

UN ACERCAMIENTO AL FENÓMENO DE LA REFRACCIÓN DE LA LUZ DESDE
DE UNA PERSPECTIVA FENOMENOLÓGICA CON ESTUDIANTES DE GRADO

11

JAIME CAMILO CIFUENTES GOMEZ

DOCUMENTO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN FÍSICA

ASESOR

FRANCISCO JAVIER OROZCO GONZÁLEZ.

LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN

LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DESDE UNA PERSPECTIVA CULTURAL

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Bogotá D.C, Colombia 2024

Agradecimientos

Doy gracias a mis padres que gracias a sus consejos y su paciencia hacia conmigo me dieron la confianza, seguridad para tomar el camino de ser maestro.

A mis tíos y primos que siempre me apoyaron en lo que se necesitara

A mis maestros a cada uno de ellos, los cuales me acompañaron en mi formación desde mis primeros años de infancia hasta el día de hoy.

Gracias por enseñarme qué tipo de maestro quiero ser

"La educación es el faro que nos ilumina en medio de la oscuridad"

Horace Mann

Contenido

Índice de ilustraciones.....	4
Índice de tablas	4
Introducción	5
1. interés de la investigación	6
1.1 Justificación	6
1.2 Pregunta problema	8
1.3 Objetivo general.....	8
1.4 Objetivos específicos.....	8
1.5 Antecedentes	9
2. Contexto Histórico	11
2.1 Isaac Newton.....	13
2.2 Christiaan Huygens	18
2.2.1 Principio de Huygens.....	32
3 Metodología	38
3.1 Primer momento	43
3.2 Segundo momento.....	43
3.3 Tercer momento	43
3.4 Cuarto momentos	44
4. Diseño de implementación	44
4.1 Diseño de las actividades	45
5. Implementación de la propuesta experimental.....	50
5.1 Análisis de implementación	50
5.1.1 Lo que entendemos por la luz.....	51
5.1.2 La transparencia	54
5.1.3 Lo que la luz nos permite ver	57
5.1.4 El desplazamiento del lápiz	59
5.1.5 Un rayo de luz.....	62
5.2 Análisis y Reflexiones Históricas de las Guías Experimentales.....	68
5.2.1 Lo que entendemos por la luz.....	68
5.2.2 La transparencia	69
5.2.3 Lo que la luz nos permite ver	70
5.2.4 El desplazamiento del lápiz	71

5.2.5 Un rayo de luz.....	72
6. Conclusiones.....	74
Bibliografía	77
Anexos.....	79
Actividades Experimentales	79
Actividad # 1	79
Actividad # 2	80
Actividad # 3	82
Actividad # 4	84
Actividad # 5	86

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1 fenómeno de refracción - Extraída de https://slideplayer.es/slide.....</i>	7
<i>Ilustración 2 fenómeno de refracción de Euclides- Elaboración propia</i>	13
<i>Ilustración 3 representación de las formas oblongas vistas en el experimento - elaboración propia</i>	15
<i>Ilustración 4 ley de la refracción en un prisma (Granes , 1988)</i>	16
<i>Ilustración 5 Fotografía que muestra la doble refracción en un cristal de calcita (Echarri, 2019).....</i>	24
<i>Ilustración 6 esquema de Huygens (Blanco Laserna , 1991).....</i>	25
<i>Ilustración 7 visualización del experimento de Huygens elaboración propia</i>	25
<i>Ilustración 8 la luz se suma y no se anula de ahí que se entienda como corpúsculo (Elaboración propia)</i>	28
<i>Ilustración 9 cadena de choques (elaboración propia).....</i>	30
<i>Ilustración 10 diagrama de choques (elaboración propia)</i>	31
<i>Ilustración 11 El principio de Huygens, tal como se ilustra en el <i>Traité de la lumière</i> (Blanco Laserna , 1991)</i>	33
<i>Ilustración 12 interpretación de la luz viajando a través del éter (elaboración propia)</i>	35
<i>Ilustración 13 la luz cambiando de media (autoría propia).....</i>	37
<i>Ilustración 14 diagrama de la metodología (elaboración propia)</i>	42

Índice de tablas

<i>Tabla 1 descripción de los momentos de la propuesta experimental. (elaboración propia).....</i>	49
<i>Tabla 2 Análisis sobre las representaciones - como se entiende la luz (elaboración propia).....</i>	53
<i>Tabla 3 Análisis sobre las representaciones – la transparencia (elaboración propia)</i>	56
<i>Tabla 4 Análisis sobre las representaciones – Lo que la luz nos permite ver (elaboración propia).....</i>	58
<i>Tabla 5 Análisis sobre las representaciones – El desplazamiento del lápiz (elaboración propia)</i>	61
<i>Tabla 6 Análisis sobre las representaciones – Un rayo de luz (elaboración propia)</i>	66
<i>Tabla 7 Análisis histórico de Lo que entendemos por la luz (elaboración propia).....</i>	68
<i>Tabla 8 Análisis histórico la transparencia (elaboración propia).....</i>	69
<i>Tabla 9 Análisis histórico Lo que la luz nos permite ver (elaboración propia)</i>	70
<i>Tabla 10 Análisis histórico El desplazamiento del lápiz (elaboración propia)</i>	71
<i>Tabla 11 Análisis histórico un rayo de luz (elaboración propia).....</i>	73

Introducción

Este trabajo busca caracterizar la refracción de la luz desde una perspectiva fenomenológica, con estudiantes de grado once, donde podrán acercarse a la idea de refracción de la luz, desde diversos experimentos, para que así logren construir sus propias reflexiones al presenciar el fenómeno.

No se pretende que los estudiantes tengan una verdad absoluta, como expresa Kant “no todo lo que no pueda apoyarse en una experiencia posible debe ser considerado como “idea pura”, sin un uso “trascendente”, fuera del sujeto pensante” (Vicente-Burgoa, pág. 17) .cualquier teoría sería creíble siempre y cuando esta tenga un trabajo teórico robusto, pero aun así podría carecer de sentido, es donde es necesario realizar el uso de la experiencia con los sentidos, donde la idea sería más coherente y no dejaría de ser una idea pura: pues esta sería reforzada por la experiencia sensible.

En el primer capítulo se expondrá el interés de investigación y como este me lleva a indagar en la parte histórica, como es que se busca construir una manera de enseñar este fenómeno en el aula, en el segundo capítulo se planteará una contextualización histórica y un relato del trabajo de Isaac Newton acerca de la refracción. Luego, se abordará la perspectiva de la refracción de Cristian Huygens y el principio que lleva su nombre. En tercer capítulo se planteará una metodología, la cual estará dividida en 4 momentos, para así poder llevar a cabo una propuesta experimental. Con lo que se busca que los estudiantes tengan un acercamiento al fenómeno de la refracción de la luz desde una perspectiva fenomenológica, esta propuesta se llevara al aula de clases para poder verificar si la propuesta experimental es viable para que sea replicada por futuros maestros.

el quinto capítulo se mostrará como se realizó la implementación los resultados y análisis. en el sexto capítulo se dará a conocer las conclusiones a las que se llegaron a lo largo de la construcción de este trabajo de grado.

Este trabajo busca mostrar, cómo desde un acercamiento fenomenológico. puede enriquecer la comprensión de los estudiantes y como esto puede contribuir a la enseñanza del fenómeno, fortaleciendo la participación de los estudiantes en la construcción del conocimiento a través de la experiencia

1. interés de la investigación

1.1 Justificación

Este trabajo pretende estudiar el fenómeno de la refracción mediante una perspectiva fenomenológica que posibilite la caracterización de este, con estudiantes de grado once de una institución privada

Se considera importante abordar la refracción de la luz ya que de acuerdo con lo que se propone en los Derechos básicos de aprendizaje (MEN, 2016) relacionados con la óptica y las ondas para grado once se propone: *“Aplicar las leyes y principios del movimiento ondulatorio (ley de reflexión, de refracción y principio de Huygens) para predecir el comportamiento de una onda y los hace visibles en casos prácticos, al incluir cambio de medio de propagación”*. Atendiendo a estos lineamientos del MEN, se puede realizar una revisión de los libros de física para los grados once, esto para hacerse una idea del cómo se aborda la refracción; se observa que comúnmente se acude a unas abstracciones como la idea de rayo, que están fuera de la experiencia sensible, un ejemplo de ello se puede ver en los libros de texto Como el Física Universitaria (Young & freedman, 2005)

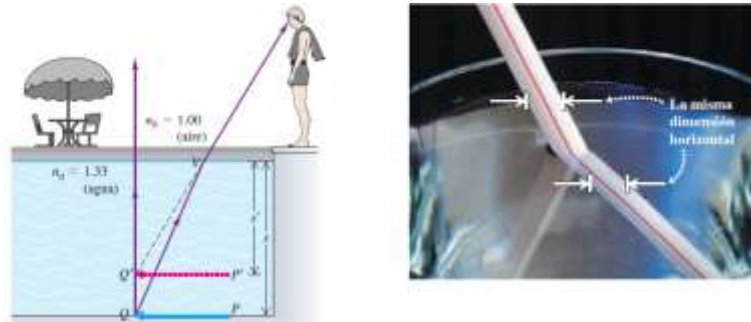


Ilustración 1 fenómeno de refracción - Extraída de <https://slideplayer.es/slide>

Lo que hace que se aborde el fenómeno desde una mirada netamente teórica, la cual no concuerda con las experiencias diarias de las personas. Es así como las explicaciones sobre el fenómeno como lo indican (Malagon, Ayala, & Sandoval) “no deben estar dadas en términos de las causas últimas del mismo”, lo cual se traduce en que no resulta significativo comenzar a hablar del fenómeno desde su concepción más abstracta o “estructurada”, sino que, por el contrario, se debe poder explicar desde su propia esencia que se origina con las experiencias de los sujetos (Aldana & Hernandez, 2021).

Cuando se abordan los fenómenos desde una abstracción se omite el hecho que el sujeto tiene una interacción con el mundo y por ende tiene unos conocimientos a través de sus experiencias. Por ende, se pretende abordar este trabajo desde una perspectiva de construcción de la fenomenología relacionada con la refracción de la luz, dando principal atención a la experiencia sensible y la relación con la caracterización del fenómeno.

Este trabajo busca aportar a la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural teniendo como eje fundamental reconocer que la ciencia no es un cumulo de saberes acabados, ni una colección de saberes con carácter de verdad absoluta, por el contrario, es una actividad realizada por un grupo humano que se ha venido diferenciando y conformando

históricamente como tal, mediante la construcción de formas especiales de ver, de argumentar, de dar validez a las afirmaciones sobre el mundo. (Ayala, Malagon, & Guerrero, 2006) de acuerdo con lo anterior mencionado, se construye la siguiente pregunta

1.2 Pregunta problema

¿Cómo abordar el fenómeno de la refracción de la luz con estudiantes de grado once de una institución privada desde una perspectiva fenomenológica?

1.3 Objetivo general

Construir una serie de experiencias desde una perspectiva fenomenológica, para facilitar la comprensión del fenómeno de la refracción. Que permita a los estudiantes de grado once de una institución privada con énfasis judío-cristiana acercarse a la comprensión del fenómeno de la refracción de la luz.

1.4 Objetivos específicos

- Realizar una revisión historiográfica de los trabajos de Newton y Huygens frente a la refracción de la luz, que posibilite reconocer la manera en que construyen el fenómeno.
- Diseñar una propuesta de aula que permita abordar algunas experiencias en torno a la refracción de la luz con los estudiantes de grado 11 desde una perspectiva fenomenológica.
- Implementar la propuesta de aula diseñada con los estudiantes de grado once de una institución privada
- Documentar la propuesta de aula, y si esta facilita que los estudiantes tengan una mejor comprensión del fenómeno de la refracción.

1.5 Antecedentes

Para enriquecer la investigación y dar orientación adecuada, se revisaron diferentes textos relevantes de varias bases de datos, los cuales fueron seleccionados para poder abordar la problemática y cumplir los objetivos planteados.

Entre los textos revisados, se identifica como un antecedente el trabajo titulado: Algunas explicaciones sobre la reflexión y refracción de la luz desde las experiencias de las estudiantes de grado undécimo (Aldana & Hernandez, 2020),_este trabajo extraído del repositorio de la universidad pedagógica nacional es relevante para la investigación, debido a que este abordada los problemas de la malla curricular en los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA) que es sugerido por el Ministerio De Educación Nacional (MEN) que aborde la temática de la óptica, Este trabajo da un punto de partida para la elaboración del proyecto, este menciona la problemática del MEN y los contenidos de los fenómenos ópticos.

Para el enfoque que se le quiso dar al trabajo de investigación se procedió a buscar antecedentes que abordaran la refracción desde una mirada histórica y fenomenológica, es así como se procede a seleccionar el trabajo de maestría titulado Explicaciones sobre el color, la luz y la oscuridad: propuesta de aula a partir de una perspectiva histórica y fenomenológica (Aldana & Hernandez, 2021). Este trabajo extraído del repositorio de la universidad pedagógica nacional es de mucha importancia y es significativo por su enfoque fenomenológico e histórico

Para la elaboración de la propuesta experimental se buscó varias ideas en diferentes propuestas en trabajos de grado y se tomó como antecedente el trabajo titulado: El Comportamiento De La Luz: Diseño Y Evaluación De Una Secuencia De Enseñanza Basada En El Aprendizaje Como Investigación Orientada. (Sanchez Serrano, 2013) este trabajo extraído del repositorio de la universidad pedagógica nacional es considerado por las propuestas de investigación en aula, también complementa con los estudios históricos de las dos miradas que se tenían de la luz.

Pensando en el énfasis que se le quería dar a la investigación al momento de realizar la propuesta experimental. Donde los estudiantes tendrían un acercamiento desde lo fenomenológico se tomó el artículo titulado: Refracción de la luz para alumnos de nivel secundario: Enseñando a partir de experimentos en el aula (Rosenfeld & Caviglia, 2018) investigación extraída del repositorio de la universidad nacional del rosario argentina, se consideró para este trabajo por su enfoque donde el estudiante estaría en el centro de la actividad.

Los anteriores trabajos realizados brindan un faro sobre la problemática en los textos académicos donde se trata el fenómeno, como un contenido sin sentido, donde este pueda aportar una visión histórica del desarrollo de la teoría y como su trabajo experimental llevó a los investigadores, en su momento, a embarcarse en discusión y construcción de conocimiento. Y como esta discusión llevó a plantear experimentos donde se pondría a prueba los sentidos, y es así como se toma estos aportes de la importancia de la historia y el experimento en el aula. Donde los sentidos podrán tener un acercamiento al fenómeno y poder así construir su propia verdad, donde podrán comparar sus hallazgos con los históricos y decidir si están de acuerdo o no.

2. Contexto Histórico

Uno de los temas que siempre atrajeron a pensadores fue la naturaleza de la luz y de dónde viene, a dónde va y cómo esta se podría explicar; uno de los fenómenos que ha intrigado a muchos científicos, entre los que se interesaron y que buscaron entender este fenómeno son Christiaan Huygens e Isaac Newton

Para entender el trabajo fenomenológico y la importancia que tuvo para Christiaan Huygens y para Isaac Newton el uso de lentes y prismas, con sus propias posturas sobre el fenómeno de la refracción es pertinente hacer un poco de memoria frente al uso de estos objetos y el estudio de la luz como se ilustrará a continuación.

La luz ha sido un fenómeno que ha llamado la atención por varios miles de años y se suele pensar que este interés surgió hace pocos años, se tienen registros arqueológicos donde se evidencia el manejo de la luz en el antiguo Egipto, en donde se crearon espejos metálicos de bronce o cobre (2900 a.C.) con fines estéticos, esto muestra un interés temprano, en el cómo se trata de entender la luz. La manipulación del vidrio, también en Egipto, es otra actividad relevante para considerar dentro de la evolución de las teorías de la luz y desarrollos en la óptica. (Padilla Sosa, 2017).

Una de las civilizaciones más importantes que hizo los primeros aportes sobre la naturaleza de la luz fueron los griegos. Si bien no comprendían muy bien la diferencia entre la naturaleza de la luz y el fenómeno de la observación, a lo largo del desarrollo de sus estudios aparecieron bastantes posturas y teorías, posteriormente estas se fueron resumiendo, acoplando, transformando, enriqueciendo y aportando a las cuatro posturas principales sobre la naturaleza de la luz en su momento las cuales son según (Rozo samer, 2018).

La teoría de la extramisión de la luz, propuesta por la escuela pitagórica, sugiere que los ojos contienen un fuego el cual no es posible percibir y que se desplaza hacia los objetos, permitiendo así poderlos verlos.

La teoría de la intromisión, planteada por los atomistas, sostiene que cada objeto genera una copia de sí mismo, llamada ilustracióno Eidolon. Estas imágenes consisten en átomos que hacen parte del objeto original que viajan en todas las direcciones hasta llegar a los ojos.

Aparecería una tercera teoría que reunía las dos anteriores la cual sugiere que la visión ocurriría cuando tres "fuegos" se encuentran. El primer "fuego" sería el llamado "fuego puro", que representa la esencia de la luz del sol. El segundo sería un "fuego interno", generado por los ojos. El tercer "fuego" sería emitido por los objetos que estamos observando. La idea era que estos tres "fuegos" se encontraban para permitirnos ver.

Luego, Euclides en su trabajo sobre la geometría de la luz publicado alrededor del año 300 a. C llamado *La Óptica de Euclides*, siendo uno de los primeros textos donde se trata de dar respuesta al fenómeno de la luz, usando la geometría busca dar una respuesta al comportamiento de la luz. Es gracias a este trabajo que se encuentra en la historia la primera referencia al fenómeno de la refracción en el que se recoge la experiencia de Euclides en su texto *Catóptrica* donde el menciona la siguiente prueba experimental.

Si se coloca algún objeto en el fondo de un recipiente y se aleja este último de la vista del observador a una distancia a la que el objeto no se vea, al llenar el recipiente de agua, a esa misma distancia comenzará a verse de nuevo dicho objeto (Padilla Sosa, 2017) como se muestra continuación la siguiente ilustración

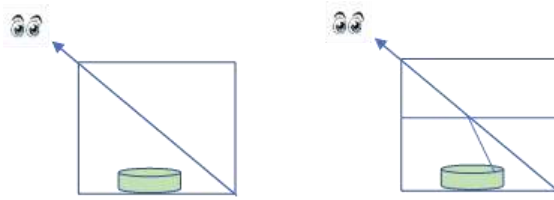


Ilustración 2 fenómeno de refracción de Euclides- Elaboración propia

Debido a los aportes de Euclides, otros pensadores estudiarían más adelante su trabajo y harían aportes tales como Heron de Alejandría (sostendría que la luz recorrería siempre el camino más corto), Tolomeo de Alejandría (mediría los ángulos de refracción para diferentes medios).

Pasarían bastantes años sin que se hicieran grandes aportes hasta finales del siglo X y principios del siglo XI, con el físico árabe Ibn al-Haytam quien dedujo la ley de la reflexión posteriormente en el siglo XVII el físico holandés Snell van Royen, desarrollaría empíricamente la ley de la refracción. Este estudio también llamaría la atención de grandes pensadores de la historia como lo sería Descartes, Hooke, Newton, Huygens entre otros. Pero sus principales referentes serían Newton y Huygens

2.1 Isaac Newton

Para los tiempos donde Newton se encontraba interesado por el fenómeno de la luz, la teoría que tenía más relevancia era que la luz eran partículas y que estas viajaban en línea recta, esta afirmación convencería a Isaac Newton para posteriormente publicar en su obra más importante *Opticks*, para llegar a poder construir este documento debió enfrentarse a posturas que sugerían un comportamiento distinto.

Una de las posturas más predominantes en este momento, era el trabajo de Descartes, que sugería que la luz se movía de forma circular y que provenía de los cuerpos luminosos lo cual

lo explica es su obra titulada *Dióptrica*, este desacuerdo con Descartes impulsaría a Newton al publicar su primer artículo sobre la luz, en el cual daría una descripción más detallada sobre el color, después de que este se embarcará en el uso del prisma para replicar el experimento del cual había escuchado, “adquirí un prisma de vidrio triangular para probar con él los celebrados fenómenos de los colores.” (Newton, 1672). En este momento de la historia existían otras publicaciones acerca del comportamiento de la luz; como lo sería el libro de Robert Boyle publicado en 1664 *Experiments and considerations touching colours* en 1665 se publicó *Micrographia* de Robert Hooke, Isaac Newton que habría despertado un fuerte interés hacia la luz, realizaría en 1666 la replicación del experimento con el cual se estudiaba el color y el fenómeno de la dispersión de la luz blanca (llámese la luz del sol), El experimento que llevo a cabo tendría una diferencia significativa en comparación con aquellos que se realizaron con anterioridad, como los casos de al menos cuatro filósofos naturales los cuales son: Descartes, Marcus Marci, Boyle y Grimaldi.

Ellos habían discutido en sus tratados de óptica cómo la luz blanca se descompone en sus diferentes espectros. Hooke había basado gran parte de su teoría de la luz en los colores generados por una sola refracción de luz solar en una interfaz aire-agua. La versión de Newton del experimento difería en un punto esencial respecto al empleado por la mayoría de sus predecesores. Esta sería una distancia de separación entre el prisma y la pantalla donde la luz que saldría del prisma se reflejaría, lo que provocara que Newton pudiese ver más colores.

según los autores Jerry Stannard, I. Bernard Cohen en su obra *Isaac Newton's papers & letters on natural philosophy and related documents*. Hacen una descripción sobre lo percibido por Isaac Newton en su experimento con el prisma.

Previamente, cuando la luz blanca había pasado a través un prisma, la ilustración del haz refractado normalmente había sido observada, servido en una pantalla colocada cerca del prisma. Con tal disposición del aparato, los rayos divergentes de colores "puros" tuvo poca oportunidad de separarse antes de golpear la pantalla, por lo tanto, la forma de la ilustración proyectada en la pantalla era idéntica con la producida por el haz no refractado. pero de paso a través del prisma, el haz había adquirido una franja rojo-naranja a lo largo de un borde y una franja azul-violeta a lo largo del otro. (Stannard & Cohen , 1958)

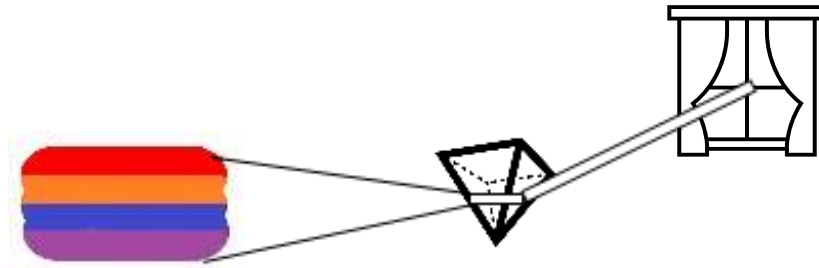


Ilustración 3 representación de las formas oblongas vistas en el experimento - elaboración propia

En la ilustración 3 se puede notar que el prisma se encuentra invertido. Esto se debe, en primer lugar, a que es la representación del experimento crucial que se encuentra en el manuscrito de Newton titulado Opticks; en segundo lugar, se debe a que de esta forma se puede incidir en el ángulo con el que saldrá el haz de luz, de tal manera que este se vea en la parte superior y no en la inferior.

Newton ver estas formas oblongas suponían un hallazgo que se alejaba de lo que el suponía, si bien al principio le pareció divertido el recrear el experimento que otros grandes filósofos plantearon, donde su postura estaba ya se encontraba clara con la refracción donde estaba haciendo un acercamiento real al fenómeno y no tan solo revisaba los textos, la matemática donde el sentido común lo hacía tomar una postura, el redacta una carta a la Royal Society.

Al principio fue divertido y muy placentero, para ver los colores vivos e intensos producidos de ese modo, pero después de un tiempo aplicando mi propia cabeza para considerarlos más circunspectamente, me sentí furioso al verlos en una forma oblonga que, según las leyes recibidas de la refracción, esperaba que hubiera sido circular (Stannard & Cohen , 1958)

Debido a esto Newton al ver que según la ley de la refracción el rayo de luz que dejó pasar por un orificio de forma circular debía mostrar ese mismo patrón al momento de salir, por lo que inicio una indagación y tomaba trabajos información de otros grandes pensadores para encontrar la respuesta, debido a que su postura era que la luz debía refractar en el prisma y este debía respetar la geometría pues para Newton la luz eran rayos que viajaban esto antes de hablar de corpúsculos es así como su investigación toma como referencia trabajos como el de Descartes con su ley de la refracción.

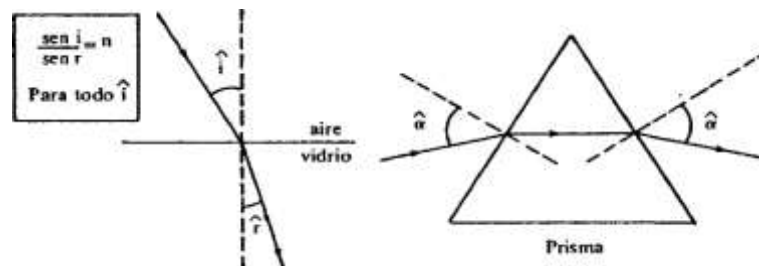


Ilustración 4 ley de la refracción en un prisma¹ (Granés , 1988)

En su obra titulada “Dioptrique” en el que Descartes afirma al pasar un rayo de luz de un medio a otro (del aire al vidrio, por ejemplo) el rayo refractado permanece en el plano de

¹NOTA: El ángulo de incidencia del rayo sobre el prisma es igual al ángulo de salida, como se muestra en la figura. Para esta configuración hay una completa simetría entre las condiciones de los rayos en la "entrada" y en la "salida" del prisma. Por eso afirma Newton que, según la ley de la refracción, al incidir sobre el prisma un rayo de sección circular, éste debería salir del prisma con una sección también circular

incidencia y la relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es una constante que depende de la naturaleza de los dos medios. (Granes , 1988)

Para Newton la geometría le daba los resultados esperados y en algunos de sus montajes sucedía lo mismo, pero en el caso del prisma sus resultados contradecían sus cálculos, para Newton el rayo de luz entraría y al atravesar el prisma, este cambiaría su dirección; pero debía salir un rayo, el problema era que la luz entraba en forma circular y salía una forma oblonga esto en su experimento trajo problemas para él, Newton se esforzaría para poder explicar la difracción de la luz buscando darle explicación mediante la refracción, buscando que la ley de la refracción se ajuste al fenómeno de la difracción, busca que la geometría se ajuste a este fenómeno, Newton había pasado bastante tiempo estudiando y trabajando con la ley de Snell (ley de refracción) que había sido publicado en el libro de Descartes “Dioptrique” el cual Newton había estudiado minuciosamente y trabajado con bastantes problemas matemáticos y físicos en su época de estudiante; “Newton tiene el profundo convencimiento de que el comportamiento de la luz expresado por esa ley no puede tener excepciones Por esta razón su esfuerzo se dirige a establecer una teoría de los colores compatible con la ley”. (Granes , 1988)

Newton buscaría darle respuesta a esta figura oblonga “véase la ilustración 3”, en su esfuerzo por hacer compatible la ley de refracción y el fenómeno; proponiendo experimentos y formulando diferentes hipótesis para poder dar una explicación a lo que observaba. Quizás pensó en que era probable que paso una rafa de viento o vapor obligaría a la luz refractarse antes de pasar por el prisma, al buscar controlar el medio llegaba al mismo resultado de la figura oblongas vistas con anterioridad, esto por dar un ejemplo, debido que pudo usar muchos ejercicios para dar respuesta buscando una forma de relacionar la ley de refracción

con el fenómeno, después de muchos intentos que ninguno de los factores propuestos puede dar explicación al alargamiento del espectro. De acuerdo con ello “La conclusión que se impone es que el alargamiento del espectro es inherente a la esencia misma del fenómeno” (Granes , 1988).

Esta conclusión obligaría a Newton a reconsiderar el rayo de luz blanca, la producción de colores, como este fenómeno muestra una forma oblonga y como esta no se ajusta con la ley de refracción.

Newton consideraba que el fenómeno que presenciaba era sin lugar a duda una forma de refracción y no era la difracción de Grimaldi de la que había leído, él lo visualizaba como un nuevo tipo de refracción, expresando que esa franja de colores era debido a los niveles de energía de la descomposición de la luz, por lo que decidió no profundizar en el fenómeno de la refracción y continuo con su trabajo de la difracción.

2.2 Christiaan Huygens

Christiaan Huygens que había sido atraído por la geometría óptica se encontraría estudiando la dióptrica y en este encontraría un contraejemplo que rebatía la tesis de Descartes y así fue como le escribió a su mentor, Frans van Schooten como lo propone (Blanco Laserna , 2015) que cita a (Huygens, 1888, p. 215): “La dióptrica me absorbe por completo”. Descubrió que Descartes había propuesto un tipo de lente sin aberración esférica el cual se podía reducir a un círculo, esto llevaría a reflexionar a Huygens para poder plantear alguna idea, para el posterior diseño y construcción de lentes esféricos, estos diseños no tendrían ninguna utilidad al no poseer una utilidad práctica; con esto tomaría un nuevo camino el cual Descartes no vio o el que quizás no quiso seguir.

Huygens continuaría su estudio a profundidad y se toparía con dioptrique el cual fue realizado por Descartes; en el cual analizaría y daría una reflexión sobre lo encontrado. “las lentes hiperbólicas y elípticas son preferibles a cuantas otras puedan imaginarse, e incluso las hiperbólicas resultan preferibles casi en todo a las elípticas” traducción de (Blanco Laserna , 2015) que cita a (Descartes, 1824, p. 119).

Descartes propondría la construcción y diseños de máquinas que fueran capaces de pulir los lentes, para así poder demostrar experimentalmente su hipótesis. por otra parte, Huygens preferiría mantenerse con los pies en la tierra y trabajar con los lentes esféricos, los cuales podrían ser entregados por los artesanos los cuales eran de una buena calidad. estos lentes eran lo más cercano a los trabajos que Kepler; A pesar de sus esfuerzos, no lograría poder deducir con exactitud la ley de la refracción, esto lo llevaría a que no pudiera desarrollar su teoría sobre las imágenes.

Descartes por otro lado pudo llegar a deducir la ley, pero descarto los lentes esféricos. Esto sería un poco problemático para Huygens, esto lo tomaría de buena manera, donde vería un nuevo camino de trabajo, y así fue como Huygens iniciaría a pulir lentes para sus telescopios y linternas mágicas. tanto sería su disciplina y compromiso que, junto a su hermano, llegaron a practicar este arte con un alto grado de profesionalismo.

El enfoque que guiaría a Huygens para pulir esta técnica sería su proyecto de construcción de telescopios. Buscaba darle una base matemática a las observaciones que realizaría, además él quería eliminar cualquier impureza sobre los lentes, fue así como diseñaría diferentes máquinas y métodos para que su trabajo fuera más impoluto.

En 1653 Huygens empezó *Tractatus de refractione et telescopiis*. En este documento por primera vez utilizaría la ley de Snell para determinar distancias focales de las lentes esféricas, algo que Descartes solo analizó cualitativamente. El objetivo de Huygens era poder solucionar el problema de las lentes cóncavas y convexas.

Huygens pretendía encontrar una manera donde los defectos de los lentes esféricos que al momento de ajustarse o encontrar la combinación adecuada sus defectos ópticos, estos ya no presentaran una aberración. De modo que si lo pudiera lograr podría dar las indicaciones para que otros que estaban interesados en los telescopios pudieran construir un telescopio perfecto en términos de la geometría óptica, de lograr esto el tratado lo titularía "*De Aberratione radiorum a foco*".

En abril de 1668 le escribiría a su hermano pidiéndole ayuda con algunos diseños los cuales eran muy detallados y minuciosos que tendrían una serie de medidas muy exactas. recibiría sus lentes dos meses después, realizaría un experimento el cual sería de bastante importancia para él. Al dirigir el telescopio a su objetivo encontraría que la ilustración de este sería enturbiada por la aparición de colores, Huygens se lo atribuyó a los perfiles de los lentes, debido a que los lentes que le envió su hermano no tendrían las medidas que él le había solicitado debido a esto debió enviarle nuevamente cartas reclamándole por los desperfectos y solicitándole nuevamente los lentes con las medidas que ya le había solicitado con anterioridad, es así como su hermano nuevamente le envía un juego de lentes pero esta vez más acorde con lo que Huygens le solicitó por primera vez.

Esta prueba no pudo ser realizada debido a que Huygens realizaría un nuevo descubrimiento que alteró sus planes, fue el planteamiento de un telescopio kepleriano, el cual se comportaba como un sistema aplanático (el cual no presenta aberración esférica).

Huygens desarrollaría una teoría sobre las imágenes y la aberración, pero su rigurosidad y disciplina quería que esta teoría formara parte de su *Tractatus* el cual iría acumulando polvo debido a que quería que esta obra estuviera completa, por esta razón se le habría adelantado en publicar Isaac Barrow quien publicaría su teoría en su libro *Lectiones Opticae et Geometricae*. No le daría mucha importancia a esta publicación, en una de sus cartas enviada a Oldenburg.

Hace algún tiempo recibí por medio del señor Justel el tratado de dióptrica del señor Barrow, que da muestras por igual del conocimiento y del ingenio de su autor, pero, aunque produzca la impresión de que ha expuesto por completo la materia, algún día comprobará que lo que yo he escrito es muy diferente. Traducción (Blanco Laserna, 2015) citando (Huygens, 1897, pp. 2-3)

A pesar de que ambas teorías eran similares estas se diferenciaban Huygens acepto esta publicación de forma diplomática, por cosas de la vida esto nunca sucedería, el sucesor de Isaac Barrow, Isaac Newton llegaría con su *Philosophical Transactions* “Una nueva teoría sobre la luz y los colores”. En ella establecía que la luz “es una mezcla heterogénea de rayos con distinta refrangibilidad” Newton no conocería el trabajo de Huygens que estaba dedicado en cuerpo y alma a desarrollar su telescopio sin aberración alguna, su telescopio perfecto pero las palabras de Newton sobre el color harían eco en Huygens como si de una advertencia se tratara.

De manera que un cristal que se conciba con absoluta precisión para que reúna en un punto una clase cualquiera de rayos, no podrá reunir en el mismo punto aquellos que, incidiendo del mismo modo sobre el mismo medio, hayan de sufrir una refracción diferente. (Blanco Laserna, 2015)

Los colores que fueron apareciendo fueron desbaratando los diseños de Huygens pues estos no aparecían por el diseño de los lentes, estos aparecen por la propia naturaleza de la luz que se refractaba en ángulos distintos. Newton pondría severos límites para el perfeccionamiento del telescopio refractor. Que sería en el que Huygens paso tanto tiempo tratando de construir y por el cual dejó su obra a un lado acumulando polvo.

El objetivo de cualquier telescopio no puede recoger todos los rayos que provienen de un punto de un objeto de manera que converjan en su enfoque en un espacio menor que en un espacio circular cuyo diámetro es la quincuagésima parte del diámetro de su apertura. (Newton I. , 2005, pág. 72)

Huygens reflexionaría mucho y examinó con atención los pros y los contras sobre las palabras de Newton, pensó al principio que quizás lo que de Newton buscaba era patrocinar su propio diseño de refracción y después de un intercambio de cartas y de reconsiderar el fenómeno de la descomposición de la luz, reconoció como este impactaba los principios del Aberratione. En sus notas Huygens tacharía en sus notas los bocetos de telescopio que, durante mucho tiempo trabajó, con el cual buscaba que estuviera libre de aberración esférica.

Mariotte llevó a cabo experimentos que corroboraron los resultados de Newton. Por lo tanto, me parece probable que Huygens tomara la drástica decisión de desechar su proyecto el 25 de octubre de 1672, en lugar de 1673 como lo indican los editores de las Oeuvres Complètes. (Dijksterhuis, 1999, pág. 96)

A pesar de que su proyecto se había derrumbado y que gran parte de su manuscrito se había visto comprometido con las palabras de Newton y ya no eran pertinentes algunas de sus reflexiones, Huygens decidiría empezar un nuevo proyecto buscando nuevas opciones para

la construcción de su telescopio, tomando los datos que todavía podrían servir pues durante dos décadas había recopilado bastante información, así fue como a este proyecto le dio un nombre provisional *Projet du Contenu de la Dioptrique*. Para Huygens este proyecto se podría desarrollar con más facilidad y prontitud debido a todo lo que él ya había recopilado lo cual fue todo lo contrario debido a que se perdería nuevamente en su disciplina y en su forma estricta de realizar las cosas.

Realizaría 8 capítulos muy detallados y en uno de estos hacer un repaso histórico, retomaría muchos de lo que ya había trabajado con anterioridad esto le serviría para situar sus descubrimientos, buscaba justificar la relación de Snell, que intervenía en la demostración de gran parte de los teoremas. para el esto solo era cumplir con una formalidad debido que en esos tiempo cualquier libro sobre óptica debía tener como requisito o costumbre incluir estudios sobre la naturaleza de la luz, es por esto que el optaría por tomar los estudio de otros investigadores como sería el estudio de Ignace-Gaston Pardies , con el cual estaría de acuerdo pero con ciertos matices, no haría mención sus propias reflexiones acerca de la naturaleza de la luz Huygens no hace referencia a ningún pasaje de *Tractatus de refractione et telescopiis* ni del *Aberratione*.

En 1668 por azar del destino el gobernante de Dinamarca pediría que se realizara una expedición, con el propósito de recoger diferentes muestras de calcita que mostraba un comportamiento inusual, en 1669 el médico y científico danés Erasmus Bertholinus realizaría una investigación sobre lo observado

Bertholinus observó que las imágenes vistas a través del feldespato islandés (calcita) se duplicaban y que, cuando se giraba el cristal, una ilustración permanecía

estacionaria mientras que la otra giraba con el cristal (Campohermoso Rodríguez, 2023).

Al percibir que la luz que pasa a través de la calcita se dividió en dos rayos, llamó a la ilustración estacionaria el “rayo ordinario” y a la ilustración en movimiento el “rayo extraordinario”. Aunque el propio Bartholin fue incapaz de explicar la doble refracción, se reconoció como una seria contradicción con las teorías ópticas de Isaac Newton, buscaría construir una nueva teoría de la refracción, pero con resultados parciales.

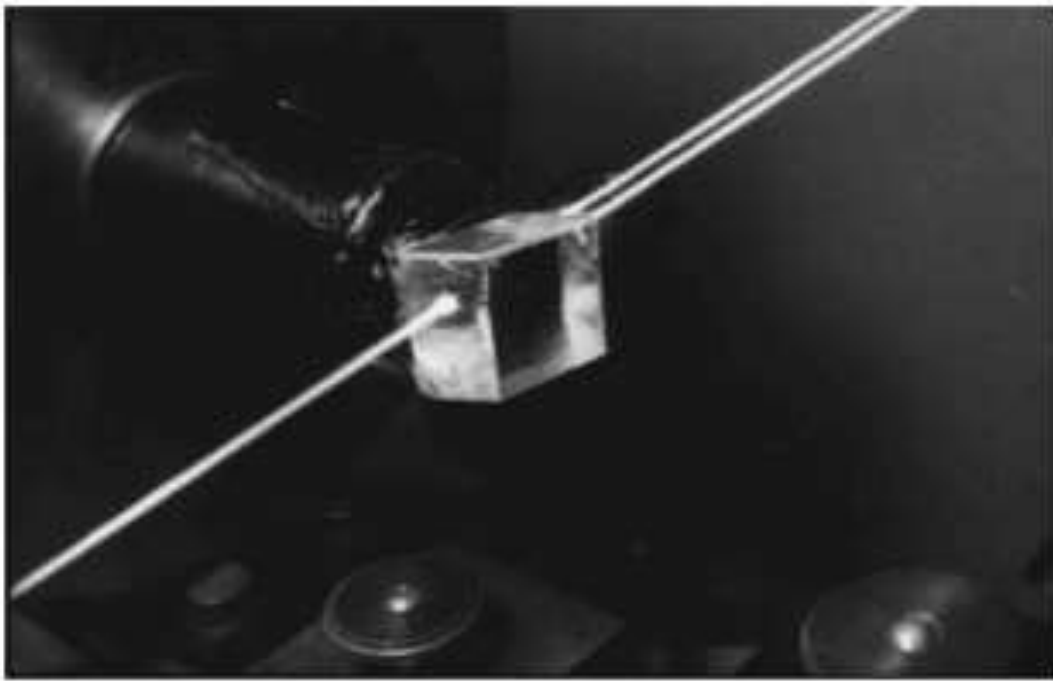


Ilustración 5 Fotografía que muestra la doble refracción en un cristal de calcita (Echarri, 2019)

Este material llegaría a manos de Huygens gracias al astrónomo Jean Picard el cual haría algunas observaciones astronómicas, en su viaje visitaría a Bartholinus y llevaría consigo varias muestras de calcita, el cual cuando visito a Huygens le entrego un par de muestras; Huygens a diferencia de Bartholinus sometería la calcita a varios experimentos y rayos de

luz. A continuación, se presentará, el esquema de Huygens del experimento con dos cristales de Islandia.

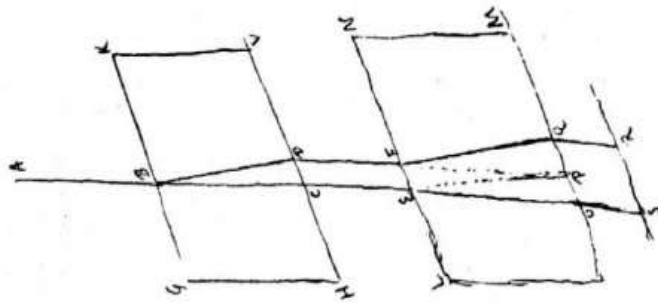


Ilustración 6 esquema de Huygens (Blanco Laserna , 2015)

Un experimento que realizaría es que dejar golpear un haz de luz uno de los costados de la calcita este se dividiría en dos partes y en cada uno de estos rayos que salían de la calcita colocaba nuevamente un trozo de calcita como se muestra en la *ilustración 7*

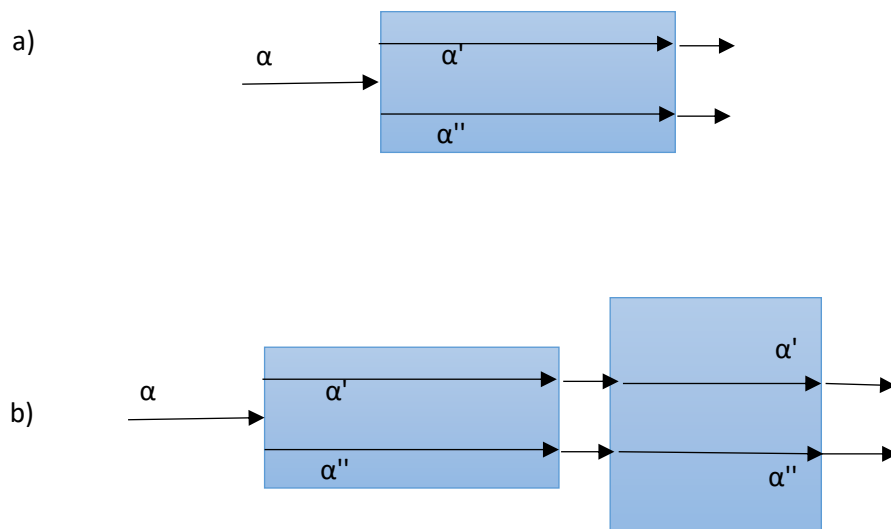


Ilustración 7 visualización del experimento de Huygens elaboración propia

Para este experimento Huygens deja salir un haz de luz que entra en contacto con uno de los costados de la calcita

a) el rayo de luz entra en la calcita y se divide en α' y α''

b) el rayo de luz entra a la calcita se divide α' y α'' estos dos entran en trozos de calcita y no se dividen nuevamente

Este fenómeno deslumbraría tanto a Huygens que uno de sus capítulos llevaría por nombre “Cristal de Islandia”. Él cual llamaría muchísimo la atención.

Después de realizar este experimento Huygens quería mantenerse en la teoría ondulatoria, pero al intentar en usar frentes esféricos se encontró que contradecía la teoría de Pardies. Nuevamente Huygens se encontró un problema enorme para su manuscrito, podría optar por hacer a un lado este hallazgo y continuar con su trabajo acerca del telescopio, total este hallazgo podía hacerlo a un lado sin lastimar demasiado su manuscrito o por el contrario asumiría el riesgo y nuevamente perderse en sus pensamientos para poder llegar a una explicación de lo que descubrió.

Huygens abandonaría la primera categoría de autores de su manuscrito, que buscaban explicar a partir de los experimentos, en este momento Huygens ingresaría al conjunto de investigadores de mente más inquisitiva, a raíz de este nuevo trabajo nuevas preguntas le surgieron, que, si bien las habría escuchado o intentado responder, estas no habrían tenido relevancia.

¿Qué es realmente un rayo luminoso? ¿Se compone de partes o se muestra indivisible? ¿Cómo funciona el mecanismo de su propagación?, ¿A qué se debe la ley de refracción? (Blanco Laserna , 2015).

Estas preguntas tendrían mucha importancia para Huygens, su manuscrito tendría un capítulo donde trataría de explicar la naturaleza de la luz y la historia del telescopio. Pero sin darse cuenta al indagar sobre aquellas preguntas que perturbaban su mente su trabajo sobre el telescopio fue tomando poca relevancia y dando paso a un nuevo tratado geométrico de la óptica, esto como producto de su alto trabajo al buscar responder el fenómeno de la doble refracción.

La doble refracción presentaba un problema enorme para Huygens, hasta el momento de estudiarlo siempre realizaba experimentos con sus lentes, los cual podrían arrojar un resultado observando el cómo se desarrollaba su experimento, estos resulta eran más palpables, Huygens se mantuvo mucho en su aria de confort debido a que era un gran experimentador, pero fue así como este fenómeno de la doble refracción lo saco de su área de confort, el cual sus resultados ya no sería tan fácil de observar, fue así como buscaría una solución a nivel microscópico, Huygens podría dar una descripción de lo que observaba pero la geometría ya no tenía forma de ser aplicada y por tanto no podía dar resultados certeros, debía dejar de pensar en la geometría para buscar soluciones y esto solo lo lograba buscando entender el fenómeno de donde provenía aquella doble refracción y a que causas se debían.

Huygens paso su vida teniendo una visión geométrica, pero en esta oportunidad debió detenerse a buscar las causas del fenómeno de la refracción; en lugar de buscar una descripción matemática y geométrica, cambiar su forma de pensar represento en su momento un esfuerzo enorme, Huygens exploro en el mundo de las preguntas y pensamientos , donde ya estos no podían verse intuitivamente, sino al contrario, debía exigirse más para formar

imagines dentro de su cabeza para dar respuestas a sus preguntas, donde tendría que confrontar sus predicciones observables como sería el comportamiento de la luz en la calcita.

Huygens y Newton compartían una misma visión sobre la naturaleza de la luz, para Newton y Huygens la luz es corpuscular y es fruto de la interacción de corpúsculos, la diferencia entre ambos sería el cómo cada uno concibe esta interacción.

La luz lo denotare como un algo, la cual según la difracción de Newton la luz se puede separar en distintos colores, debido a la refracción, también se puede llegar al color blanco sumando los colores que se producen al difractar la luz; si la luz fuera una interacción esta podría ser anulada, lo cual no es posible, si se coloca dos emisores frente a frente y se deja salir un haz de luz, un haz de luz en dirección al otro como se indica en la *ilustración 8*.

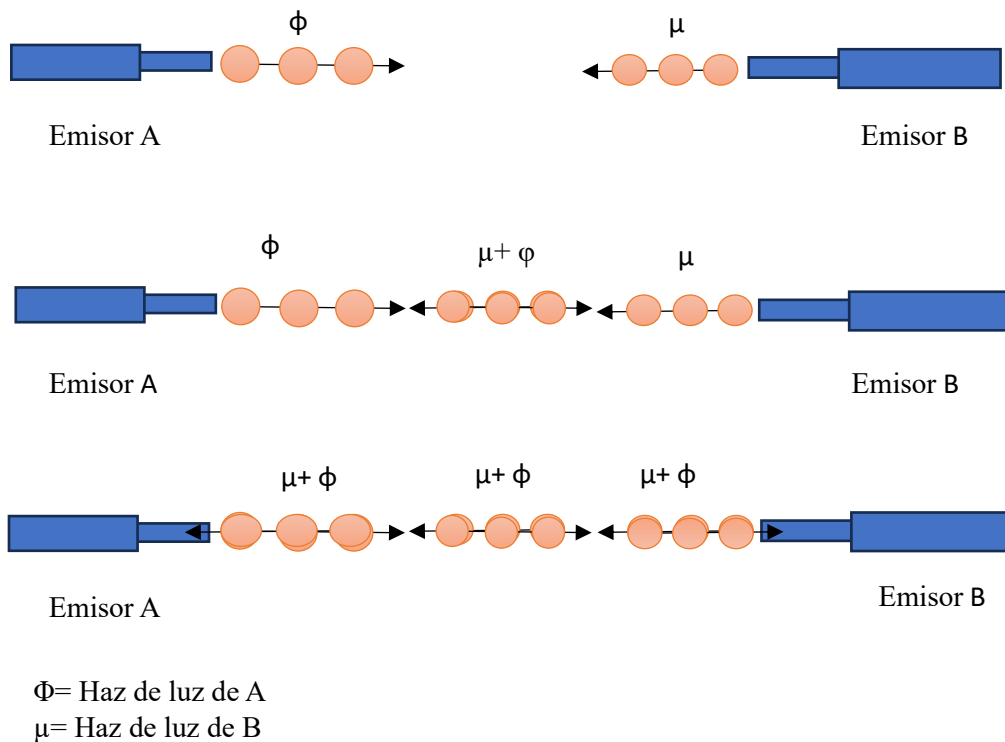


Ilustración 8 la luz se suma y no se anula de ahí que se entienda como corpúsculo (Elaboración propia)

Estos haz de luz no se anulan ni se destruyen, al contrario, el haz de luz seguirá su camino.

Esto podría ser extraño, pero se debe recordar que se entiende como objetos y no como masas o como se encontrará en algunos libros (corpúsculos).

Tiempo después de bastantes cálculos y bocetos lograría por fin darle una respuesta a este fenómeno y con esto su manuscrito estaría casi por estar completo; tiempo después a mediados de 1679 realizaría una presentación de su teoría a la real academia de ciencias con el cual el *Traité de la lumière* vería la luz.

Huygens en su primer capítulo le dedicaría una sección a la naturaleza de la luz y el cómo concibe un haz de luz como un corpúsculo de acuerdo con la traducción.

la luz consiste en un movimiento de la materia entre nosotros y el cuerpo luminoso. Si además tenemos en cuenta y consideramos la extraordinaria velocidad con que la luz se esparce en todas direcciones y también el hecho de que, procediendo, como lo hace, de direcciones muy diferentes y en verdad opuestas, los rayos se Inter penetran sin obstruirse unos a otros, entonces podemos comprender que siempre que vemos un objeto luminoso, no puede ser debido a la transmisión de la materia que nos llega del objeto, como por ejemplo un proyectil o una flecha que vuela en el aire (Blanco Laserna , 2015) citando a (Huygens, 1937, p. 461)

Huygens en su manuscrito advierte que las partículas no se propagan, están actúan como intermediarias. En lugar de moverse estas transmiten una agitación o una perturbación a las partículas más cercanas, y después de cumplir su papel de mediadores estas se podrían encontrar en el mismo lugar donde se encontraban al comienzo de la interacción, a medida que esta interacción o perturbación avanza a otras partículas más alejadas.

Huygens introduciría el éter para dar una explicación. Las partículas luminosas chocarían con las partículas del éter y estas transmitirían su movimiento a las partículas más cercanas, logrando una transmisión en cadena de choques véase la ilustración 8. Huygens no se perdería la discusión sobre el éter y continuaría su trabajo, el solo recurriría al concepto del éter debido a diferentes experimentos realizados por Boyle “*llevó a cabo experimentos mediante campanas de cristal en las que hacía el vacío*” (Solaz-Portolès, 1997, pág. 8). Boyle dio a conocer que las ondas de sonido no se propagan en el vacío, a diferencia de la luz que sí lo hace, con Huygens pudo mantener su postura de las colisiones en cadena

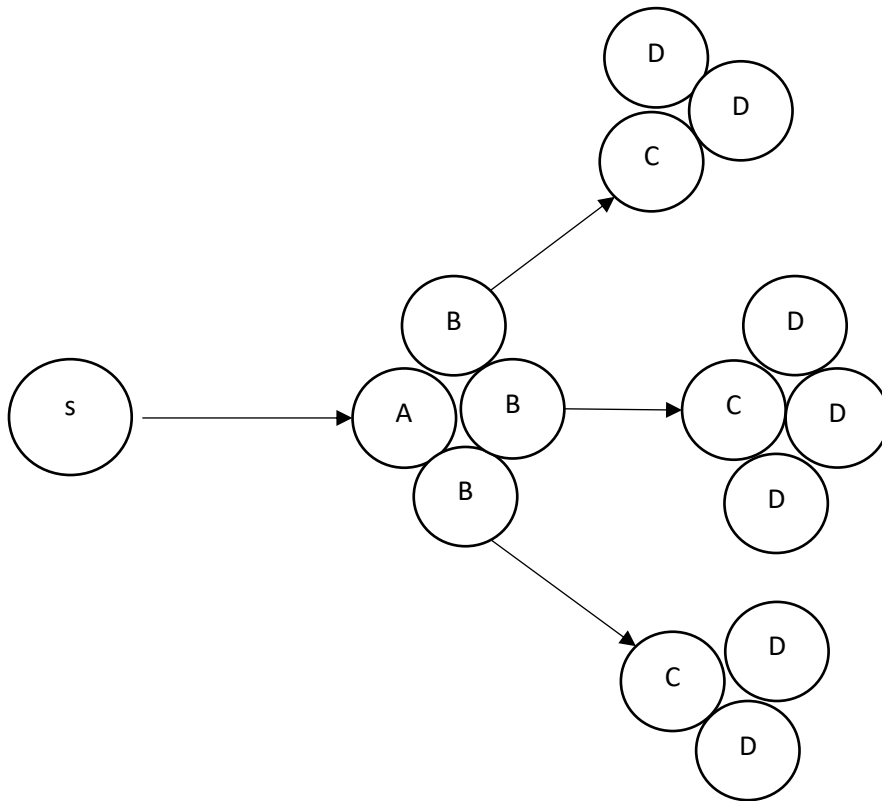
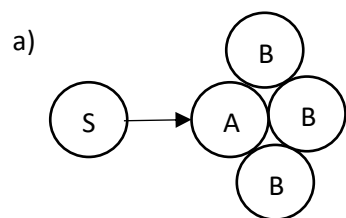


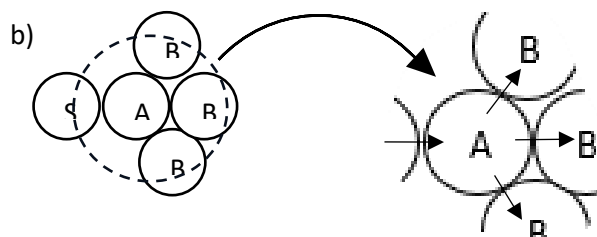
Ilustración 9 cadena de choques (elaboración propia)

“Cada colisión no transmite su impulso en una dirección estrictamente radial, sino que lo difunde en abanico, siempre hacia delante” (Huygens, 1937, pág. 473).

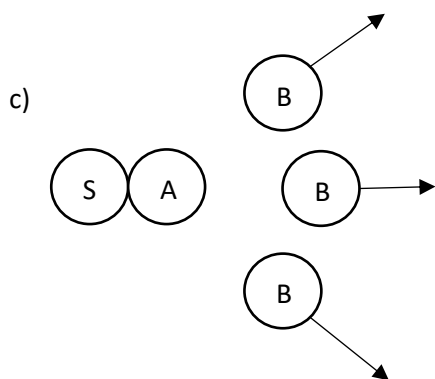
En la siguiente imagen, se mostrará el paso a paso del choque partiendo de que S, A, B, C y D son idénticas



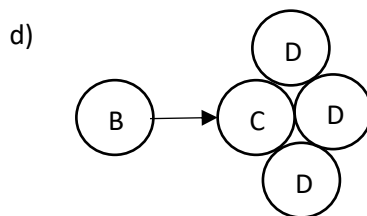
S se dirige al conjunto AB con una determinada cantidad de movimiento



S choca al conjunto AB y transmite esta cantidad a la partícula A que posteriormente la transmitirá a las partículas B



S y A quedan estáticas después de transmitir su movimiento a las partículas B



Las partículas B repetirán el proceso anterior luego D.

Ilustración 10 diagrama de choques (elaboración propia)

Como se puede ver en la *ilustración 10*. lo que sucede con los corpúsculos es una serie de choques que va tornando una forma de onda, Huygens pertenencia al grupo de científicos que eran adeptos a la teoría corpuscular.

“Las percusiones en el centro de estas ondas no se suceden con regularidad, por eso no hay que imaginar que las mismas ondas se siguen unas a otras a distancias iguales” traducción de (Blanco Laserna , 2015) que cita (Huygens, 1937, pág. 474)

Huygens, sugiere que los golpes en el centro forman un comportamiento ondulatorio, pero en si no lo es, si bien, esta se comporta como una onda no quiere decir que es una; debido a que estas “ondas” no ocurren de forma constante o regular, y no se pueden asumir que estas tengan la misma separación una con otra; estas palabras darían paso el principio de Huygens.

2.2.1 Principio de Huygens

Cada partícula afectada por un frente luminoso se transforma a su vez en el origen de un nuevo frente. A la vista de su fundamento mecánico, estos frentes secundarios no se abren en una esfera completa, sino en un ángulo sólido (Huygens, 1937, pág. 475)

Para resumirlo el principio de Huygens explica cómo se propaga un pulso a través de un medio homogéneo e isótropo², cada frente se convertirá en un nuevo foco del pulso de un pulso secundario el cual se propaga en todas las direcciones, estos pulsos llegarán a interferirse construyendo así un nuevo frente; los pulsos secundarios se formarán debido a los choques entre los corpúsculos como se mostró en las imágenes 8 y 9 los corpúsculos al chocar y transmitir su movimiento no tendrán un efecto de rebote y por esto motivo su

² igual en todas las direcciones del espacio.

transmisión será en forma de arco y no circular, es por esta razón se piensa que su comportamiento es ondulatorio; se debe resaltar nuevamente a Huygens, el no cree que es una onda, sino que se comporta como una y lo describe como un pulso, pero de aquí en adelante lo llamaré onda.

Huygens sostiene en que si se conoce la forma del cómo se perturba el medio en un determinado tiempo, se puede llegar a determinar o predecir el comportamiento, esto se llega a lograr cada punto en el frente de onda, se debe considerar cada punto de perturbación como un nuevo frente de onda secundario los cuales se propagaran de forma isótropa, esto se repetirá de forma secuencial, como se mostró anteriormente con las imágenes 8 y 9 estos nos muestra de una manera geométrica como será su comportamiento y su evolución. Huygens lo describe como apertura de compas y lo plasma en su manuscrito *Traité de la lumière*

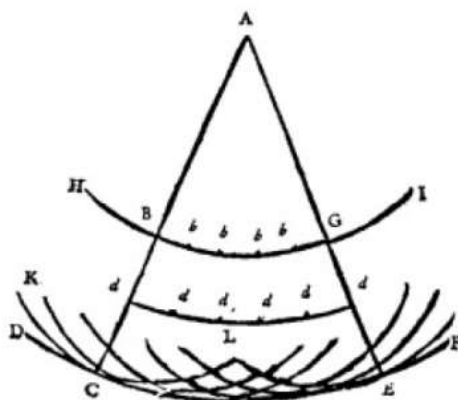


Ilustración 11 El principio de Huygens, tal como se ilustra en el *Traité de la lumière* (Blanco Laserna , 2015)

Con esta ilustración Huygens intenta mostrar cómo se construyen los frentes de ondas secundarios, tengamos en cuenta que esta ilustración muestra como los cheques se comportan como una onda.

Huygens tratara de dar respuesta a la refracción y la reflexión a partir de la ley de Snell, Huygens plantea que existe la suposición de que la velocidad de la luz es mayor en el aire que en el vidrio o en el agua.

Huygens construye una explicación al como la luz viaja a través de los medios transparentes.

Siendo la rarefacción de los cuerpos transparentes tal como se ha dicho, uno concibe con facilidad que las ondas se podrían transmitir en la materia etérea que ocupa los intersticios entre partículas. Y, por otra parte, uno puede concebir que la progresión de estas ondas debe ser un poco más lenta en el interior de los cuerpos. Traducción de (Blanco Laserna , 2015) que cita a (Huygens, 1937, pág. 483),

El texto insinúa que los cuerpos transparentes tienen una menor densidad de partículas, lo que permitiría que las ondas se propagaran a través del éter, que en la época de Huygens se creía que llenaba los espacios entre las partículas. Esto podría sugerir que la velocidad de la onda se vería afectada por la estructura interna de los materiales, ya que las partículas podrían desviar la trayectoria de la onda en su camino de propagación.

Huygens reflexionó sobre la doble refracción y cómo esta debía relacionarse con la ley de Snell, ya que este fenómeno no seguía la ley establecida, pero al mismo tiempo, se comportaba de acuerdo con lo que dictaba dicha ley. La ley de Snell era ampliamente aceptada y era el último componente que necesitaba para completar su teoría sobre la luz al 100%. Tenía claro que la luz se comportaba como una onda y que cuando debía atravesar

varios obstáculos, como se muestra en la *ilustración 12*, al seguir estos nuevos recorridos, se generaban nuevas ondas, también conocidas como ondículas.³

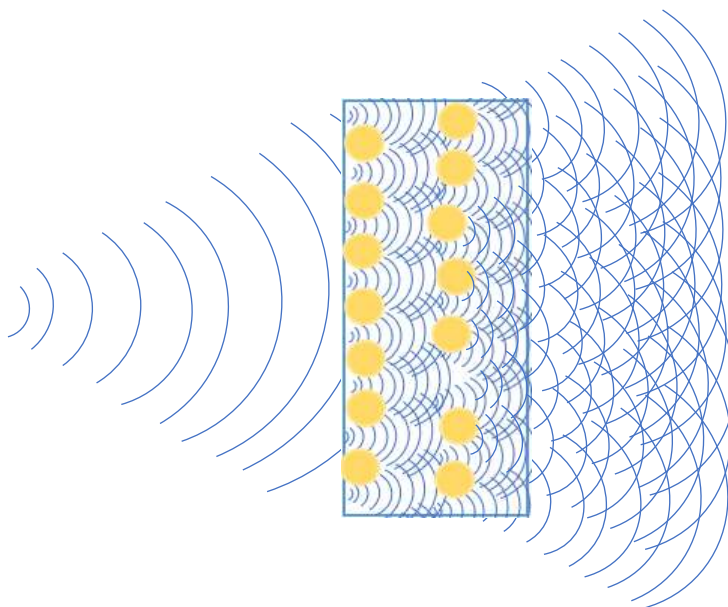


Ilustración 12 interpretación de la luz viajando a través del éter (elaboración propia)

Esto permitiría que se realizara el análisis que había llevado a cabo Huygens, donde afirmaba que la luz se comportaba como una onda a nivel microscópico, lo cual no era perceptible para el ojo humano. Para este momento se debatía que las velocidades de la luz variaban en función del medio por el que pasaba. Según la perspectiva de Newton, la luz viajaba más rápido en materiales densos debido a la atracción de la masa sobre las partículas de luz, lo que se basaba en su teoría de la atracción gravitatoria. Newton suponía que este principio también se aplicaba a los corpúsculos de luz. Por otro lado, Huygens proponía que la velocidad de la luz disminuía al entrar en contacto con otro medio debido a su

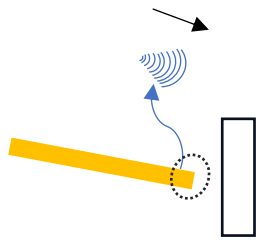
³ Las ondículas son una herramienta matemática que se utiliza para representar señales en términos de versiones trasladadas y dilatadas de una onda finita, llamada ondícula madre.

comportamiento como onda. En este caso, la luz debía atravesar la parte interna del cuerpo y buscar un camino por el cual emitir las ondículas.

Huygens recurriría al principio de Fermat, el cual establece que la trayectoria que sigue un rayo de luz entre dos puntos es el camino más corto en términos de tiempo, no necesariamente el camino más corto en distancia. Esto significa que la luz siempre toma el camino que le permite viajar más rápido entre dos puntos. Este principio es fundamental para que podamos entender cómo la luz interactúa con diferentes medios y cómo se propaga a través de ellos.

Gracias al principio de Fermat, Huygens pudo obtener una comprensión de cómo la luz se propaga de un medio transparente a otro. *La ilustración 12* sugiere la posibilidad de que esta interpretación se ajuste a la ley de Snell, lamentablemente este análisis no alcanzaría para que Huygens pudiera explicar la doble refracción en la calcita, Huygens argumentó que existe la posibilidad que esto ocurra debido a las partículas que conforman este cristal.

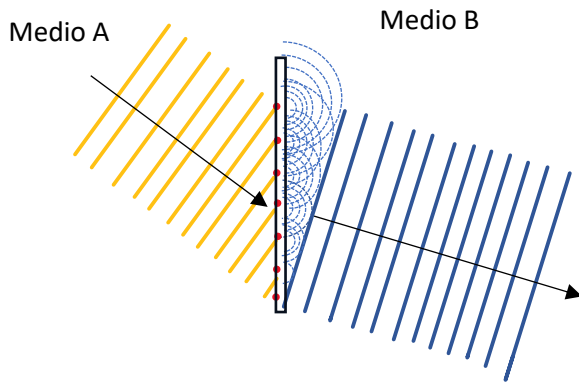
Imaginemos un haz de luz viajando a través del espacio. Como se ha demostrado con anterioridad, la luz se comporta como una onda en este proceso, como se indica en la sección (a). En la sección (b), observaremos la onda de tal manera que se propaga en línea recta. supongamos que las múltiples ondas α , β , λ , δ , ζ ,..... viajan en el espacio y estas van a interactuar con un medio transparente, Nos posicionaremos en la parte superior, lo que nos permitirá ver la onda de manera unidimensional. Si observamos la sección (c), notaremos cómo la dirección de la luz cambia debido a los diversos choques a nivel microscópico que provocan un comportamiento ondulatorio. Esto resulta en un cambio en la dirección de los frentes de onda. De esta manera, podremos llegar de forma más intuitiva a la idea planteada por Huygens



a) vista lateral de un haz de luz viajando en el espacio hacia un medio transparente

ζ _____
 δ _____
 λ _____
 β _____
 α _____

b) vista superior de la onda $\alpha, \beta, \lambda, \delta, \zeta, \dots$ cada una representa un frente de onda



c) Cuando el haz de luz cambia de un material transparente a otro, su dirección cambia debido a los choques con el éter, esta nueva trayectoria se debe al principio de donde su trayectoria es determinada

Ilustración 13 la luz cambiando de media (autoría propia)

Estos nuevos hallazgos llegarían a Newton el cual dentro de toda su experiencia analizaría los nuevos hallazgos, Newton analizaría la doble refracción de la piedra de calcita, con la intención de que este fenómeno lo pudiera ajustar a su teoría de emisión corpuscular, lo cual fue muy difícil para Newton que al final solo pudo decir. “a cuatro lados o cuartos, dos de

los cuales, opuestos entre sí, inclinan el rayo a que se refracte en la forma inusual” (Newton I. , 2005, pág. 149). Este breve fragmento indica que Newton se esforzaba por encontrar una justificación para la doble refracción, y las explicaciones que intentaba ofrecer se volvían muy complejas de entender. Newton planteaba que cada rayo de luz tenía propiedades y características distintas, ya que, si no podía justificar la doble refracción en su teoría corpuscular de la luz, su tratado sobre la luz se vería seriamente comprometido. Es por esta razón que buscaba demostrar que la explicación ondulatoria no era la única forma conceptual de explicar el comportamiento de la luz.

Newton y Huygens compartían una visión similar de la naturaleza de la luz, la cual era corpuscular. Sin embargo, cada uno elige una vertiente distinta. Por el lado de Newton, elige que la luz viaja en línea recta en forma corpuscular, manteniendo su trabajo de gravitación universal donde avisa que la luz aumenta su velocidad en los cuerpos y manteniendo la geometría de Snell. Por el lado de Huygens, también se mantiene en que la luz es corpuscular, pero que se comporta como una onda. Esto lo lleva a contradecir la velocidad de Newton debido a los choques. Si bien los ve de forma ideal en un principio, con el pasar del tiempo y reflexionando, llega a pensar que la velocidad es menor en los objetos.

3 Metodología

La metodología que se pretende desarrollar en este proyecto está dada desde una perspectiva fenomenológica donde como afirma Ayala, Malagón y otros 2013 citando a Hursell

El fenómeno es lo que aparece frente a una conciencia. Como afirma Husserl, la conciencia existe en la medida en que es conciencia de algo y, por lo tanto, desde ese punto de vista el fenómeno no es en sí mismo, no existe en sí mismo, ni tampoco la

conciencia existe en sí misma, hay una relación de doble vía”. (Malagon, Ayala, & Sandoval, pág. 88)

Lo que implica que la conciencia sea un individuo que tiene unas concepciones, unas maneras de pensar y unas experiencias con el mundo que le permiten dar cuenta de lo que está viendo.

Además, para el trabajo va a ser muy importante lo que estos autores también plantean frente a la fenomenología de Husserl y Heidegger donde indican que “el fenómeno requiere alguien ante quien aparecer, pero no oculta un ser verdadero de carácter absoluto” (Malagon, Ayala, & Sandoval, 2013) con lo cual se hace evidente que el fenómeno no existe por sí solo, sino que existe siempre y cuando haya una relación con un observador, es en esa relación donde se puede hablar del fenómeno.

Por otra parte, se propone desde esta perspectiva reconocer que no hay objetos o entidades metafísicas oculta de tras del fenómeno como lo plantean indicando que:

El fenómeno no oculta nada. Lo que se llama fenómeno no se presenta enmascarado por las cualidades porque no es posible apartar las cualidades para encontrar detrás de ellas la esencia última de los objetos, de lo que se puede dar cuenta es de un conjunto organizado de cualidades. Como consecuencia de esto, las explicaciones sobre lo que ocurre, solo se pueden dar en términos de una organización de lo que se percibe. (Malagon, Ayala, & Sandoval, pág. 89)

Por último, es importante reconocer que el fenómeno no es estático, como lo indican los autores “por el mismo hecho de ser algo que se aparece ante una conciencia. Entonces, si la conciencia cambia, el fenómeno cambia; a medida que se van haciendo organizaciones del fenómeno, este cambia”. (Malagon, Ayala, & Sandoval, pág. 89). Bajo esta perspectiva cabe

resaltar entonces que lo único que el observador puede hacer es realizar organizaciones de lo que muestre el fenómeno y desde estas organizaciones es que podemos configurar el fenómeno; Por otra parte, es importante pensar que bajo esta perspectiva se construyen fenomenologías y por ende es importante resaltar

Para hablar de construcción social de fenomenologías, es preciso asumir una visión de la ciencia de carácter sociocultural, en la que es posible una construcción social de la realidad natural a partir de la organización de la experiencia sensible (Romero & Aguilar, 2013).

propuesta que es acorde con la idea que se desarrolla a lo largo de los trabajos de la línea y el departamento, posibilitando mostrar que la actividad de la ciencia es una actividad cultural.

Dentro de esta perspectiva metodológica el experimento no va a jugar un rol de verificador de teorías, sino que va a ser un agente posibilitador de la ampliación de la experiencia que tienen los estudiantes con el fenómeno de la refracción de la luz.

Esto debido a que se busca que el alumno construya explicaciones a el fenómeno a través de la actividad de la experimentación o experiencia, que con lleva a que el estudiante construya formas discursivas para explicar lo observado, con lo que se quiere observar y lo que se espera que observe.

Cabe resaltar que el maestro se encuentra en una posición crítica y de mayor entendimiento sobre los temas que se desean abordar y esto posibilita que exista una relación de orientación con el estudiante, pero no de imposición de ideas, simplemente será un sujeto que logre vincular lo que observan los estudiantes con las formas de entender el fenómeno desde las teorías científicas, en este caso desde la mirada de Huygens y Newton.

Mas a delante se encuentra un esquema que representara los cuatro momentos que estarán en torno a nuestra actividad con el cual se pretende desarrollar este proyecto de investigación, los cuales son: Acercamiento, Contextualización, experimento y Reflexión; este esquema no sitúa jerarquías, ni establece el orden en el cual debería usarse, es un sistema cíclico el cual sigue un orden pero no se plantea un punto de partida ni de llegada, debido a que absolutamente todas las personas perciben y aprenden de diferentes maneras, el estudiante podría iniciar desde cualquiera de las cuatro secciones.

Es de suma importancia que reconozcamos y alimentemos todas las inteligencias humanas y todas las combinaciones de inteligencias. Todos somos tan diferentes en parte porque todos poseemos combinaciones distintas de inteligencias. Si reconocemos este hecho, creo que al menos tendremos más posibilidades de enfrentarnos adecuadamente a los numerosos problemas que se nos plantean en esta vida (Armstrong, 2000)

Todas las personas poseen diferentes inteligencias, diferentes actitudes y fortalezas al momento de aprender un nuevo conocimiento o reforzarlo; como se tiene facilidad también en algunos momentos se presentan problemáticas con el aprendizaje, con el esquema que se plantea más adelante, el estudiante podría partir de alguno de las cuatro secciones para facilitar su aprendizaje, si el maestro decide optar por determinar alguno como punto de inicio, el esquema que más adelante encontraremos nos muestra, que sin importar el camino por el cual se inicie el proceso de aprendizaje se tornara cíclico, debido a que el sujeto experimentara una tensión⁴ con alguna de las secciones, dando como resultado una secuencia

⁴ Acción en la que se encuentra sometido el sujeto con cualquiera de los momentos, entiéndase como la tensión que experimentan dos cargas

la cual se acoplara a la siguiente sección, este proceso sería el mismo para cualquiera de las inteligencias descritas por (Armstrong, 2000) en su libro⁵.

Es necesario formular una ruta de trabajo, como menciona (M.Arca, 1990) no se debe pensar la educación como una escalera o una cima a la cual llegar, se debe pensar como un camino de nenúfares⁶, donde cada uno de estos es una experiencia que construye un camino que va poco a poco, en algún momento aparecerán nuevas interpretaciones que modifiquen algunos conocimientos previos y en otros momentos podrían aparecer nuevos conocimientos destructivos, por esto es importante dejar de ver la enseñanza como una escalera.

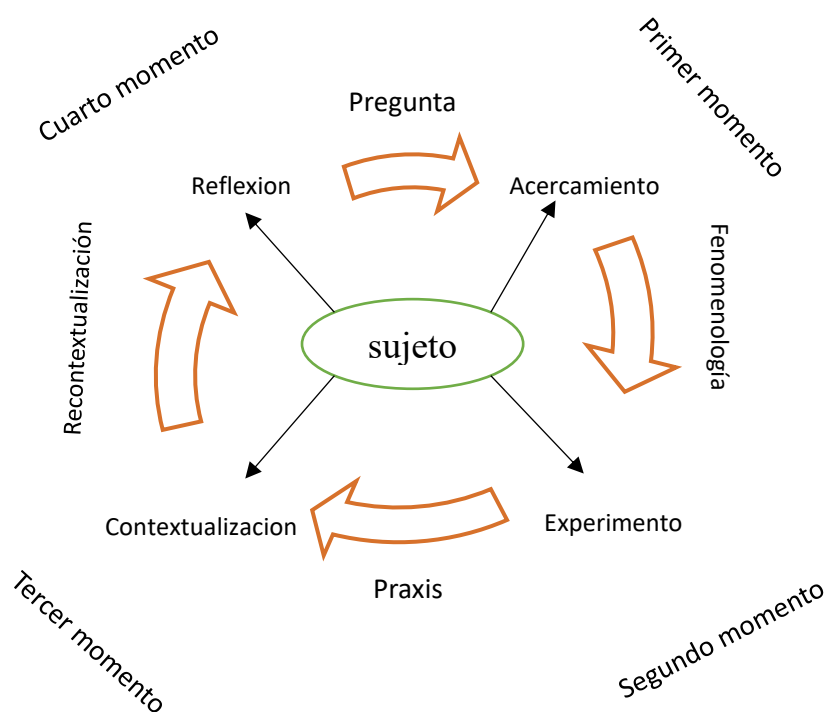


Ilustración 14 diagrama de la metodología (elaboración propia)

⁵ Multiple Intelligences in the Classroom

⁶ Tipo de planta acuática perteneciente a la variedad de hojas flotantes

Para facilitar la explicación de la Ilustración 14 presentada, tomaremos el primer momento como el acercamiento. Esto se debe a que el esquema es cíclico y el sujeto puede tomar cualquier punto de partida, dependiendo de la tensión que el sujeto pueda tener con cualquiera de las secciones y la afinidad que pueda tener.

3.1 Primer momento

Según (Bautista, 2022) citando a (Kant, 2005)⁷ “El efecto de un objeto sobre la capacidad del estudiante tendrá un acercamiento al fenómeno, permitiéndole tener una experiencia desde los sensorial, donde el estudiante podrá familiarizarse con el mismo.

En este proceso si bien el estudiante con anterioridad ha tenido un acercamiento con el fenómeno en su vida cotidiana, a este se le debe direccionar para que este pueda pensar lo que sucede y tener una experiencia organizada.

3.2 Segundo momento

El estudiante desarrollara un trabajo experimental que será el montaje de dispositivos ya sea en el aula de clase o desde su hogar en base a indicaciones del docente esto con el fin de mejorar los tiempos de desarrollo del experimento, este tendrá el fin de que el estudiante pueda replicar el fenómeno, este trabajo experimental estará acompañado por una guía de trabajo donde el estudiante seguirá una ruta de trabajo.

3.3 Tercer momento

Se dará la contextualización, nos referimos en este punto a introducir la parte histórica y matemática que se realizó en el estudio y desarrollo del fenómeno, el propósito es que el

⁷ *Kritik der reinen Vernun*

estudiante tenga las competencias para poder abordar el fenómeno teóricamente y este a su vez pueda comparar lo que se entiende con lo mostrado anteriormente, el estudiante contará con las herramientas de enriquecer o modificar su pensamiento sobre la hipótesis construida previamente.

3.4 Cuarto momentos

El estudiante después de pasar por los anteriores pasos tendrá las herramientas para hacer una comparación de la parte teórica y experimental, el estudiante podrá llegar a conclusiones propias lo que constituiría una construcción del conocimiento en el fenómeno estudiado.

Este modelo que se presenta se infiere que es cíclico, que no necesariamente tiene un inicio específico, debido a que dentro de la enseñanza no existe un camino determinado, sino una estructura funcional. Es así como se podría iniciar desde cualquier momento, pero se debe tomar en cuenta que es unidireccional. Si bien no tiene un comienzo establecido, sí tiene unos pasos establecidos.

4. Diseño de implementación

En este capítulo se presenta el diseño que se realizó para la secuencia experimental, que se planeó para llevar a cabo con los estudiantes de una institución privada con énfasis judío-cristiana, El colegio es una institución privada de calendario A, ubicado en la localidad 2 (chapinero) Bogotá, de carácter mixto, el énfasis que maneja es religioso, se trabajó con estudiantes de grado 11, con 22 estudiantes de los cuales 12 mujeres y 10 varones, Esta secuencia se dividirá en seis diferentes momentos. El cual tendrá cada uno una guía de trabajo. Para estas guías no se utilizarán preguntas desencadenantes. Esto debido a la

metodología que se quiere trabajar, para resumir; tiene un enfoque fenomenológico. Donde el estudiante se someterá a una serie de interacciones.

Las actividades pretenden que el estudiante pueda ir haciendo una construcción sobre su experiencia e ir construyendo un lenguaje sobre lo observado para que así él pueda construir conocimiento.

4.1 Diseño de las actividades

Se pensó con este diseño generar dinámicas donde se priorice el acercamiento al fenómeno desde la experiencia y no lo teórico, como se mencionó en la justificación el fenómeno de la refracción se muestra en los colegios de una forma geométrica y matematizada, no profundizando en que los estudiantes puedan comprender, en el cómo lo interpretan y en el cómo lo pueden explicar, desde sus propios sentires y conocimientos previos; para que así el estudiante pueda formular su propia respuesta sobre lo que están viendo.

De acuerdo a lo anterior, se propone en las actividades que puedan realizar en un primer momento una representación visual de lo que están observando, seguido de una reflexión con sus palabras, esto con el propósito que de la experiencia u observación construyan un lenguaje para que así puedan plasmar el conocimiento que han obtenido, esto se realizara en todas las sesiones propuestas, la siguiente tabla será la ruta metodológica que se les llevara a los estudiantes de grado once.

Momentos	Descripción de la actividad	Objetivos para el estudiante	Objetivos para el profesor	Discusión con los estudiantes
<p>(Primer momento)</p> <p>Actividad introductoria ¿Qué es la luz?</p>	<p>En esta actividad se desea poder conocer como los estudiantes perciben la luz y como creen que esta interactúa con ellos</p> <p>En un primer momento se pedirá que dibujen lo que piensan de la luz</p> <p>Y en un segundo momento que describan con sus palabras que entienden por luz</p>	<p>Reconocer el fenómeno de la luz</p>	<p>El objetivo que tiene el profesor es guiar la discusión para que los estudiantes se apropien del fenómeno</p>	<p>La discusión se pretende realizar estará en torno al cómo se percibe la interacción de la luz, si la luz interactúa</p> <p>Con el medio y este con interactúa con el sujeto o por otro lado la luz interactúa directamente con el sujeto</p>
<p>(Segundo momento)</p>	<p>Es bastante importante que se entienda que la luz puede viajar en medios</p>	<p>Establecer criterios sobre la transparencia.</p>	<p>La comprensión por parte de los estudiantes que existen</p>	<p>Esta discusión estará basada en que si todo el entorno se puede tomar como un</p>

<p>La transparencia</p>	<p>trasparentes por eso mismo Se propone en esta actividad que los estudiantes puedan comprender que es un medio transparente</p>		<p>varios tipos de medios transparentes</p>	<p>medio transparente y el cómo puede funcionar</p>
<p>(Tercer momento)</p> <p>Lo que la luz nos permite ver</p>	<p>En esta actividad los estudiantes deberán hacer grupo de 3.4 personas, en esta actividad los estudiantes deberán ver como el objeto que no podían ver después de agregarle agua este aparecerá</p>	<p>Establecer la relación entre el medio transparente y el observador</p>	<p>Que los estudiantes puedan dar cuenta que la luz cambia de dirección</p>	<p>Para este tercer momento se buscará que los estudiantes entren en una discusión sobre lo que ven. En un primer momento los estudiantes deberán llenar una tabla y dar unas conclusiones que estará dispuesta en la actividad.</p> <p>En el segundo momento los estudiantes deberán hacer un dibujo que muestre a que llegaron después de realizar la actividad</p>

<p>(Momento cuatro)</p> <p>¿Es posible doblar la luz?</p>	<p>se busca que en esta actividad los estudiantes tengan un acercamiento al fenómeno de la refracción</p>	<p>Demostrar y comprender el fenómeno de la refracción de la luz al pasar de un medio a otro.</p>	<p>Guiar a los estudiantes en la construcción del fenómeno de la refracción</p>	<p>Para este cuarto momento se buscará que los estudiantes puedan tener unas aproximaciones a lo que está pasando con el lapicero dentro del agua</p> <p>En un primer momento los estudiantes deberán llenar una tabla y dar unas conclusiones que estará dispuesta en la actividad.</p> <p>En el segundo momento los estudiantes deberán hacer un dibujo que muestre a que llegaron después de realizar la actividad y dar una conclusión</p>
--	---	---	---	--

<p>(Quinto - sexto momento)</p> <p>La luz que viaja en línea recta</p> <p>La luz y su dirección</p>	<p>Previamente antes de realizar se desarrollarán un pequeño experimento, tomando la pecera o la refractaria, se disparará el haz de luz para que se pueda ver la línea de luz dentro del agua.</p> <p>Los estudiantes deberán usar un puntero laser y realizar el montaje propuesto para que estos puedan ver el cómo la luz cambia de dirección</p>	<p>Observar y comprender el fenómeno de la refracción de la luz al pasar de un medio a otro.</p>	<p>Poder mostrar que la luz puede cambiar su dirección de forma experimental y realizar una reflexión sobre el fenómeno a partir de las experiencias de los estudiantes</p>	<p>la experiencia de ver la luz que viaja en forma lineal servirá como preámbulo a la discusión de como viaja la luz, al momento de que ellos evidencien el cambio de dirección, reformulen la respuesta dada con anterioridad y se pueda abrir un momento de discusión con los estudiantes.</p>
--	---	--	---	--

Tabla 1 descripción de los momentos de la propuesta experimental. (elaboración propia)

5. Implementación de la propuesta experimental

La secuencia experimental propuesta consistió en un conjunto de cinco guías que se presentaron a los 22 estudiantes de grado once de una institución privada con énfasis judío-cristiana. La implementación se llevó a cabo en cinco sesiones que se realizaron en los espacios de física. Cada sesión tuvo una duración aproximada de 90 minutos, durante las cuales los estudiantes atendieron a las instrucciones que se encuentran en las guías. El propósito de estas sesiones era recopilar las reflexiones que los estudiantes iban teniendo a medida que completaban los ejercicios. Esto permite realizar la sistematización de manera organizada.

5.1 Análisis de implementación

A continuación, realiza un análisis de las sesiones involucradas en la implementación de la propuesta experimental, con el uso de las guías las cuales contienen representaciones gráficas y reflexiones sobre lo que perciben, el análisis que se realizó se presentara en tablas con su transcripción, imágenes correspondientes y un análisis de lo que presentan los estudiantes.

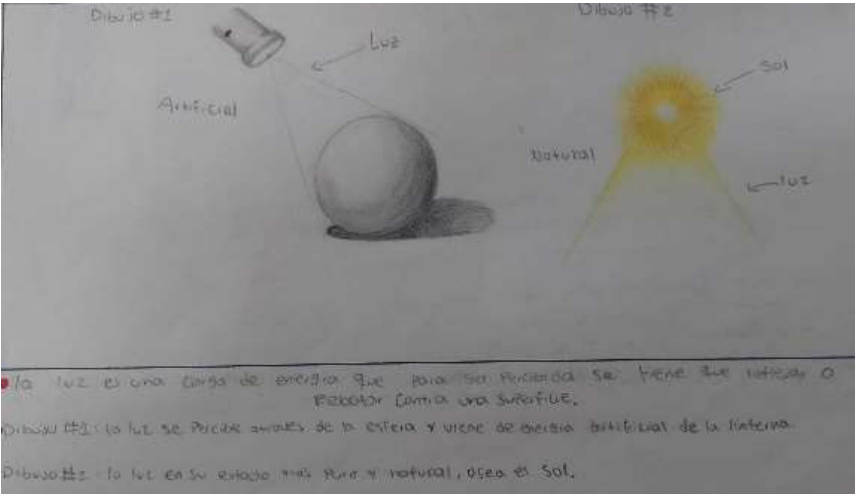
Durante las sesiones, se decidió no interferir con los conocimientos previos que los estudiantes tenían sobre la luz, esto con el fin de poder explorar el fenómeno de la luz, sin interponer teorías previamente por parte del docente. Las guías se presentaron sin darles previo aviso sobre las actividades, con el objetivo de que su conocimiento y percepciones no fueran alterados al buscar información.

Con estas guías presentadas se obtuvo bastante información de como perciben la luz por medio de sus explicaciones y dibujos, nos permiten dar cuenta de las nociones de como

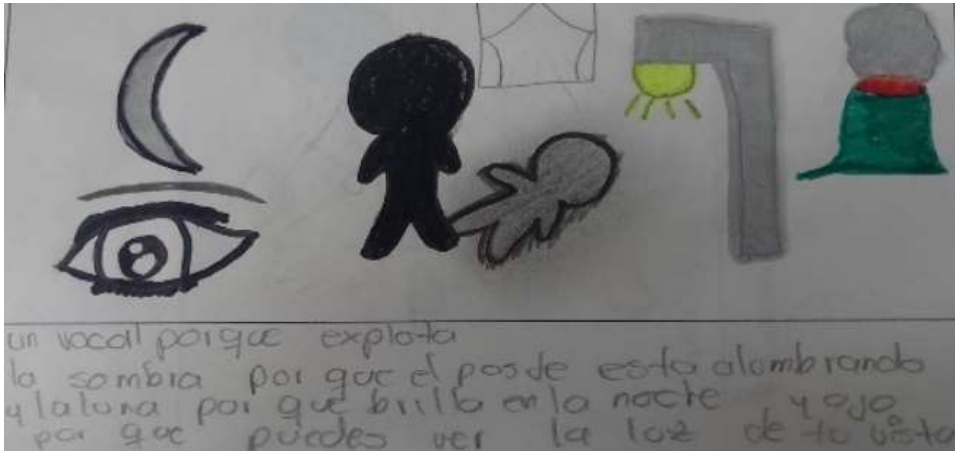
perciben como viaja la luz, como consideran los colores, las sombras y el que es ver y como no todos ven los mismo dependiendo desde el punto donde se vean las cosas

5.1.1 Lo que entendemos por la luz

En esta actividad⁸ se pretende tener un acercamiento de lo que los estudiantes entienden y conciben de la luz. En esta primera sesión se les pidió que hicieran una representación de lo que entendían por luz y que lo explicaran en sus palabras.

Representación	Análisis
 <p>Representación primera sesión (A)</p> <p><i>“La luz es una carga de energía que para ser percibida se tiene que reflejar o rebotar contra la superficie</i></p> <p><i>Dibujo # 1 la luz se percibe a través de la esfera y viene de energía superficial de la linterna, Dibujo # 2 la luz en su estado mas puro y natural, ósea el sol.”</i></p> <p>Fuente: Estudiante Numero 18</p>	<p>En esta representación se puede evidenciar que el estudiante reconoce el tipo de luz natural y artificial. También que esta interactúa con una superficie y luego con el sujeto</p>

⁸ Ver anexo # 1 lo que entendemos por la luz

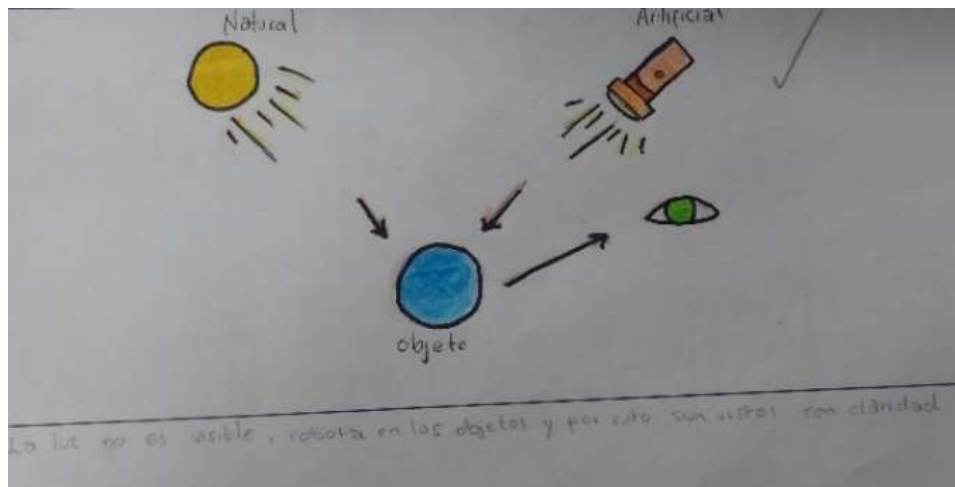


Representación primera sesión (B)

“Un volcán porque explota, La sombra por que el poste está alumbrando y la luna por que brilla en la noche y ojo por que puedes ver la luz de tus ojos”

Fuente: Estudiante Numero 17

En esta representación se puede notar que la luz no se entiende como necesariamente el sol, se puede reconocer nociones de reflexión de la luz, la sombra, la luz artificial y natural

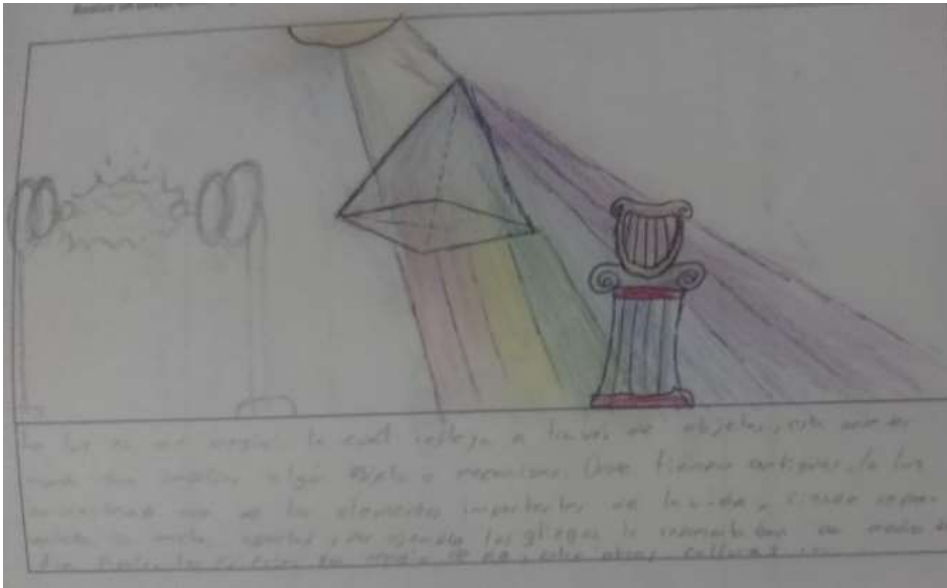


Representación primera sesión (C)

“La luz no es visible, rebota en los objetos y por estos son vistos con claridad”

En esta representación se puede notar la relación que construye el estudiante en que lo que se observa es resultado de la interacción de la luz con los objetos y que la luz no es visible

Fuente: Estudiante Numero 10



En esta representación se puede notar la relación que el estudiante le da a la difracción de la luz y como está al interactuar con el prisma de ella resultan los colores del arcoíris, también se puede notar como se relaciona la luz con las energías renovables y el cómo la define como un tipo de energía

Representación primera sesión (D)

“La luz es una energía la cual refleja a través de objetos, esta puede ser usada para impulsar algún objeto o mecanismo. Desde tiempos antiguos la luz se considera uno de los elementos importantes de la vida, siendo representada en muchos aspectos, por ejemplo, los griegos la representan por medio del dios apolo, los egipcios por medio de Ra, entre otras culturas”

Fuente: Estudiante Numero 14

Tabla 2 Análisis sobre las representaciones - como se entiende la luz (elaboración propia)

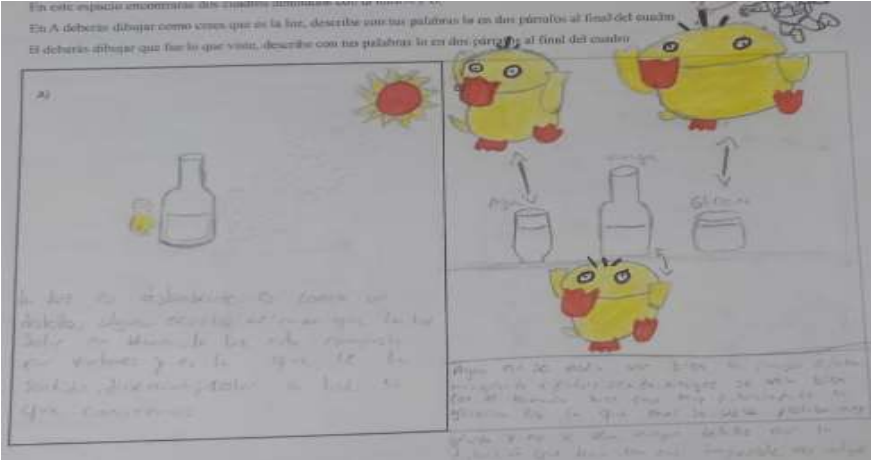
Los estudiantes a realizar su descripción gráfica y dándonos una definición de lo que para ellos consideran que es la luz, nos dé permite concluir que en el primer momento (A), (B) y (D) llegan a la misma explicación de que la luz debe interactuar con el objeto para que este pueda interactuar con nosotros y que este es un tipo de energía.

También es posible extraer en la primera sesión que (A), (B) y (C) plantean que existen dos tipos de luz, artificial y natural.

La representación de (A) y (C) nos da entender que consideran la sombra como forma de interacción de la luz.

5.1.2 La transparencia

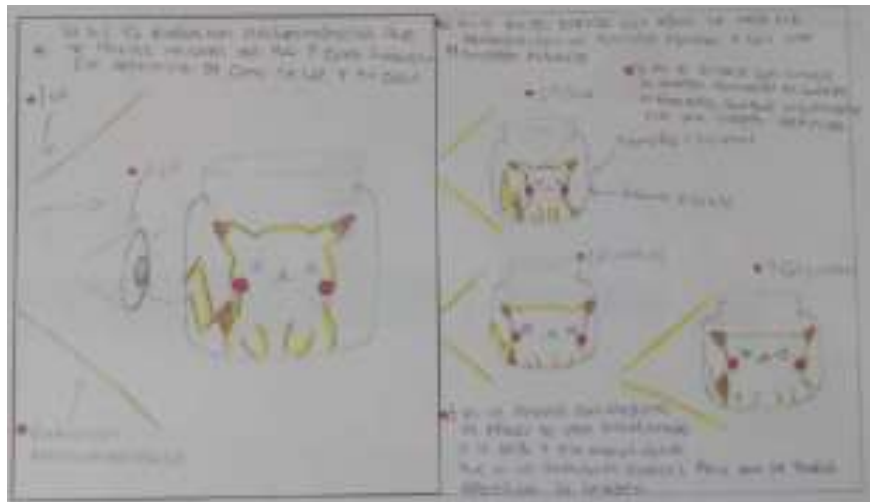
Para la segunda sesión se presenta una actividad⁹ que abordaba los medios transparentes, los estudiantes conformaron grupos de 3 – 4 estudiantes donde deberán comparar diferentes sustancias donde deberán anotar en porcentaje si notaba algún tipo de diferencia, en la guía se pide llenar una tabla, realizar un dibujo donde representaran lo que observan y por último una explicación con sus palabras.

Representación	Análisis
 <p>En este espacio encontrarás dos cuadros diferentes con el mismo tema. En A deberás dibujar como ves que es la luz, describe con tus palabras lo en dos párrafos al final del cuadro. El deberás dibujar que fue lo que viste, describe con tus palabras lo en dos párrafos al final del cuadro.</p> <p>Representación segunda sesión (A)</p> <p><i>“Agua no se podía ver bien la ilustración estaba más grande y distorsionada, vinagre se veía bien con el tamaño bien pero muy</i></p>	<p>Para esta representación se puede observar que los estudiantes plasmaron el cómo veían la pegatina en las diferentes sustancias.</p>

⁹ Ver anexo actividad # 2 la transparencia

distorsionada la glicerina es la peor en la que se veía, estaba muy grande y no se veía ningún detalle por la distorsión que tenía era casi imposible de ver algo”

Fuente: Estudiante Numero 20



Representación segunda sesión (B)

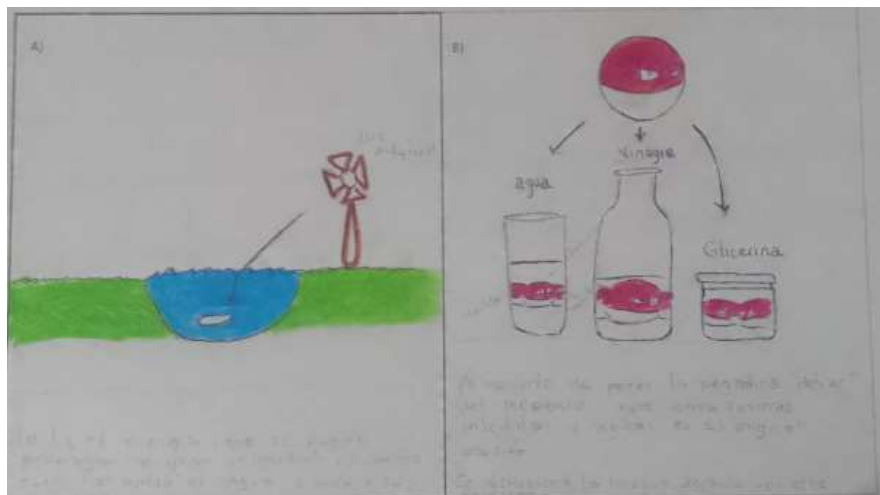
“1-En el envase con agua se veía casi perfecto, con un tamaño normal y con una imagen estable

2-en el envase con vinagre la imagen con vinagre la imagen aumento de tamaño, aunque visualmente era una imagen definida

3 en el envase con glicerina el stiker se veía distorsionado a lo largo y era menos visible que en los anteriores envases, pero aún se podía identificar la imagen”

Fuente: Estudiante Numero 18

En este ejercicio se puede notar que el estudiante puede notar que los líquidos permiten ver a través de él, así mismo cada uno de estos líquidos genera un resultado distinto respecto a la imagen, con lo que el estudiante logra hacer una diferenciación entre la visibilidad del sticker en las diferentes sustancias



Para esta actividad el estudiante puede notar que la imagen puede ser distorsionada o cambiar su orientación dependiendo de la sustancia.

Representación segunda sesión (C)

“Al momento de poner la pegatina “detrás” del recipiente esta toma formas invertidas y en otras en su original posición.

Se distorsiona la imagen dejando ver este fenómeno”

Fuente: Estudiante Numero 10

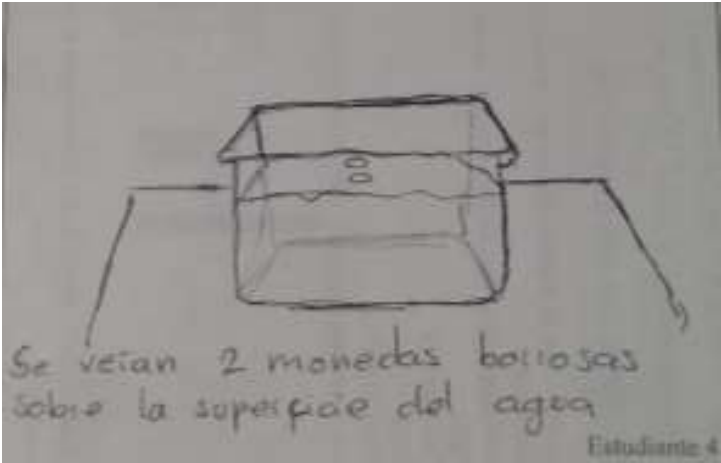
Tabla 3 Análisis sobre las representaciones – la transparencia (elaboración propia)

Los estudiantes a realizaron una descripción grafica de como la imagen cambio al cambiar de sustancia siendo estas siendo translucidas. Gracias a las representaciones podemos concluir, que los estudiantes (A), (B) y (C) concluyen que la imagen puede distorsionarse, aumentar su tamaño según se cambien las sustancias.

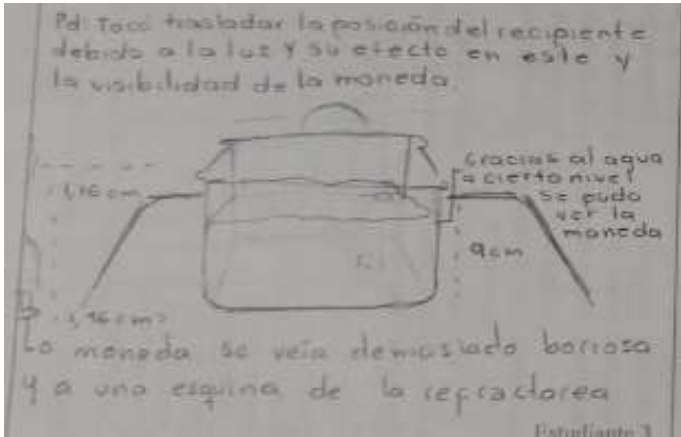
Los estudiantes (A), (B) y (C) llegan a la misma conclusión; a pesar de que las sustancias sean translucidas estas generan diferentes efectos al momento de observar la imagen

5.1.3 Lo que la luz nos permite ver

En la tercera sesión se les presento una actividad¹⁰ donde se hace un acercamiento al cambio de dirección de la luz, para esta guía se organizan grupos de 3 – 4 estudiantes donde estos debían llenar una tabla de datos, llenar los espacios indicados con la distancia a la que se encontraban y en qué momento al subir el nivel del agua podían ver el objeto oculto, en la guía se pedía llenar la tabla, realizar un dibujo donde representaran lo que observan y por último una explicación con sus palabras.

Representación	Análisis
 <p>Representación tercera sesión (A) “Se veían 2 monedas borrosas sobre la superficie” Fuente: Estudiante Numero 7</p>	<p>En esta explicación podemos notar que la estudiante pudo percibir una doble refracción, al mismo tiempo reconoce en el dibujo que la imagen de la moneda se encuentra visible en la superficie</p>

¹⁰ Ver anexo actividad # 3 Lo que la luz nos permite ver



Representación tercera sesión (B)

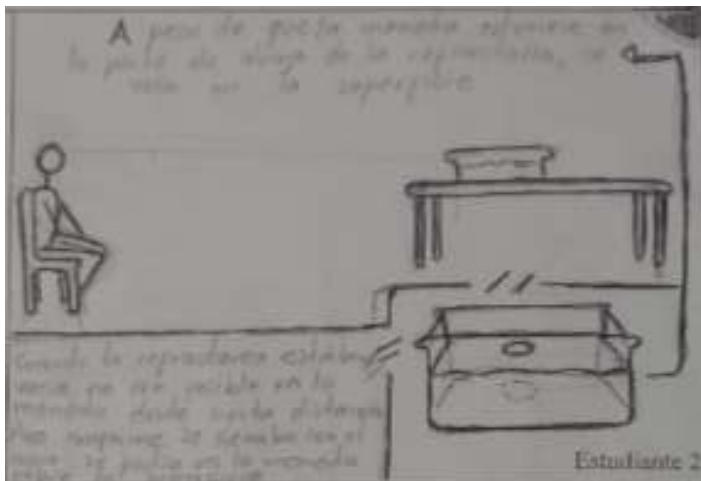
“Pd: toco trasladar la posición del recipiente debido a la luz y su efecto en este y la visibilidad de la moneda

Gracias a cierto nivel del agua se pudo ver la moneda

La moneda se veía borrosa y a una esquina de la refractaria”

Fuente: Estudiante Numero 12

En este ejercicio el estudiante reconoce que si antes la moneda no se podía ver al aumentar el agua en la refractaria el subir el nivel del agua la moneda se hace visible



Representación tercera sesión (C)

“A pesar de que la moneda estuviese en la parte de abajo de la refractaria, se veía en la superficie.

Cuando estaba vacia no era posible ver la moneda desde cierta distancia, pero conforme se llenaba con el agua se podría ver la moneda sobre la superficie”

Fuente: Estudiante Numero 4

En este ejercicio se puede identificar el estudiante identifica que al momento de no usar una sustancia translúcida no se puede percibir el objeto. Pero al momento de ir vertiendo la sustancia la moneda es visible ante sus ojos, pero está en la parte superior

Tabla 4 Análisis sobre las representaciones – Lo que la luz nos permite ver (elaboración propia)

Los estudiantes realizaron una reflexión sobre lo observado, realizando un esquema donde estos plasmaban lo que pudieron observar.

Gracias a las representaciones podemos concluir que los estudiantes (A), (B) y (C) concluye que, un objeto que no es visible si se les somete a unas condiciones como es en el caso de la actividad, un líquido translúcido podrá mostrar un objeto que no podemos percibir a simple vista.

Los estudiantes (A), (B) y (C) concluye que al momento de aumentar el nivel de la sustancia el objeto que se encuentra en la parte inferior de la refractaria se hace visible en la parte superior, la imagen al compararla con la posición original de la moneda está presenta un desplazamiento.

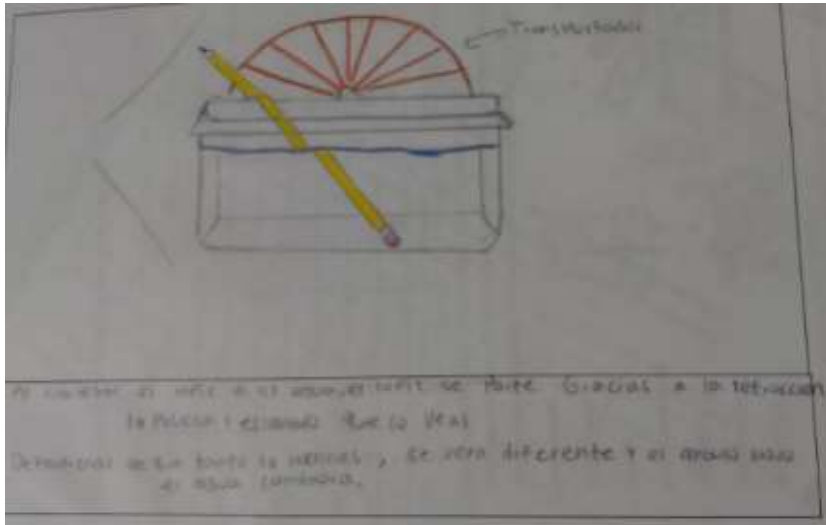
5.1.4 El desplazamiento del lápiz

En la cuarta sesión se presenta una actividad¹¹ donde se deberán conformar grupos de 3 – 4 estudiantes donde debían llenar una tabla de datos, donde deberán sumergir un lápiz en un recipiente, tendrán que mover el lápiz a un ángulo establecido y medir que ángulo tiene el lápiz sumergido, en la guía se pedía llenar la tabla, realizar un dibujo donde representaran lo que observan y por último una explicación con sus palabras.

¹¹ Ver anexo actividad # 4 El desplazamiento del lápiz

Representación

Análisis



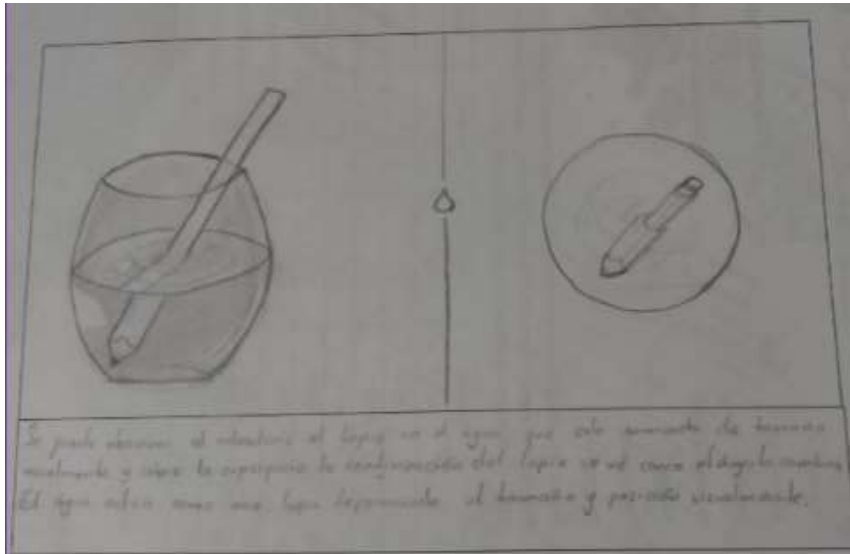
En esta actividad el estudiante reconoce el fenómeno de la refracción, y puede lograr a través de la comparación de los ángulos registrado.

Representación tercera sesión (A)

“Al ingresar el lápiz en el agua, se parte gracias a la refracción, la posición y el ángulo que lo veas

Dependiendo de que tanto lo inclines, se verá diferente y el ángulo bajo el agua cambiará”

Fuente: Estudiante Numero 18

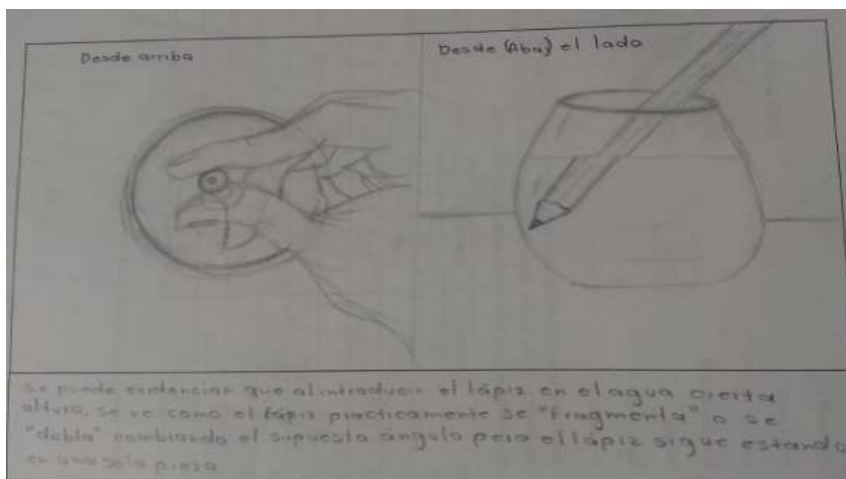


Representación tercera sesión (B)

“Se puede observar al introducir el lápiz en el agua que este aumenta de tamaño visualmente y sobre la superficie la continuación del lápiz se ve como el ángulo cambia. El agua actúa como una lupa deformando el tamaño y posición visualmente”

Fuente: Estudiante Numero 4

Se puede identificar que el estudiante percibe un cambio de tamaño al momento de introducir el lápiz dentro de la sustancia y al mismo tiempo identifica que al observar el lápiz este tiene una desviación, no lo relaciona con el tamaño si no con un Angulo de inclinación



Representación tercera sesión (C)

“Se puede evidenciar que al introducir el lápiz en agua cierta altura, se ve como el lápiz prácticamente se “fragmenta” o se “dobla” cambiando el supuesto ángulo, pero el lápiz sigue estando en una sola pieza”

Fuente: Estudiante Numero 18

El estudiante en esta actividad logra a través del experimento Evidenciar como el objeto puede cambiar de tamaño y le da la apariencia de que se quiebra, donde este fenómeno se da por la sustancia al interactuar con la luz

Tabla 5 Análisis sobre las representaciones – El desplazamiento del lápiz (elaboración propia)

Los estudiantes a realizaron una descripción grafica de como la imagen cambio al cambiar de sustancia siendo estas siendo translucidas. Gracias a las representaciones podemos concluir que los estudiantes (A), (B) y (C) concluyen que la imagen puede distorsionarse, aumentar su tamaño según se cambien las sustancias.

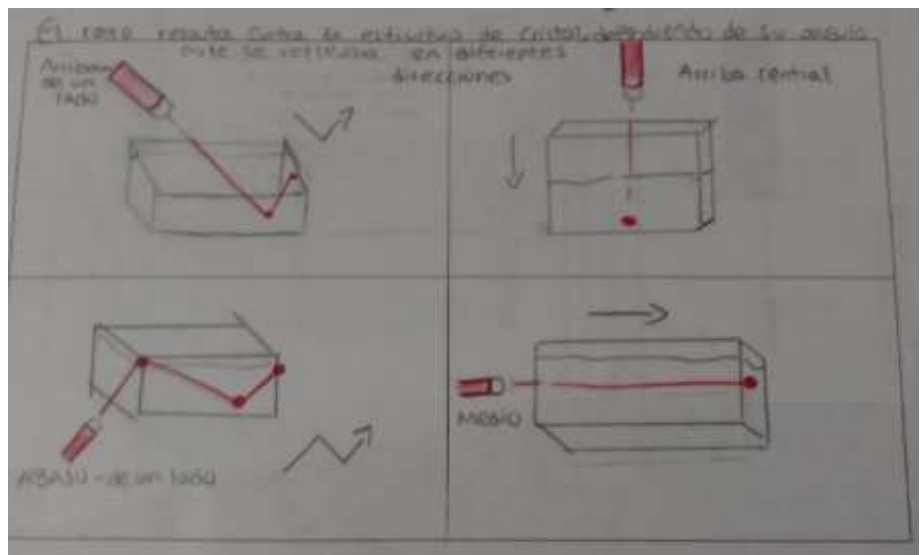
Los estudiantes (A), (B) y (C) llegan a la misma conclusión; a pesar de que las sustancias sean translucidas estas generan diferentes efectos al momento de observar la imagen

5.1.5 Un rayo de luz

En la quitan sesión se presenta una actividad¹² para que los estudiantes pudieran ver un haz de luz pasar atreves del agua, se les pidió usar diferentes angulos y apuntaran hacia recipiente, en la guía se pedía realizar un dibujo por cada posición con la que se disparaba al recipiente con agua, donde representaran lo que observan y por último una explicación con sus palabras.

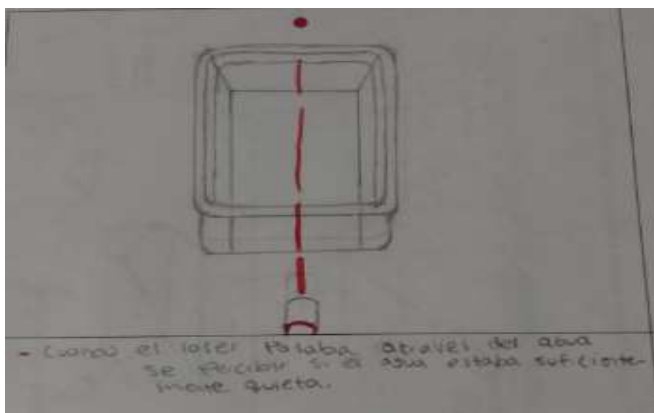
Representación	Análisis
----------------	----------

¹² Ver anexo actividad # 5 Un rayo de luz



Representación tercera sesión (A)

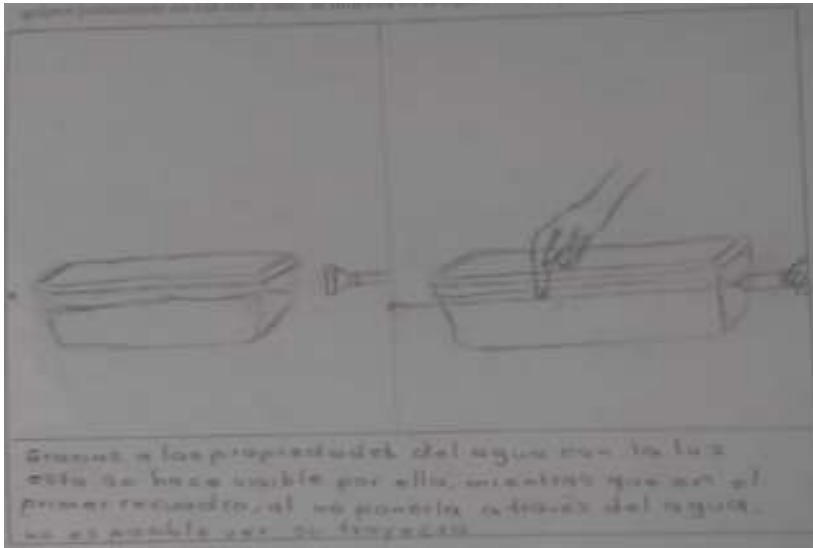
“Cuando el láser pasaba a través del agua se percibe si el agua superficialmente quieta



El rayo rebota contra la estructura del cristal dependiendo del Angulo este se refractará en diferentes direcciones”

Fuente: Estudiante Numero 18

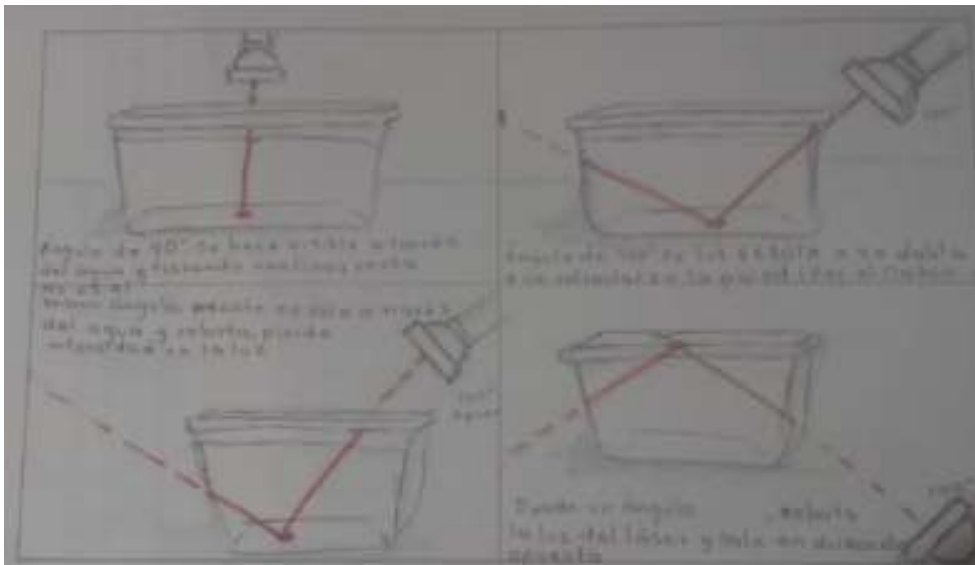
El estudiante destaca que la luz tiene una interacción con el recipiente, donde el ángulo interviene, y este le permite ver cómo podría existir un movimiento si la sustancia dentro del recipiente presentara un movimiento. En este caso, la luz ya no se desplazaría en línea recta, sino que tendría un movimiento aparente sinusoidal



Representación tercera sesión (B)

“Gracias a las propiedades del agua con la luz esta se hace visible por ella, mientras que, en el primer recuadro, al no ponerla en el agua no es posible ver su trayectoria”

El estudiante resalta la propiedad del agua que le permite observar la trayectoria de la luz, donde destaca que, al apuntar el láser a 90 grados, esta es visible dentro del agua, pero es imposible percibir su trayectoria fuera del recipiente. Agrega que al llegar al borde del agua o del recipiente, la luz cambia su dirección.



Angulo de 90°; se hace visible a través del agua, no es posible ver su trayectoria

Angulo de 90° se hace visible a través del agua y trazando una línea recta

Angulo 130° la luz rebota o se dobla y se refracta, en la pared (por el frasco y el agua)

150° no es el mismo Angulo, este es solo a través del agua, pierde intensidad en la luz

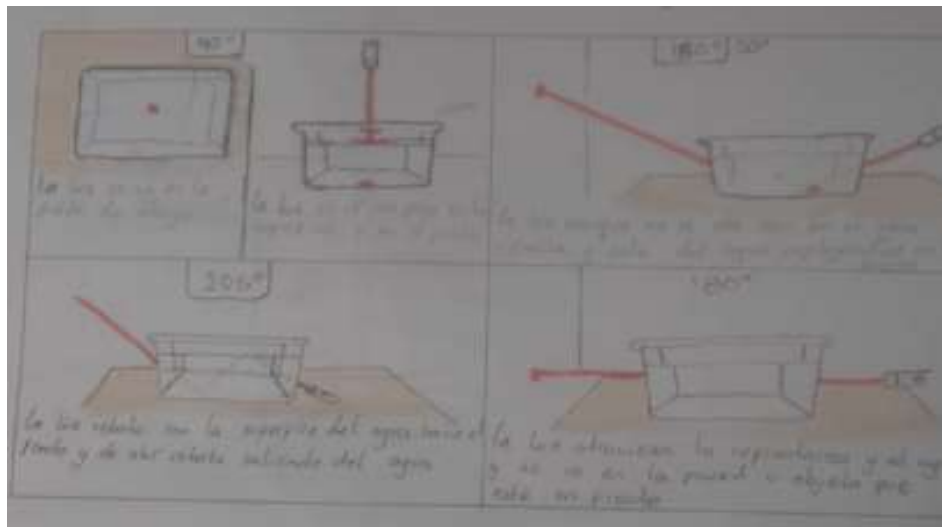
desde un ángulo 290° rebota la luz del láser y sale en dirección opuesta”

Fuente: Estudiante Numero 12

representación tercera sesión (C)



“Al apuntar el láser en la refractaria con agua, la luz desaparecía hasta que algo se pusiera en frente con un objeto o burbujas. 90° la luz se ve en la parte de abajo, la luz se ve un poco en la superficie y en el fondo



150° la luz, aunque no se vea casi en el agua rebota y sale del agua reflejándose en la pared

205° la luz rebota con la superficie del agua hacia el fondo y de ahí rebota saliendo del agua

180° la luz atraviesa el agua y se ve en la pared u objeto que este en frente”

Fuente: Estudiante Numero 4

El estudiante resalta, al igual que el anterior, las propiedades del agua que le permiten ver la trayectoria de la luz y cómo esto le permite observar cómo la luz cambia su dirección al momento en que la luz quiere cambiar de medio. Logrando así diferentes tipos de refracción, dependiendo del ángulo con el cual se apunte con el láser.

Tabla 6 Análisis sobre las representaciones – Un rayo de luz (elaboración propia)

Los estudiantes realizaron una descripción gráfica de cómo la luz cambia de dirección cuando dejamos pasar un haz de luz por un recipiente con una sustancia translúcida. Gracias a las representaciones, podemos concluir que los estudiantes (A), (B) y (C) destacan la importancia de la sustancia al momento de ver la trayectoria de la luz. El estudiante (B) y (C) hacen una reflexión sobre la influencia del agua para que sea posible la observación de la trayectoria, mientras que el estudiante (A) realiza más un análisis en el fenómeno óptico. El estudiante (B) y (C) buscan más la relación entre el medio y la luz, y cómo es su desplazamiento dentro del recipiente.

A continuación, se mostrarán las conclusiones a las que se llegó al momento de realizar cada una de las actividades:

Para la primera actividad, los estudiantes tienen concepciones sobre la luz que se alejan un poco de las definiciones de los textos; estos realizan bastantes relaciones con sus saberes previos, de tal manera que logran estructurar una idea para darle una respuesta a lo que entienden por luz.

Para la segunda actividad, se puede evidenciar que los estudiantes no se habían percatado de forma explícita de los medios transparentes y cómo esto afectaba las imágenes que se proporcionaron. Para los estudiantes, fue una sorpresa ver cómo estas imágenes se deformaron. Esto llevó a que los estudiantes pudieran comprender que, a pesar de que los líquidos fueran transparentes, no significaba que siempre se verían igual, y que existía algo que distorsionaba la imagen

En la tercera actividad, los estudiantes relacionaron la segunda actividad con el no poder ver el objeto por la interacción con la luz. Los estudiantes llegaron a la conclusión de que la luz se veía afectada por el medio, generando que el objeto no pudiera ser visibilizado.

En la cuarta actividad, los estudiantes introdujeron un lápiz en una sustancia "agua" y compararon cómo el cambio de medio generaba que el lápiz dentro del agua se viera más grande de lo que se veía por fuera del agua. Esto los llevó a concluir que el medio tenía un efecto en el cómo se percibían los objetos, debido a que en esta ocasión podían ver la diferencia al ver el objeto en diferentes entornos

Para la quinta y última actividad, los estudiantes utilizaron un puntero y lo apuntaron hacia un recipiente con agua, donde ellos pudieron evidenciar una línea de color rojo, a lo que

algunos denominaron rayo de luz. Debido a que en esta ocasión podían evidenciar un haz de luz, los estudiantes experimentaron usando diferentes ángulos de incidencia y podían percibir cómo la luz, al entrar en contacto con el agua, cambiaba de dirección y cómo la luz podía cambiar de dirección cuando se dejaba incidir en diferentes ángulos.

5.2 Análisis y Reflexiones Históricas de las Guías Experimentales

En esta sección se presentará un análisis de las guías trabajadas en cada una de las actividades experimentales desde una perspectiva histórica. Se buscará ubicar cómo los estudiantes van haciendo reflexiones sobre lo que observan y cómo cada una de sus nociones se va acercando al fenómeno de la refracción de la luz en sus diferentes teorías.

5.2.1 Lo que entendemos por la luz

Guía experimental	Conjetura del estudiante	Observación del profesor	Referente histórico
Guía # 1	Estudiante 18: Sugiere que la luz es una energía que proviene del sol en su estado más puro la cual se va expandiendo	El estudiante reconoce que la luz se puede expandir de manera progresiva según su dibujo	Esta reflexión puede indicar un acercamiento a la teoría de Huygens, sobre la propagación de la luz
Guía # 1	Estudiante 17: sugiere que la luz es provocada por medios naturales y artificiales que pueden brillar en la noche	El estudiante hace una mención a como la luz se expande y va reduciendo la oscuridad	Esta reflexión indica una visión sobre la teoría de Huygens y la propagación
Guía # 1	Estudiante 10: la luz no es visible es la relación de la luz y el objeto	En el dibujo el estudiante plasma lo que es una acción de un objeto con otro	Esta reflexión permite ver que el estudiante esta más relacionada con la teoría corpuscular de Newton
Guía # 1	Estudiante 14: La luz es una energía la cual refleja a través de objetos, esta puede ser usada para impulsar algún objeto o mecanismo	En el dibujo el estudiante plasma cómo ve el fenómeno de la luz relacionándolo con la dispersión de la luz	El referente a la que el estudiante se acerca más es la teoría de Newton

Tabla 7 Análisis histórico de Lo que entendemos por la luz (elaboración propia)

Haciendo un Análisis de las guías experimentales de la primera sesión podemos dar cuenta que las conclusiones de los estudiantes sobre la luz se alinean con las teorías de Huygens y Newton. Los estudiantes 17 y 18 reflejan su comprensión de esta teoría explicando el fenómeno de forma de expansión como lo siguiere Huygens en el comportamiento ondulatoria de la luz. por parte de los estudiantes 10 y 14 estos muestran un entendimiento más corpuscular debido a la interacción de la luz con los objetos. Esta actividad permitió que los estudiantes tuvieran un acercamiento intuitivo hacia las teorías de la luz y dar una explicación de como entienden la luz

5.2.2 La transparencia

Guía experimental	Conjetura del estudiante	Observación del profesor	Referente histórico
Guía # 2	Estudiante # 20: No se podía ver bien la ilustración estaba más grande y distorsionada	El estudiante plasmó como la imagen se distorsiona	Para esta experiencia el estudiante tiene un acercamiento con la teoría de Huygens planteaba que la luz al pasar por un medio esta podía ser perturbada
Guía # 2	Estudiante #18: El estudiante después de realizar diferentes comparaciones y llega a que los diferentes líquidos modifican la imagen	El estudiante realiza un Análisis sobre los diferentes medios y como estos interactúan con la luz	el estudiante toma una inclinación por Huygens al comentar que las diferentes sustancias modifican la visibilidad, conclusión a la que llego Huygens y la velocidad de la luz en diferentes medios
Guía # 2	Estudiante #10 El estudiante evidencia como la figura se distorsiona y como cambia de dirección la imagen que estaba viendo	En este caso el estudiante puede reconocer un acontecimiento donde la figura cambia de dirección, pero no la define.	En esta experiencia podemos concluir que el estudiante tiene un acercamiento a la ley de Snell, pero este lo ve desde la teoría de Newton

Tabla 8 Análisis histórico la transparencia (elaboración propia)

Los estudiantes en esta experiencia muestran Análís variados en el fenómeno de la distorsión de imágenes que se van a lineando poco a poco con la teoría de Huygens y Newton, esto nos puede llevar a concluir que con esta segunda experiencia los estudiantes van teniendo un desarrollo sobre el fenómeno de la refracción de la luz

5.2.3 Lo que la luz nos permite ver

Guía experimental	Conjetura del estudiante	Observación del profesor	Referente histórico
Guía # 3	Estudiante #7 Se veían 2 monedas borrosas sobre la superficie	El estudiante pudo dar cuenta del fenómeno de la refracción, después de que no podía ver la imagen y el recipiente fue llenado con agua, pudo ver como esta aprecia	En este caso podemos evidenciar como el estudiante trata de dar respuestas a lo observado teniendo un acercamiento a la ley de Snell e interpretando la teoría de Newton y la interacción
Guía # 3	Estudiante #12 Gracias a cierto nivel del agua se pudo ver la moneda La moneda se veía borrosa y a una esquina de la refractaria	Los estudiantes vieron la relación que tenía que ver el líquido para que se pudiera ver la moneda	En este caso los estudiantes pudieron reconocer el fenómeno de la refracción, lo tratan de explicar como una que la moneda aparece en un lugar diferente esto tiene un acercamiento a la teoría de Snell y Newton
Guía # 3	Estudiante # 4 El agua provoca que se pueda ver la moneda a medida que vierte agua	Los estudiantes pueden ver como el cambio de medio logra hacer una interacción con el objeto	En esta experiencia podemos notar el análisis por parte de los estudiantes, y los medios translucidos y como este tiene un claro efecto en el fenómeno de la refracción. Esto nos da una mirada desde Huygens, combinando los corpúsculos y los medios

Tabla 9 Análisis histórico Lo que la luz nos permite ver (elaboración propia)

Las conclusiones de los estudiantes muestran un progreso en la comprensión del fenómeno de la refracción de la luz, desde una perspectiva donde incorporan tanto como la teoría de

Newton y Huygens, donde buscan dar respuesta a lo que observan mediante lo que han desarrollado en las experiencias anteriores no separando las teorías si no complementándolas

5.2.4 El desplazamiento del lápiz

Guía experimental	Conjetura del estudiante	Observación del profesor	Referente histórico
Guía # 4	Estudiante #18 Para esta experiencia el ya habla del fenómeno de la refracción y como al ingresar el lápiz en una sustancia este al verlo presencia como el lápiz se dobla y aumenta su tamaño, el concluye que se puede evidenciar que es posible medir un Angulo	En este punto los estudiantes ya tienen una mayor comprensión del fenómeno, para este momento tratan de buscar una relación del ángulo del lápiz cuando entra	Para este punto los estudiantes buscan usar mediante la lógica, la geometría conocida lo cual refuerza la postura geométrica de Newton y Huygens, donde pueden buscar los ángulos a través de la geometría y evidencia como el tamaño del lápiz aumenta, viendo una expansión como lo plantea Huygens
Guía # 4	Estudiante #4 al introducir el lápiz este cambia la dirección esperada y como aumenta su tamaño al introducirlo al agua, El agua actúa como una lupa deformando el tamaño y posición visualmente	El estudiante puede notar que el líquido donde ingresa el lápiz deforma la dirección y aumenta el tamaño del mismo cuando lo observa, precisando en el dibujo que cuando se ve desde la parte superior se puede evidenciar un aumento de tamaño.	El estudiante complementa los aprendidos del cambio de dirección y el aumento del tamaño de los objetos al cambiarlo de medio traslucido, complementando las teorías de Newton y Huygens
Guía # 4	Estudiante # 18 el estudiante evidencia como el lápiz se dobla, donde el lápiz cambia el ángulo con el que se ve, pero el lápiz sigue estando en una sola pieza	Puede ver que parece una ilusión óptica donde al sacar el lápiz este se encuentra en su estado original, pero al introducirlo al líquido este cambia su tamaño y dirección	El estudiante al igual que sus compañeros busca asociar la geometría y el aumento del tamaño del lápiz cuando ingresa al líquido, donde busca complementar la geometría con la expansión del objeto lo cual plantea Huygens

Tabla 10 Análisis histórico El desplazamiento del lápiz (elaboración propia)

Podemos evidenciar como los estudiantes van mostrando un progreso, relacionando la geometría con la refracción y como estas relaciones refuerzan las teorías de Newton y Huygens. esto nos va mostrando un avance notable en la comprensión de las teorías de estos dos científicos desde un enfoque fenomenológico

5.2.5 Un rayo de luz

Guía experimental	Conjetura del estudiante	Observación del profesor	Referente histórico
Guía # 5	Estudiante #18 el estudiante puede ver un rayo de luz al estar quieta el agua pero que este se refractara dependiendo el ángulo con el que el rayo entre	El estudiante evidencia el haz de luz que no es visible en el aire pero que en otro medio si le es posible verlo, menciona que la dirección de la luz cambiará dependiendo como este rayo entre, y que dependiendo de que la sustancia se encuentre en movimiento podrá ver aparentemente un movimiento sinusoidal	En este caso podemos ver como el estudiante logra relacionar la teoría de Newton con rayos de luz y que la luz es visible debido al medio que lo ralentiza lo cual lo planteo Huygens, y como se puede analizar geoméricamente, también manifiesta que es posible que la luz no viaje en línea recta
Guía # 5	Estudiante #12 el estudiante menciona que gracias al agua es posible evidenciar la luz al contrario de que estuviera vacía, menciona como la luz interactúa de diferentes maneras dependiendo el ángulo con el que se apunte, donde se podría predecir en qué dirección podría salir	Se hace mención como el agua es un factor determinante para poder ver el rayo de luz, dónde se insinúa que la velocidad debería ser menor para que se puede ver. También ya habla sobre cómo se podría predecir como saldría la luz usando geometría	El estudiante logra hacer reflexiones sobre como la luz interactúa con el agua y como este tiene un efecto que lo ralentiza y logra que sea visible, llegando así a complementar las teorías de Newton y Huygens
Guía # 5	Estudiante #4 El estudiante resalta las propiedades del agua y como este ralentiza la	El estudiante muestra una mejor comprensión con la refracción y busca darle propiedades al agua para	Para este punto el estudiante ya se familiariza con la geometría y relaciona la teoría de

	luz para que esta pueda ser observada, menciona también la refracción de la luz con diferentes angulos	asi poder explicar el por qué se ralentiza la luz y permite ser visible	Newton y Huygens sobre la refracción, y busca darles respuesta a sus preguntas propuestas
--	--	---	---

Tabla 11 Análisis histórico un rayo de luz (elaboración propia)

Los estudiantes muestran una mejor comprensión de la refracción de la luz, relacionando correctamente la geometría con la teoría de newton y Huygens, sus análisis muestran una comprensión más profunda de los procesos de la observación, esto nos da evidencia de un avance significativo en su comprensión sobre el fenómeno de la refracción de la luz y aplican de manera efectiva las teorías de newton y Huygens para explicar sus observaciones

A través de las guías experimentales se pudo evidenciar un avance significativo en la comprensión de la refracción de la luz por parte de los estudiantes. A medida que avanzan las actividades, los estudiantes muestran un avance en las capacidades para relacionar sus observaciones con las teorías de Newton y Huygens.

Los estudiantes inician con unas ideas o nociones básicas sobre el fenómeno de la luz y su propagación, lo cual muestra una comprensión intuitiva de la teoría ondulatoria de Huygens y la corpuscular de Newton. A medida que realizan una nueva actividad experimental, los estudiantes avanzan en una comprensión más avanzada y detallada de cómo el fenómeno de la luz interactúa de diferentes maneras y cómo estos fenómenos pueden ser explicados geoméricamente a través del principio de la refracción. Los estudiantes complementan las teorías de Newton y Huygens y muestran un mejor análisis; no solo reconocen los efectos de la luz cambiando de medio, sino que también buscan relacionarlo con la geometría. Esto demuestra una capacidad crítica y reflexiva que les permite elaborar explicaciones más precisas.

Esto prueba que las guías experimentales proporcionan una estructura eficiente para que los estudiantes desarrollen y profundicen su comprensión sobre la refracción de la luz.

6. Conclusiones

A través de la realización de este trabajo surgen algunas reflexiones alrededor de varios ejes centrales, tales como: El papel de la historia de la ciencia para la enseñanza de la física, El uso de la perspectiva fenomenológica en las clases de física, y la construcción de reflexiones por parte de los estudiantes.

Respecto al papel de la historia de la ciencia para la enseñanza de la física, se pudo encontrar algunas particularidades en la teoría ondulatoria de Huygens y de Newton, donde se hace evidente que Huygens nunca dio a conocer que la luz fuera una onda, como hoy día entendemos las ondas; él consideraba la luz corpuscular y que esta se comportaba de forma ondulatoria. Este problema está presente en libros, y es importante hacer la distinción en que se comporta como onda, pero no es una onda. Este tema pareciera una minucia, pero termina siendo un error histórico en textos académicos de colegio.

También es importante hacer la aclaración de que Newton no realizó contribuciones al fenómeno de la refracción de la luz debido a que no quería comprometer su tratado sobre la óptica. Es comprensible, ya que si aceptara realizar una reconstrucción de su manuscrito podría traerle problemas grandísimos para explicar los fenómenos. Se puede intuir que optó por aceptar otra forma de interpretar la luz, donde no tendría que involucrar su tratado, debido a que lo expuesto por Huygens no lo podría refutar.

Al analizar la historia de la ciencia a través del trabajo de estos dos científicos, se hace visible como la ciencia es un constructo cultural y por ende una actividad humana, también es importante resaltar que esta revisión permitió generar criterios para la construcción de las actividades experimentales propuestas para llevar al aula.

Gracias a este recorrido histórico, se fortalece el pensar que los estudiantes construyan sus ideas sobre el comportamiento de la luz a partir de la experiencia, donde podrán observar, dar hipótesis, construir una teoría y buscar dar una respuesta a lo que se observa.

Respecto a la perspectiva fenomenológica, se puede notar que las actividades presentadas a los estudiantes fueron de suma importancia, ya que les permitió relacionar sus conocimientos previos con las actividades entregadas. Por medio del fenómeno, se fueron consolidando conceptos, lo que les ayudó a tener una mayor comprensión sobre lo que sucede con la luz cuando cambia de medio, así como cuáles son las implicaciones y qué puede resultar de esta interacción. Esto se logró mediante una construcción experimental, donde fueron comparando poco a poco sus resultados e hipótesis, y construyendo el concepto de refracción de la luz.

Además, cabe resaltar que el abordar un trabajo en el aula desde una perspectiva fenomenológica es un ejercicio bastante difícil ya que, al no recurrir directamente a explicaciones teóricas, genera que las actividades que se diseñen estén centradas en la construcción de fenomenologías para los estudiantes permitiendo que ellos logren desarrollar algunas construcciones frente a lo que observan y que estas construcciones tengan significado al momento de querer explicar lo que están viendo.

En las guías experimentales con las que se trabajó con los estudiantes se puede evidenciar un avance significativo en la comprensión en el fenómeno de la refracción de la luz por parte de los estudiantes, a medida que los estudiantes van realizando las actividades sus nuevas observaciones se van complementando con lo analizado, y esto se van relacionando con las teorías de Newton y Huygens logrando una comprensión del fenómeno más desarrollada, esto prueba que la implementación de las guías experimentales con un enfoque fenomenológico promueve y profundiza la comprensión y el entendimiento del fenómeno de la refracción de la luz.

Bibliografía

- Aldana, B. m., & Hernandez, S. L. (2020). *Algunas explicaciones sobre la reflexión y refracción de la luz desde las experiencias de las estudiantes de grado undécimo*. Bogota.
- Aldana, B. m., & Hernandez, S. L. (2021). *Explicaciones sobre el color, la luz y la oscuridad: propuesta de aula a partir de una perspectiva histórica y fenomenológica*. Bogota.
- Armstrong, T. (2000). *Multiple Intelligences in the Classroom* (2nd edition ed.). (R. Diéguez, Trad.) Alexandria,: ASCD.
- Ayala, M. M. (2006). *Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos*. Bogota .
- Ayala, M. M., Malagon, J., & Guerrero, G. (2006). *La enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural* . Bogota .
- Bautista, G. (20 de mayo de 2022). La investigación. *Universidad pedagógica nacional* . Bogotá D.C.
- Blanco Laserna , D. (2015). Luz y ondas. Huygens: la luz como propagación ondulatoria. *Arbor*, 775.
- Campohermoso Rodríguez, O. F.-S. (2023). Los Bartholinos familia de anatomistas. *Cuadernos Hospital de Clínicas*, 94-103.
- Dijksterhuis, F. (1999). *Lenses and Waves: Christiaan Huygens and the mathematical science of Optics in the seventeenth century*(proefschrift, (universiteit twente). Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.
- Echarri, D. M. (2019). Fotografía que muestra la doble refracción en un cristal de calcita. *Isotropic anisotropic interfaces: an algorithm to characterize reflection and refraction*. Buenos Aires. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Fotografia-que-muestra-la-doble-refraccion-en-un-cristal-de-calcita-Gentileza-de-la-Dra_fig1_337307453
- Granes , J. (1988). Newton y el empirismo . BOGOTA: Universidad nacional de Colombia .
- Huygens, C. (1916). Dioptrique. En: Kor teweg, D. J. (ed.). *Oeuvres complètes* (tome XIII). La Haya: Martinus Nijhoff.
- Huygens, C. (1937). Mécanique théorique 1666-1695. En J. Vollgraff (Ed.). *Oeuvres complètes* (tome XIX).
- Kant, E. (2005). La estética trascendental . En *Kritik der reinen Vernunft* (P. Ribas, Trad., pág. 553). Editorial Losada.
- M. Arca, P. P. (1990). Enseñar ciencia. En P. P. M. Arca, *Enseñar Ciencia* (j. c. Vitale, Trad., pág. 207). Barcelona-Buenos Aires- México: Paidós Iberica, S.A.,.
- Malagon, F., Ayala, M., & Sandoval, S. (2013). *Construcción de fenomenologías y procesos de formalización: un sentido para la enseñanza de las ciencias*. Bogota: Universidad Pedagógica Nacional.

- Malagon, F., Ayala, M., & Sandoval, S. (2013). *La Construcción de fenomenologías y procesos de formalización: un sentido para la enseñanza de las ciencias*. Bogota: Universidad Pedagógica Nacional.
- MEN. (2016). Derechos basicos de aprendizaje. *volumen 1*. bogota. Obtenido de https://colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files_public/2022-06/DBA_C.Naturales-min.pdf
- Newton. (1672). Una carta del Sr. Isaac Newton, profesor de matemáticas en la Universidad de Cambridge; Contiene su nueva teoría sobre la luz y los colores: enviada por el autor a la editorial desde Cambridge, febr. 6. 1671/72; con el fin de ser comunicado a la R. Socied. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.
- Newton, I. (2005). *Philosophy of nature*. Mineola.
- Padilla Sosa, H. H. (2017). Orígenes de la luz y la óptica. *Dirección de Comunicación de la Ciencia*.
- Romero, A., & Aguilar, y. (2013). *La experimentación y el desarrollo del pensamiento*. medellin : universidad de antioquia .
- Rosenfeld, V., & Caviglia, M. (2018). : Refracción de la luz para alumnos de nivel secundario: Enseñando a partir de experimentos en el aula.
- Rozo samer, A. G. (2018). *Posibilidades creativas de las grafías electromagnéticas*. Global Knowledge Academics.
- Sanchez Serrano, a. L. (2013). *El Comportamiento de la Luz: Diseño y Evaluacion de una Secuencia Basada como aprendizaje de investigacion*. Universidad pedagogica. Obtenido de <http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/2068/TE-16002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Solaz-Portolès, J. J. (agosto de 1997). El espacio vacío y sus implicaciones en la historia de la ciencia . València - España, Magdalena Moreno-Cabo.
- Stannard, J., & Cohen , B. (1958). Isaac Newton's papers & letters on natural philosophy and related documents. Cambridge: Harvard University Press.
- Vicente-Burgoa, L. (2009). *Límites del conocimiento metafísico, según Kant y Tomás de Aquino*. burgoa : tópicos, Revista De Filosofía.
- Young, & freedman. (2005). *unidad 3 Optica grometrica*.



Nombre: _____ curso: _____ institución: _____

Anexos

Actividades Experimentales

Actividad # 1

Realice un dibujo donde exprese como crees que es la luz, al final realice una breve explicación sobre lo que dibujo

Nombre: _____ curso: _____ institución: _____



La transparencia

Actividad # 2

la actividad se deberá realizar en grupos de 3-4 estudiantes

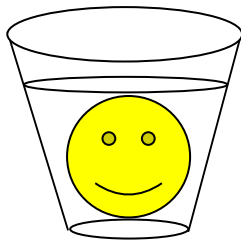
Materiales

3 recipientes de cristal

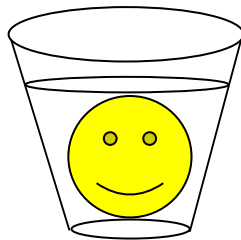
Agua, aceite vegetal y glicerina

Procedimiento

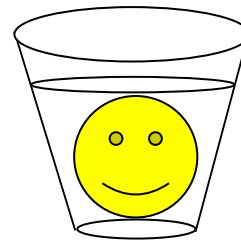
Vierte en tres recipientes las diferentes mezclas y coloca una imagen que sean iguales detrás de los recipientes como se muestra a continuación.



Agua



Agua con azúcar



Aceite

A continuación, usando una escala de 1-100 determine cuál de las tres figuras tiene mejor visibilidad, y complete la siguiente tabla

Sustancia	Estudiante 1	Estudiante 2	Estudiante 3	Estudiante 4
Agua				
Agua con azúcar				
Aceite vegetal				

Nombre: _____ curso: _____ institución: _____



En este espacio encontraras dos cuadros denotados con la letra A y B|

En A deberás dibujar como crees que la luz pasa a través del recipiente, describe con tus palabras lo en dos párrafos al final del cuadro

B deberás dibujar que fue lo que viste, describe con tus palabras lo en dos párrafos al final del cuadro

A)

B)



nombre: _____ curso: _____ institución: _____

Actividad # 3

Lo que la luz nos permite ver

La actividad se deberá realizar de 3-4 estudiantes por grupo

Materiales:

Recipiente de cristal preferiblemente rectangular

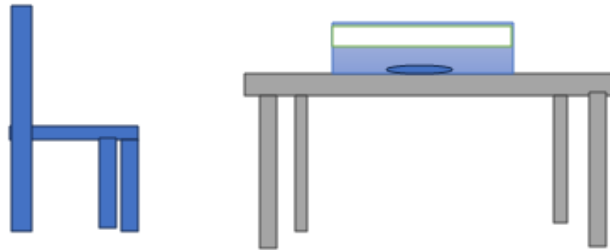
Agua

Una moneda

Regla

Procedimiento

Los estudiantes deberán realizar el siguiente montaje como lo indica la imagen



: deberá medir desde donde se encuentra el objeto hasta dónde se encuentra el compañero

Estudiante 2: deberá colocar la moneda debajo del recipiente.

Estudiante 1: deberá tomar asiento y estar erguido a dos metros de distancia del recipiente

Estudiante 2: deberá ir vertiendo agua hasta que el estudiante 2 pueda visualizar la moneda

Estudiante 1: deberá estar en una posición de quietud y dar aviso cuando pueda ver alguna anomalía en el recipiente que debe estar observando.

Estudiante 2: En el momento que el estudiante del aviso de que puede ver la moneda

deberá con ayuda de la regla medir la cantidad de agua

En este ejercicio se deberá repetir con los integrantes de cada grupo, a continuación, deberán completar la siguiente tabla

	Estudiante 1	Estudiante 2	Estudiante 3	Estudiante 4
Distancia del observador				
Altura a la que se encuentra el observador				
Altura del agua				
Angulo con el que se puede ver el objeto				

Realicen un dibujo de lo que se observó en la siguiente cuadra y de una descripción



nombre: _____ curso: _____ institución: _____

Estudiante 1	Estudiante 2
Estudiante 3	Estudiante 4

Estudiante 1

Estudiante 2

Estudiante 3

Estudiante 4



nombre: _____ curso: _____ institución: _____

Actividad # 4
Grupos de 3-4

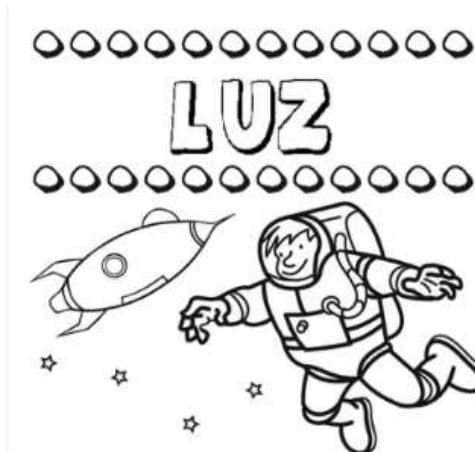
Materiales

Recipiente de cristal

Un lápiz

Transportador

Procedimiento



Deberás llenar el recipiente con agua hasta determinada altura introduce el lápiz dentro del recipiente como muestra la figura, deberás mover el lápiz según los ángulos mostrados en la tabla. Deberás completar la tabla con los ángulos que puedas ver el lápiz

Angulo	Estudiante 1	Estudiante 2	Estudiante 3	Estudiante 4
30				
45				
60				
75				
80				
90				
105				
120				
135				

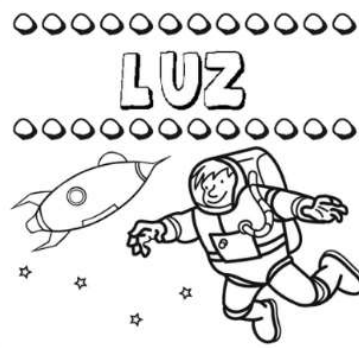
Deberás dibujar y dar una explicación a, lo que observaste



nombre: _____ curso: _____ institución: _____



nombre: _____ curso: _____



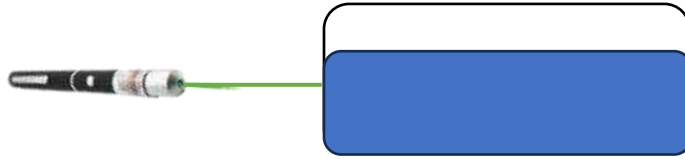
Actividad # 5

Grupos de 3-4

Materiales

recipiente

apuntador (laser)



procedimiento deberás llenar el agua hasta determinada altura

y trazaras una pequeña línea donde aras que la luz que proviene del apuntador

golpee justamente en esa line como se muestra en la figura analiza y dibuja lo que observas

nombre: _____ curso: _____



Deberás ubicar en 4 ángulos distintos el apuntador, analiza dibuja y ca una conclusión

