciones, aquellas que suscitan mayor interés en el campo de la enseñanza de la física, en particular de la luz. Resaltando también el papel que juega la creatividad en los procesos educativos. Se busca a través de diferentes reflexiones la contextualización de distintas realidades acordes al análisis de situaciones y construcción de explicaciones donde la experiencia aporta múltiples aspectos relevantes al estudio del comportamiento de la luz. Para ello, la investigación requiere que si deseamos realizar una didáctica creativa necesitamos, como docentes, herramientas flexibles para la comprensión y el entendimiento, y que permita el asombro frente a lo desconocido.

Como lo menciona Oscar Jara, 2011, la sistematización, es aquella interpretación crítica de una o varias experiencias que, a partir de su ordenamiento y reconstrucción, descubre y explica la lógica del proceso vivido en ellas: los diversos factores que intervinieron, cómo se relacionaron entre sí y por qué lo hicieron de ese modo. La Sistematización de Experiencias produce conocimientos y aprendizajes significativos que posibilitan apropiarse de los sentidos de las experiencias, comprenderlas teóricamente y orientarlas hacia el futuro con una perspectiva transformadora.

Estructura de la secuencia de sistematización

En esta sección se presenta el ejercicio pedagógico que componen las actividades y preguntas de la secuencia de enseñanza. La secuencia está dividida en preguntas, experiencias, actividades prácticas, inquietudes y ejercicios de imaginación.

Población

Durante el proceso de prácticas que se llevó a cabo en el Instituto Pedagógico Nacional, se resalta el ejercicio cooperativo con los estudiantes de la comunidad 5 del IPN, en el espacio correspondiente al taller de física, “no tan obvio”, que se realizó con los estudiantes de los grados octavo y noveno, dando lugar, así, a una brecha de experiencias y conocimientos previos que logra hacer perceptible una diversidad de intereses, gustos, curiosidades, pretensiones particulares, hobbies, entre otros. La experiencia permitió evidenciar cómo reaccionaban los estudiantes ante dinámicas de aprendizaje que se realizaban en el taller, donde los estudiantes practicaban actividades que les permitía observar, analizar, explorar, diseñar y experimentar diferentes fenómenos físicos. De ahí también, que reflejara la filosofía institucional y la apuesta pedagógica del IPN alrededor de un horizonte pedagógico centrado en la convivencia, la pasión por el saber y la innovación pedagógica, como resultado de las estrategias pedagógicas establecidas por el IPN; Proyectos pedagógicos integrados (PPI); Innovación, investigación y formación de maestros; Convivir en comunidad y Proyección social, se posibilita atravesar el ámbito académico, la cotidianidad y la cultura institucional, (PEI IPN, 2019).

De modo que, se dispone a realizar un programa de actividades experimentales que, se aborda, en el COLEGIO REAL DE COLOMBIA, el cual se encuentra ubicado en la localidad de Engativá, en el barrio Garcés Navas, en la Carrera 108 # 72 – 07, llevando a cabo, la labor como docente de Matemáticas, en bachillerato, del grado séptimo 7° al grado once 11° (dos cursos por grado) y director de curso del grado 9B; siendo un colegio de carácter tradicional, ofrece básica primaria y bachillerato, es mixto, privado y de calendario A.

Diseño, implementación y análisis

El ejercicio pedagógico estuvo enmarcado en cinco momentos, que se llevaron a cabo en tres sesiones. En la primera sesión se elaboró la construcción de una cámara oscura y posteriormente el desarrollo de un documento tipo informe con relación a dicha actividad. En la segunda sesión, se desarrolla la actividad experimental junto con la guía #1, *“entre luces y sombras: un recorrido experimental sobre la naturaleza de la luz”*.

Primer momento

Punto de partida: reconoce y observa

Se compone de actividades introductorias a la temática a abordar, contextuliza en el marco de situaciones puntuales, reconoce ideas previas y elabora una construcción de magnitudes desde la experiencia, nociones necesarias para entender los fenómenos propios de la luz.

Segundo momento

Las preguntas iniciales: diseña y construye

Las preguntas orientadoras tienen como intención recoger las ideas previas y concepciones, además de guiar el proceso de aprendizaje, en este caso, la construcción de una cámara oscura y posteriormente la entrega de un documento tipo informe de la experiencia realizada.

Tercer momento

Recuperación del proceso vivido: analiza, experimenta y propone

Se lleva a cabo la actividad experimental de la guía #1 *“entre luces y sombras: un recorrido experimental sobre la naturaleza de la luz”*, haciendo uso de la caja fenomenotécnica.

Cuarto momento

Las reflexiones de fondo

Análisis interpretativo de la experiencia, aspectos personales y colectivos, preguntas desencadenantes.

Quinto momento

Los puntos de llegada

Finalmente, se formulan conclusiones e interpretaciones a las principales afirmaciones que surgen como resultado del proceso de sistematización. Pueden ser puntos de partida para nuevos aprendizajes, por lo que logran ser inquietudes abiertas que no se trata de conclusiones definitivas.

Construcción de una cámara oscura como práctica experimental

Se realiza el diseño y la construcción de una cámara oscura, utilizando material de reúso o de bajo costo, donde se integraron prácticas experimentales diseñadas para que los estudiantes, a través de la experiencia sensible, logren evidenciar diversos fenómenos de la luz.

En el siguiente diagrama de procesos se describe la caracterización de la construcción de la cámara oscura en torno al ejercicio de sistematización de experiencias, los ejercicios y las actividades propuestas, así como la intención con que fueron establecidas.

Diagrama de descripción Caracterización de la sistematización de experiencias Construcción de la cámara oscura		
Objetivos	Descripción de las actividades	Ejercicios propuestos
Óptica básica: se introduce el concepto de la formación de imágenes y algunos fenómenos asociados a la luz en un medio opaco. Principios de la cámara oscura: se explica cómo funciona una cámara oscura, cómo se forma la imagen invertida en la superficie opuesta a la abertura y cómo se regula la cantidad de luz que entra. Uso de materiales y herramientas: se enseña cómo utilizar diferentes materiales como cartón, papel aluminio o cartulina negra para construir la	Realizar la construcción de una cámara oscura con materiales de bajo costo, por medio de una lección introductoria de historia. Elaborar un documento tipo informe, donde se podrá identificar los conocimientos previos de los estudiantes con relación al fenómeno de la luz y que papel juega la actividad experimental. En la actividad experimental se plantea un diálogo en torno a las diferentes circunstancias que han llevado al ser humano a comprender el fenómeno de la luz. Además de analizar las situaciones de trabajo que caracteriza el ejercicio de la actividad experimental.	➤ Comprender el funcionamiento de una cámara oscura como dispositivo óptico que utiliza la geometría para proyectar imágenes invertidas. ➤ Analizar el comportamiento de la luz en la formación de imágenes en una cámara oscura, relacionado con conceptos de óptica y física. ➤ Experimentar con diferentes elementos de la cámara oscura, como el tamaño del agujero (pupila de entrada) y la distancia focal, para comprender su influencia en la

cámara, así como el uso de tijeras, pegamento y reglas para medir y cortar. Práctica de habilidades manuales: los estudiantes desarrollan habilidades prácticas al construir las diferentes partes de la cámara, como la caja, el objetivo y la pantalla de visualización. Experimentación y observación: se fomenta la experimentación con diferentes aberturas, distancias y condiciones de iluminación para observar cómo afectan a la formación de la imágenes.		calidad de la imagen proyectada. ➤ Reconocer el comportamiento corpuscular de la luz (propagación, reflexión y refracción). ➤ Aplicar conceptos matemáticos como la ecuación de la recta, así como la geometría de los rayos de luz en la formación de imágenes en una cámara oscura. ➤ Realizar deducciones e hipótesis del comportamiento de la luz al interactuar con la materia.
--	--	---

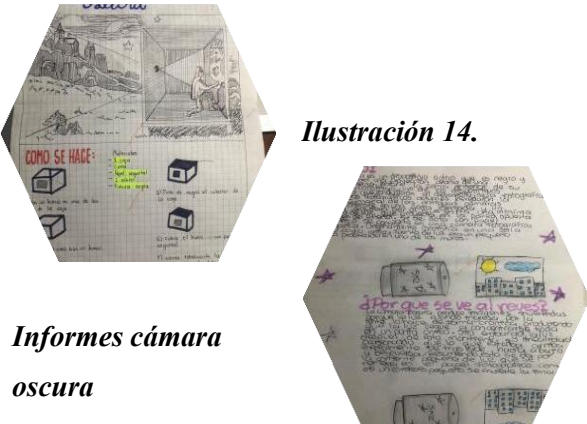
Desarrollo construcción de la cámara oscura

Para el desarrollo de esta secuencia de enseñanza se propone realizar un trabajo en equipo. Los estudiantes se organizan en grupos de 3 o 4 personas a las actividades

propuestas en el programa y el profesor les orienta y los guía a abordar los problemas utilizando aspectos básicos del método científico.

A continuación se hará una descripción de las actividades propuestas, donde se explicará la organización de la actividad, los objetivos de cada práctica, materiales y evidencias.

Sesión 1

Estación	Objetivos	Materiales	Evidencia
Construcción cámara oscura	Construir una cámara oscura y evidenciar el fenómeno visual	Cartón, cinta, lápiz, tijeras, cartulina, silicona y papel calcante.	 <i>Ilustración 13. Diseño y construcción cámara oscura con los estudiantes de grado noveno.</i> <i>Fotografías tomada por Jair Gonzalez</i>
Informe cámara oscura	Elaborar un documento tipo informe teniendo en cuenta las siguientes preguntas	Hojas tamaño carta, esferos, lápiz, colores.	 <i>Ilustración 14.</i> <i>Informes cámara oscura</i>

	orientadoras:		
	¿Qué es lo que veo?		
	¿Por qué lo veo así?		

Estas preguntas orientadoras tienen como intención recoger las ideas previas y concepciones que se generaron durante la elaboración de la cámara oscura.

Construcción de la caja fenomenotécnica

Se consideran dos aspectos cruciales para el diseño y la creación de la caja, por un lado se demanda la importancia de utilizar material de reutilizable que posibilite su construcción. Y por otro lado, que permita dar cuenta de la representación de fenómenos asociados a la luz, acompañado de las reflexiones pertinentes según corresponda.

Primero, para la estructura se utilizó poliétireno expandido (icopor), por ser un material accesible, porque es un plástico ligero y práctico para manipular además es un buen aislador térmico.

Segundo, se elabora una caja que en una primera instancia llame la atención e invite al observador a la inquietud, del mismo modo también, se muestre el ejercicio que se está realizando, y por supuesto, que se consiga la representación del fenómeno de luz en cuestión.



Ilustración 15. Imagen del diseño de la caja fenomenotécnica. Fotografía tomada por Jair Gonzalez

A continuación se muestra el siguiente diagrama de procesos que describe la caracterización de la actividad experimental “entre luces y sombras: un recorrido experimental sobre la naturaleza de la luz” en torno al ejercicio de sistematización de experiencias, los objetivos, las actividades propuestas, así como la intención con que fueron establecidas:

Diagrama de descripción Caracterización de la sistematización de experiencias Entre luces y sombras: un recorrido experimental sobre la naturaleza de la luz		
Objetivos	Descripción de las actividades	Ejercicios propuestos
Diseñar, crear y construir una caja fenomenotécnica para la experimentación con el fenómeno de la luz a partir de una representación sobre el concepto de luz. Desarrollar actividades experimentales que concedan la comparación de distinguir los fenómenos asociados a	El punto de partida para la construcción de la caja fenomenotécnica se llevó a cabo con la intención de que fuera toda una experiencia desde el comienzo al momento de observar el montaje experimental, con el objetivo, primero de invitar a los estudiantes a partir de la curiosidad a participar en las actividades experimentales, y segundo,	Para el desarrollo de la actividad experimental con la caja fenomenotécnica, se dispone el salón en mesa redonda, y se reparte la guía #1, la cual irán resolviendo durante la actividad experimental. De modo que, con el material y las herramientas con las que está dotada la caja fenomenotécnica, los estudiantes pueden explorar e indagar alrededor del

la luz, de manera que permita dar cuenta de las propiedades ondulatorias de la luz. Presentar un análisis que reconozca la necesidad de incentivar la producción y aplicación de la experimentación en la clase de ciencias y las ventajas de promover el trabajo en equipo, aprender técnicas y adquirir hábitos o modos de pensar y razonar, así como la importancia que conlleva realizar trabajos innovadores.	a fomentar un ambiente favorable para el desarrollo y desempeño de los estudiantes como seres integrales en nuestra cultura aportando al descubrimiento de los talentos y las capacidades que se puedan evidenciar durante el proceso.	comportamiento de la luz. Esta dinámica involucra a los estudiantes a desarrollar prácticas, aplicar principios y leyes que expliquen a nivel introductorio una serie de fenómenos en el campo de la física, así, como disponer de nuevas experiencias, aprender métodos, adquirir hábitos o modos de pensar y razonar, y conectar con la cualidad esencial de las personas, dicho de otra forma, lograr construir nuevas representaciones de la realidad.
--	---	--

El diseño de la ilustración 15, es el resultado de la idea inicial fundamental, la cual es, la construcción de una caja con forma de prisma rectangular, que permita la observación e invite a la curiosidad, que genere asombro y permita la simulación de fenómenos asociados a la luz, por lo cual, es indispensable que se pueda observar desde diferentes ángulos al interior de esta. La configuración de la caja da lugar a la distribución y disposición de las herramientas a utilizar para la representación de los fenómenos.

Sesion 2

Estación	Objetivos	Materiales	Evidencia
Entre luces y sombras: un recorrido experimental sobre la naturaleza de la luz	Profundizar en conceptos relacionados con los fenómenos asociados a la luz, por medio de las matemáticas, la física y la geometría a partir de la actividad experimental.	Caja fenomenotécnica	 <i>Ilustración 16. Ejecucion caja fenomenotécnica. Fotografía tomada por Jair Gonzalez</i>

Entre luces y sombras: un recorrido experimental sobre la naturaleza de la luz

A lo largo de la experiencia se hizo hincapié en los conceptos clave y en los autores relevantes, contextualizando su historia para comprender mejor el tema. Se busca que los estudiantes se sumerjan en el universo de la luz, comprendiendo su comportamiento y su importancia en diversos aspectos de nuestras vidas.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN CRÍTICA Y REFLEXIVA DE LA EXPERIENCIA

La planeación de actividades en la enseñanza de las ciencias requiere de una cuidadosa reflexión sobre diversos aspectos que garantizan su efectividad y pertinencia (conocimientos previos, contexto, recursos, entre otros). Por lo que, es fundamental tener en cuenta los objetivos de aprendizaje, asegurando que las actividades permitan a los estudiantes comprender conceptos clave y desarrollar habilidades científicas. La relación de los estudiantes y el contexto de los experimentos en situaciones reales contribuyen al interés y significado en el aprendizaje. De modo que, se pretende generar espacios donde la creatividad, la curiosidad, la innovación, el descubrimiento, la motivación, el trabajo en equipo y las prácticas experimentales aproxime a los estudiantes a reconstruir experiencias sensibles y desarrollar relaciones entre las teorías físicas y el mundo natural. También es importante planificar la evaluación, para valorar tanto el proceso como los resultados.

Garantizar el éxito de la práctica docente radica principalmente en la planificación de las actividades, ya que ésta constituye una herramienta fundamental que permite integrar aspectos pedagógicos, didácticos y prácticos de manera coherente y efectiva. La planificación no debe entenderse simplemente como una obligación o una documentación requerida por las instituciones educativas, sino que es un proceso estratégico que favorece al alcance de objetivos específicos y la comprensión más profunda de los fenómenos de estudio por parte de los estudiantes fomentando una actitud crítica y reflexiva.

De lo anterior, se evidencio un gran reto en lograr configurar una dinámica pedagógica interdisciplinar para llevar a cabo los procesos de enseñanza respetando los lineamientos del misterio de educación.

Es decir, se planteó relacionar la matemática, haciendo uso de la ecuación de la recta; la geometría con algunas herramientas de medición, para encontrar la forma más

óptima de construir la cámara oscura; y por supuesto, la física, como eje fundamental del ejercicio realizado.

Consideraciones importantes

En un primer momento, fue notorio evidenciar que la construcción de una cámara oscura fue un detonante para invitar a los estudiantes a querer hacer parte de la experiencia e inmiscuirse en el ejercicio con el fin de poder lograr el ensamble y así mismo dar cuenta del fenómeno en cuestión. Este ejercicio, puso de manifiesto el potencial que tiene la actividad experimental.

Mediante la experimentación, los estudiantes pueden explorar de manera interactiva el descubrimiento, ya que se les proporciona la vía para la manipulación, la implementación teórica, la observación de fenómenos en un entorno controlado y la investigación directa de componentes o resultados que respaldan o debilitan las hipótesis. Además, como los estudiantes desarrollan habilidades de análisis y juicio científico al reflexionar sobre los resultados obtenidos, aprenden a diseñar experimentos, este proceso activo desarrolla el pensamiento crítico, la curiosidad y las habilidades para la resolución de problemas.

La experimentación desempeña un papel central en este proceso, ya que permite explorar múltiples aspectos importantes del estudio, facilitando la interacción directa con el entorno y fomentando la indagación, el descubrimiento y la caracterización del fenómeno de la luz. Además, el diseño y la apariencia de la caja, en sí mismo, busca propiciar dinámicas de aula que no solo impulsen la adquisición de conocimientos, sino que también promuevan la construcción de explicaciones críticas, capaces de ser refutadas, modificadas o enriquecidas en función de los descubrimientos realizados durante el proceso. De esta manera, se favorece un enfoque pedagógico que permite a los estudiantes cuestionar sus ideas previas, explorar diferentes perspectivas y plantear nuevas hipótesis relacionadas con la fenomenología de la luz. En definitiva, la "caja de luz" pretende ser una herramienta didáctica que dinamice el aprendizaje activo, promoviendo una comprensión flexible, contextualizada y participativa del fenómeno de la luz a lo largo de todo el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Además, la propuesta busca fortalecer la relación entre el estudiante y la actividad experimental, promoviendo una actitud creativa que favorezca su interés por la ciencia y el método científico. Al involucrar a los alumnos en actividades prácticas y reflexivas, se pretende que desarrollen un entendimiento más significativo, que trascienda la simple memorización, permitiéndoles comprender cómo se construyen y cuestionan las ideas científicas a través de la experimentación y el análisis crítico. En definitiva, se trata de crear un entorno de aprendizaje en el que el estudiante se convierta en protagonista activo de su propio proceso de descubrimiento y aprendizaje sobre uno de los fenómenos más fascinantes de la naturaleza como es la luz.

Por último, uno de los mayores desafíos pedagógicos para la escuela es interpretar que deben saber hoy las nuevas generaciones para vincular relaciones sociales basadas en el respeto con el fin de vivir en una comunidad sana, atendiendo a las pretensiones y motivaciones de los estudiantes, con el fin de, fortalecer, o en su defecto, descubrir nuevas habilidades.

En conjunto, estas consideraciones permiten que las actividades experimentales sean una herramienta efectiva para promover el conocimiento activo y significativo en las ciencias, maximizar los resultados educativos y potenciar el desarrollo integral de los estudiantes.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha llevado a cabo un trabajo de investigación con el objetivo de analizar y comprender el comportamiento de la luz en el marco de las diversas concepciones que han contribuido a su caracterización a lo largo de la historia de las ciencias. En un primer momento, se aproxima de manera teórica al comportamiento de la luz, realizando una revisión cuidadosa de los principales hallazgos y teorías que han marcado su evolución. Este proceso permitió reconstruir y contextualizar los descubrimientos más relevantes en torno a la naturaleza y propiedades de la luz, desde las ideas iniciales hasta las teorías más modernas. La investigación no solo facilitó una comprensión profunda de los aspectos científicos relacionados con la luz, sino que también proporcionó una base para reflexionar sobre cómo estas concepciones han influido en la enseñanza y en la percepción que tenemos actualmente sobre este fenómeno.

Así pues, se resalta la importancia del experimento en los espacios académicos, entendiendo que su función trasciende para contrastar o reconstruir hipótesis planteadas a lo largo de la historia. En este sentido, el experimento se presenta como una actividad fundamental que contribuye activamente a la construcción de explicaciones científicas, ya que permite integrar la experiencia y el conocimiento previo de los estudiantes durante el proceso de las prácticas experimentales. La actividad experimental, por tanto, no debe considerarse únicamente como una herramienta para validar teorías, sino como un medio dinámico que favorece la comprensión profunda de fenómenos, fomentando la reflexión y el pensamiento crítico.

Especialmente en la enseñanza de las ciencias, el experimento se puede emplear para fortalecer diversos aspectos del aprendizaje, pero su principal valor radica en su capacidad para vincularse con la construcción del conocimiento. En particular, se destaca la importancia de la observación frente a situaciones problemáticas relacionadas con la fenomenología, el concepto de experimento y la experiencia sensible del individuo frente a lo que conoce. Esta experiencia sensorial y activa contribuye a que los estudiantes no solo comprendan los conceptos teóricos, sino que también desarrollen una relación más cercana

y significativa con los fenómenos naturales, potenciando así una comprensión del conocimiento científico.

Finalmente, la construcción de la caja fenomenotécnica tuvo como objetivo principal ofrecer una herramienta educativa eficaz para la reconstrucción y comprensión de las explicaciones relacionadas con los fenómenos asociados a la naturaleza de la luz. Esta iniciativa demandó la organización cuidadosa de espacios y contenidos diseñados para potenciar y enriquecer los procesos de enseñanza y aprendizaje, promoviendo una visión interdisciplinaria que integra conceptos de física, óptica, matemáticas y otras áreas afines. Además, se reconoció el papel esencial del docente como mediador en el proceso, así como la importancia de la actividad experimental como medio para fomentar el aprendizaje activo y significativo.

La caja no solo funciona como un recurso didáctico, sino que también invita a trabajar con situaciones, preguntas, prácticas y experiencias que facilitan la exploración y el descubrimiento. Estas actividades están diseñadas para seguir una ruta metodológica que guía a los estudiantes hacia una explicación coherente y fundamentada, logrando así una relación armónica entre la teoría y la práctica. En definitiva, la caja fenomenotécnica representa una estrategia innovadora y enriquecedora que apoya la adquisición de conocimientos sólidos y una comprensión profunda de los fenómenos de la luz, contribuyendo de manera significativa a la formación científica de los estudiantes y a la mejora de los procesos educativos en el campo de la física.

En definitiva, el estudio contribuye a enriquecer la comprensión pedagógica acerca de la enseñanza del comportamiento de la luz, resaltando la importancia de crear espacios transformadores que permitan contextualizar los conocimientos históricos y científicos para promover una educación más crítica y fundamentada en el conocimiento científico.

BIBLIOGRAFÍA

- Granés, J. (2001). *la gramática de una controversia científica: el debate alrededor de la teoría de Newton sobre los colores de la luz*
- Amaya, J. L. (2014). *Los fenómenos de la iluminación: una propuesta para la enseñanza de las ciencias*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/2092>.
- Serrano, AL (2013). *El comportamiento de la Luz: diseño y evaluación de una secuencia de enseñanza basada en el aprendizaje como investigación orientada*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.5h00.12209/2068>.
- Cabrera, J. (2018). Presentación: La creatividad y su revolución para la mejora educativa y la justicia social. *Revista Internacional de Educación para la Justicia Social (RIEJS)*.
- Casas-Rodríguez, Martha María. (2013). Lo intuitivo como aprendizaje para el desarrollo de la actividad creadora en los estudiantes. *Humanidades Médicas*, 13(1), 22-37. Recuperado en 02 de noviembre de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-81202013000100003&lng=es&tlng=es.
- Mach, E. (1886/1897). *Análisis de las sensaciones*. Williams, C. M. Chicago, Londres, The Open Court Publishing Company. <https://archive.org/details/contributionstoa00machrich/page/4/mode/2up>.
- Hodson, D. (1986). Replantando el rol y el estatus de la observación en la educación científica. *Journal of Curriculum Studies*, 18 (4), 381–386. Recuperado de: <https://doi.org/10.1080/0022027860180403>.
- Hacking, I. (1983). *Representar e Intervenir*. (Martínez, S, Trad.). Paidós. (*Representing and Intervening*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983). Recuperado de: <https://cursosupla.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/09/hacking-i-representar-e-intervenir-1983.pdf>.

- Salinas, J (2004). *El papel de la experimentación en la enseñanza de la física*; Graó; Alambique. *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 39, 31-39. Recuperado de: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/102504>.
- Guerrero, G. (2015). *Un esbozo del sistema epistemológico de Quine*, *Discusiones Filosóficas*, 12(19), 2011, pp. 155-180. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-53232015000100003.
- Sagástegui-Bazán, L. (2021). La metodología indagación y el aprendizaje de las Ciencias Naturales. *Polo del Conocimiento*, 6(12), 804-822. Obtenido de: <https://doi.org/10.23857/pc.v6i12.3406>.
- Andersson, B., y Bach, F. (2005). On designing and evaluating teaching sequences taking geometrical optics as an example. *Science Education*, 89(2), 196-218. <https://doi.org/10.1002/sce.20044>
- Klimenko, O. (2009). La creatividad como un desafío para la educación del siglo XXI. *Educación Y Educadores*, 11(2). Recuperado a partir de <https://educacionyeducadores.unisabana.edu.co/index.php/eye/article/view/740>.
- Qués, F., & Qués, H. (2015). Física por intuición. *Revista De Enseñanza De La Física*, 27(2), 505–509. Recuperado de: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/12696>.

ANEXOS

Entre luces y sombras: un recorrido experimental sobre la naturaleza de la luz.

 COLEGIO REAL DE COLOMBIA FORMAMOS SERES DINAMICOS PARA LA SOCIEDAD A PARTIR DE LA SOCIEDAD MULTILINGUAL	GUÍA # 1	 UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL <i>Educadora de educadores</i> UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL FACULTAD DE CIENCIA
Nombre:		Curso:
Nombre De la actividad	<i>“Entre luces y sombras: un recorrido experimental sobre la naturaleza de la luz”</i>	
OBJETIVOS		
Profundizar en conceptos relacionados con las matemáticas, la física y la geometría a partir de la actividad experimental.		
COMPETENCIAS		
- Comprende que el movimiento de un cuerpo, en un marco de referencia inercial dado, se puede describir con gráficos y predecir por medio de expresiones matemáticas. - Conjetura acerca de las regularidades de las formas bidimensionales y tridimensionales y realiza inferencias a partir de los criterios de semejanza, congruencia y teoremas básicos.		

Lectura #1

Cámara oscura

La cámara oscura es un instrumento óptico que puede "dibujar" con la luz sobre un papel, mostrando tanto los valores claros y oscuros como los matices de color de un objeto iluminado. Este fenómeno fue descrito por primera vez a finales del siglo X por el científico árabe Alhazen (965-1038), quien aplicó este principio para explicar la formación de la imagen visual en el ojo. Aunque hay referencias anteriores sobre la observación de los efectos de la luz en la cámara oscura, no fue hasta Alhazen que se relacionó con la formación de la imagen óptica.

Durante la Edad Media, Roger Bacon continuó los estudios de Alhazen sobre la reflexión y refracción de la luz. En el Renacimiento, Leonardo Da Vinci (1452-1519), impulsó el desarrollo de la cámara oscura, utilizándola para profundizar en el funcionamiento de la visión, el comportamiento de la luz y las leyes de la perspectiva geométrica relacionadas con la pintura. Leonardo fue el primero en añadir una lente al orificio por donde entra la luz en la cámara oscura, con el fin de obtener imágenes más nítidas. En el siglo XVII, Robert Hooke (1653-1703) experimentó con cámaras oscuras para intentar simular la forma curva de la retina utilizando pantallas cóncavas de proyección en el fondo de la cámara. Su objetivo era entender el mecanismo de la visión humana. Además, Hooke diseñó cámaras portátiles que se usaban para ilustrar guías de viaje y para llevar a cabo topografías. La cámara oscura fue una herramienta indispensable para importantes físicos que contribuyeron significativamente al avance de la ciencia. Entre ellos se destacan Johannes Kepler (1571-1630), astrónomo y matemático alemán, quien utilizó la cámara oscura para sus estudios sobre óptica, sentando las bases para la teoría moderna de la visión y la formación de imágenes. Pierre Gassendi (1592-1622), sacerdote católico y físico francés, también empleó la cámara oscura en sus investigaciones sobre la reflexión de la luz, además también se utilizaba para entretener a los nobles y satisfacer la curiosidad de la corte. Se aprovecharon al máximo las posibilidades divertidas de la cámara, con inventos ingeniosos como el de Pierre Herigone (1580-1643), que en 1642 creó una cámara oscura en una copa, la cual permitía ver su interior cuando estaba llena de vino blanco. contribuyendo al desarrollo de la teoría de la óptica geométrica. Isaac Newton (1642-1727), el renombrado físico inglés, realizó experimentos con prismas y la cámara oscura descubrió que la luz blanca está compuesta por una serie de colores que se pueden separar mediante un prisma para

investigar el espectro de la luz, siendo fundamentales para el desarrollo de la teoría de los colores y la óptica moderna. Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), por su parte, propuso la teoría de las ondas de luz, que explicaba fenómenos como la difracción y la interferencia. Estos y otros físicos destacados utilizaron la cámara oscura como una herramienta indispensable en sus investigaciones científicas.

Las expresiones artísticas de la época mantienen una relación entre el uso de la cámara oscura y el arte, especialmente la pintura holandesa debido a su realismo. En particular, se ha investigado cómo Vermeer utilizó la cámara oscura para lograr efectos visuales difíciles de captar con la visión normal. Aunque no hay pruebas definitivas de que los grandes artistas utilizaran la cámara oscura, su uso por viajeros y dibujantes está bien documentado hasta la llegada de la fotografía.

El género del paisaje fue importante en el siglo XIX y la cámara oscura se volvió fundamental en la enseñanza de Bellas Artes y en la ilustración de investigaciones científicas. En el siglo XVIII la cámara oscura tuvo su mayor relevancia antes de la invención de la fotografía, con la creación de nuevos modelos y su difusión a través de publicaciones.

En el siglo XIX, la construcción de cámaras oscuras fue fundamental para la invención de la fotografía. Nicéphore Niepce, inventor de la fotografía, adquirió una cámara oscura en 1826, lo que muestra la conexión entre ambas tecnologías. La asociación entre Niepce y Daguerre, inventor del daguerrotipo, también fue posible gracias a los ópticos Chevalier, quienes construían cámaras oscuras y pusieron en contacto a ambos inventores. Niepce logró fijar una imagen permanente en 1827 utilizando una plancha de peltre recubierta de betún de Judea. Exponía la plancha a la luz, volviendo las partes del barniz afectadas por la luz insolubles o solubles. Después de la exposición, la placa se bañaba en un disolvente de aceite esencial de lavanda y aceite de petróleo blanco, disgregando las partes de barniz no afectadas por la luz. Finalmente, se lavaba con agua para revelar la imagen compuesta por la capa de betún para los claros y las sombras por la superficie de la placa plateada.

Te has preguntado alguna vez, ¿cómo sería la vida sin la luz?; a partir de la construcción de la cámara oscura, la actividad experimental con la caja fenomenotécnica, la lectura anterior y tu relación con el entorno. Responde las siguientes preguntas:

1. ¿Qué es una cámara oscura y para qué sirve?

5. ¿En qué consiste el fenómeno de propagación y de interferencia de las ondas sonoras?

6. ¿Quién propuso la teoría de las ondas de luz y cuál es la principal diferencia con las ondas sonoras?
7. ¿Cómo se propagan las ondas sonoras con relación a las ondas de luz?
8. ¿Cómo interactúan las ondas sonoras y las ondas de luz con los objetos que se encuentran en su camino?
9. ¿Cómo se propaga la luz y de qué manera interactúa con la materia?

10. ¿Qué es la reflexión, refracción y difracción de la luz y como se producen estos fenómenos?

11. ¿Cómo pueden las partículas de luz comportarse como partículas y como onda?

12. De acuerdo con la siguiente gráfica, resuelva:

- Identifique las coordenadas de los puntos A, B, C y D.
- Encuentre las ecuaciones de la recta $\overrightarrow{AD}$ y la recta $\overrightarrow{BC}$.
- Realice el dibujo según corresponda.

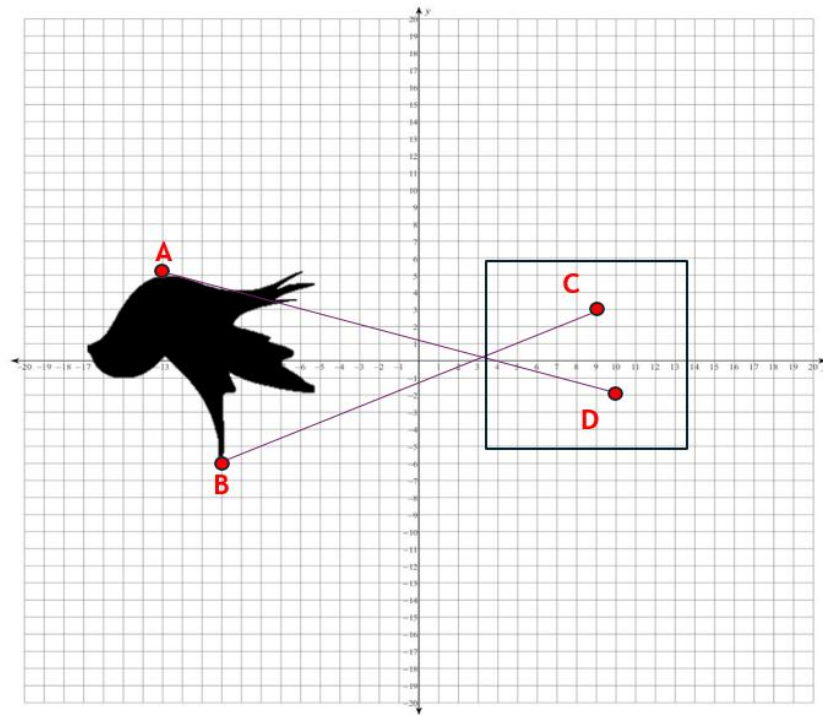
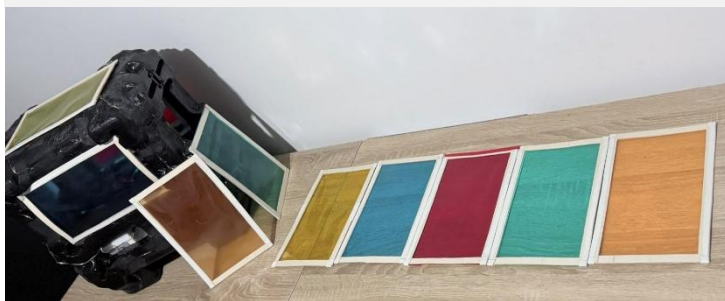
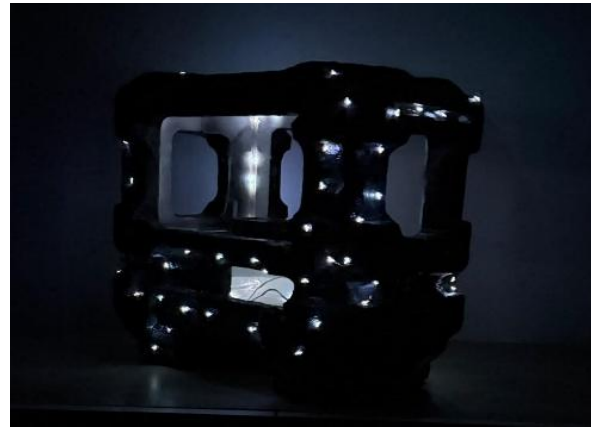


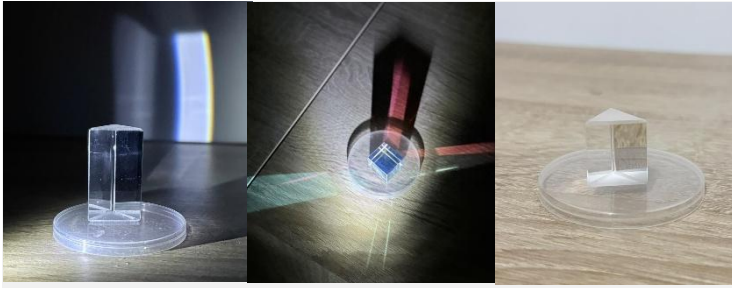
DIAGRAMA DE LA CAJA FENOMENOTÉCNICA Y SUS COMPONENTES



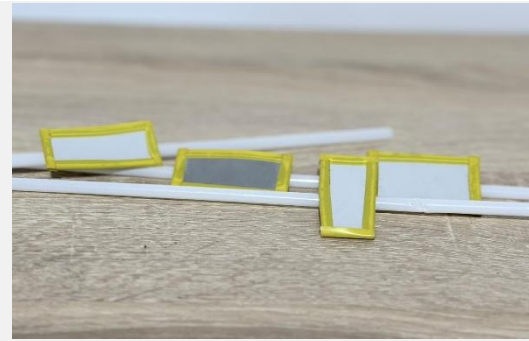
Láminas de colores



Laser



Prismas



Espejos