

**El ojo y la experiencia de la imagen. Secuencia experimental sobre la  
visión y la formación de imágenes**

David Alejandro Poveda Sarmiento

2020146040

Trabajo de grado para optar al título de Licenciado en Física

**Directora del trabajo:** Marina Garzón Barrios.

**Universidad Pedagógica Nacional**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Departamento de Física**

**Línea de profundización: La actividad Experimental para la Enseñanza de la física**

**Bogotá D.C**

**2025**

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a mis padres, a Gonzalo, por apoyarme en todo lo que me he propuesto, y a Kattya, por su amor e inspiración para la realización de este documento. Asimismo, una dedicatoria muy especial a Fernando José Sarmiento, quien seguramente estaría muy orgulloso de ver hasta dónde he llegado.

## **Agradecimientos**

Agradezco a la profesora Marina Garzón Barrios por su acompañamiento y asesoría en todos los aspectos de este trabajo, y por haber sido una guía fundamental de la cual aprendí tanto en el ámbito académico como profesional durante esta etapa final de mi formación académica.

También extiendo mi agradecimiento a todos los profesores con quienes llegué a tener clase, pues de cada uno aprendí algo valioso durante mi formación.

Por último, agradezco a todos mis amigos que me acompañaron a lo largo de la carrera, por su constante apoyo, ánimo y amistad en cada momento.

## Tabla de contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Contexto de la problemática de estudio sobre la formación de imágenes .....</b>	<b>1</b>
1.1 Problema de investigación.....	3
1.2 Planteamiento de la pregunta de investigación .....	5
1.3 Metodología de investigación .....	6
<b>2. El mecanismo del ver: la relación entre luz, objeto y percepción visual .....</b>	<b>7</b>
2.1 Vibración y Éter: La Percepción de la retina .....	7
2.2 El proceso de visión .....	8
2.3 El trazo invisible de la luz .....	8
2.4 Un reflejo en carretera.....	9
2.5 Cuando la Luz se Dobla: ¿Cómo la refracción deforma lo que vemos? .....	10
2.5.1 La córnea refracta la luz.....	11
2.6 La luz y los lentes.....	12
2.6.1 Tipos de lentes y distancia focal.....	13
2.7 Las dioptrías.....	15
2.8 El cristalino, un lente convergente ideal.....	15
2.9 El color y los fotorreceptores .....	17
2.10 La pupila y la cámara estenopeica .....	19
<b>3. Del experimento hacia la conceptualización: óptica práctica .....</b>	<b>20</b>
3.1 Los conceptos en física.....	20
3.2 La conceptualización en óptica .....	21
3.3 Esquemas invariantes.....	24
3.4 El experimento como agente constructor de la enseñanza por conceptualización .....	26
<b>4. Estructuración de la secuencia de enseñanza .....</b>	<b>30</b>
4.1 ¿Qué es una secuencia didáctica?.....	30

4.2 Secuencia de enseñanza: el ojo, la visión y la formación de la imagen visual .....	31
4.3 Metodología de la secuencia de enseñanza .....	32
4.4 Objetivos de aprendizaje.....	33
<b>5. Niveles de la secuencia de enseñanza .....</b>	<b>34</b>
5.1 Estructura del ojo humano: Nivel 1 y 2.....	34
5.2 Visión invertida: Nivel 3 .....	36
5.3 Construcción de la idea del rayo de luz Nivel 4:.....	38
5.4 Dirección de los rayos: Nivel 5 .....	40
5.5 Formación de la imagen: Nivel 6 .....	43
5.7 Nuevas ideas acerca de la visión: Nivel 7 .....	45
<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>48</b>
<b>7. Bibliografía .....</b>	<b>51</b>
<b>8. Anexo 1: guías de las actividades de la secuencia .....</b>	<b>56</b>
8.1 Primera actividad: Prototipos de cámaras.....	56
8.2 Segunda actividad: Creación de las cámaras oscuras .....	57
8.3 Tercera actividad: Imagen invertida .....	59
8.4 Cuarta actividad: Construcción del haz de luz .....	60
8.6 Sexta actividad: Ley de snell y rayos de luz.....	62
8.6 séptima actividad: Formación de la imagen usando el trazado de rayos.....	63
8.7 Octava actividad: Creación de un holograma .....	64
<b>9. Anexo 2: análisis de resultados de la implementación .....</b>	<b>65</b>
9.1 Análisis primera actividad: Prototipos de cámaras .....	65
9.2 Análisis segunda actividad: Creación de las cámaras oscuras .....	68
9.3 Análisis tercera actividad: imagen invertida.....	74
9.4 Análisis cuarta actividad: Construcción del haz de luz.....	77

8.5 Análisis quinta actividad: Comportamiento de los haces de luz.....	82
9.6 Sexta actividad: Ley de snell y rayos de luz .....	94
9.7 Análisis séptima actividad: formación de la imagen usando el trazado de rayos.....	97
9.8 Análisis octava actividad: creación de un holograma .....	107

## Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. Fuente: (García Rodríguez & Nuñez Mojica, 2006) Ejemplo del desprendimiento de capas que llegan al ojo. ....	1
Ilustración 2. Fuente: <a href="https://aulaenred.fundacionibercaja.es">https://aulaenred.fundacionibercaja.es</a> . Imagen formada en la cámara oscura. ....	2
Ilustración 3. Fuente: (Muñoz, 2007) proceso de interpretación de imágenes. ....	3
Ilustración 4. Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) Direccionalidad de los rayos en distintos ejemplos. ....	9
Ilustración 5. Fuente: Getty Images / Jeremy Woodhouse. Espejismo en carretera. ....	10
Ilustración 6. Fuente: Lifeder. (26 de mayo de 2023). Refracción de la luz. ....	10
Ilustración 7. Fuente: <a href="https://www.msmanuals.com">https://www.msmanuals.com</a> La córnea. ....	11
Ilustración 8. Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) comportamiento de la luz cuando atraviesa una lente. ....	12
Ilustración 9. Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) Lente convergente. ....	13
Ilustración 10. Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) Lente divergente. ....	13
Ilustración 11. Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) Trazado de rayos para la formación de imagen en la lente convergente. ....	14
Ilustración 12 Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) Trazado de rayos para la formación de la imagen en lentes divergentes. ....	14
Ilustración 13. Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) Reconstrucción de sistema óptico. ....	16
Ilustración 14. Fuente: <a href="https://ojopedia.es/cristalino">https://ojopedia.es/cristalino</a> . ....	16
Ilustración 15. Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) Plano focal. ....	17
Ilustración 16. Fuente: (Pascual, 2020) imagen de la retina. ....	17
Ilustración 17. Fuente: <a href="https://eltamiz.com">https://eltamiz.com</a> Los sistemas receptores. ....	18
Ilustración 18. Fuente: Exam-10.com. Pupilas dilatadas y contraídas. ....	19
Ilustración 19. Fuente propia: Invariancia de la direccionalidad en la propagación de la luz. ....	23
Ilustración 20. Fuente: (Koponen, Kurki-Suonio, Jauhiainen, Hämäläinen, & Lavonen, 2000). Ciclo de conceptualización. ....	28

Ilustración 21. Fuente propia .....	35
Ilustración 22. Fuente propia .....	35
Ilustración 23. Fuente propia .....	35
Ilustración 24. Fuente propia .....	35
Ilustración 25. Fuente propia .....	36
Ilustración 26. Fuente propia .....	36
Ilustración 27. Fuente propia .....	37
Ilustración 28. Fuente propia .....	37
Ilustración 29. Fuente propia .....	38
Ilustración 30. Fuente propia .....	38
Ilustración 31. Fuente propia .....	38
Ilustración 32. Fuente propia .....	39
Ilustración 33. Fuente propia .....	40
Ilustración 34. Fuente propia .....	41
Ilustración 35. Fuente Propia .....	41
Ilustración 36. Fuente Propia .....	41
Ilustración 37. Fuente propia .....	42
Ilustración 38. Fuente propia .....	42
Ilustración 39. Fuente propia .....	42
Ilustración 40. Fuente propia .....	42
Ilustración 41. Fuente propia .....	43
Ilustración 42. Fuente propia .....	44
Ilustración 43. Fuente propia .....	44
Ilustración 44. Fuente propia .....	44
Ilustración 45. Fuente propia .....	44
Ilustración 46. Fuente propia .....	45
Ilustración 47. Fuente propia .....	46
Ilustración 48. Fuente propia .....	46
Ilustración 49. Fuente Propia .....	46

## **Tabla de Tablas**

Tabla 1: Fuente propia. Conceptos en acción y teoremas en acción .....	25
Tabla 2. Fuente propia: Ejes de la Rubrica.....	33
Tabla 3. Fuente propia: Nivel 1 y 2 estructura del ojo humano. ....	34
Tabla 4. Fuente propia: Nivel 3 visión invertida .....	36
Tabla 5. fuente propia: Nivel 4 construcción de la idea del rayo de luz.....	38
Tabla 6. Fuente propia: Nivel 5 dirección de los rayos. ....	40
Tabla 7. Fuente propia: nivel 6 formación de imágenes. ....	43
Tabla 8. Fuente propia: nivel 7 nuevas ideas acerca de la visión .....	45

## **Tabla de Esquemas**

Esquema 1. Fuente propia: El proceso de la visión. ....	8
Esquema 2. Fuente propia: Metodología de la secuencia .....	32
Esquema 3. Fuente propia: Proceso de visión a partir de descripciones de los estudiantes	47

## Introducción

En este trabajo de investigación se analizan las descripciones e interpretaciones que los estudiantes realizan a partir de una secuencia de enseñanza sobre la visión y la formación de la imagen, considerando la direccionalidad del rayo como un invariante en la explicación de la propagación de la luz.

El estudio parte del interés por comprender cómo los estudiantes construyen conceptos sobre los fenómenos ópticos, ya que, con frecuencia, la enseñanza de la óptica se limita a la memorización de leyes. En este caso, la formación de la imagen no siempre se hace explícita en sus explicaciones, especialmente en aspectos como la inversión de la imagen en el ojo humano, lo que evidencia la complejidad conceptual que implica comprender la relación entre el objeto, el rayo y la proyección visual.

La investigación se desarrolla desde un enfoque cualitativo, a partir del análisis de las descripciones e interpretaciones estudiantiles generadas en una secuencia didáctica orientada al estudio de la visión y la formación de imágenes en el ojo humano.

Finalmente, se presentan los ejes temáticos relacionados con la óptica, el análisis de las actividades experimentales y las conclusiones generales que dan respuesta a la pregunta de investigación.

### 1. Contexto de la problemática de estudio sobre la formación de imágenes

La óptica geométrica se origina principalmente como un intento de comprender la visión y explicar cómo es el mecanismo a través del cual se producen las imágenes. Como señalan (García, Martínez, Carbonell, & Alis, 2007) “El modelo de visión no fue fruto de la aplicación al ojo humano de leyes empíricas sobre el comportamiento de la luz per se, descubiertas de antemano. Por el contrario, las primeras ideas sobre la luz se construyeron para explicar cómo vemos”.

Demócrito (460 a. C), por ejemplo, no consideraba el concepto de luz como causa de la formación de imágenes. En su lugar, afirmaba que la acción de ver se producía por desprendimientos de capas de los objetos que llegaban al ojo, el cual podía quemar dichas capas y producir la imagen visual.

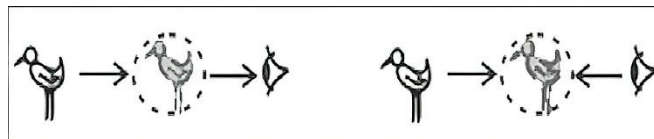


Ilustración 1. Fuente: (García Rodríguez & Nuñez Mojica, 2006) Ejemplo del desprendimiento de capas que llegan al ojo.

Por otro lado, Alhazen (965 d. C.) introdujo el concepto de rayo o haz de luz proveniente de una fuente luminosa y supuso que la imagen se formaba por un único rayo procedente de

cada punto del objeto. Este enfoque fue corregido posteriormente por Kepler (1571), quien, mediante sus observaciones sobre la cámara oscura, propuso que un objeto puede considerarse como un conjunto de infinitas fuentes de haces de luz que se proyectan en todas las direcciones, y explica cómo se forma la imagen en nuestra retina a través del conjunto de haces de luz procedentes de fuentes puntuales.

En la actualidad, el modelo de visión de Kepler sirve como modelo de enseñanza ya que se sustenta con la suficiente coherencia y poder explicativo, aunque en muchos casos no se menciona el nombre de dicho modelo y mucho menos se aborda la percepción de la fisiología del ojo humano. (García, Martínez, Carbonell, & Alis, 2007)

Kepler modeló el ojo como un instrumento óptico compuesto por una lente convergente y una pantalla. De esta manera, la imagen óptica se forma cuando estos haces de luz convergentes se encuentran en una región específica de la retina. Notó que, como ocurre en la cámara oscura, la imagen proyectada es una imagen invertida. Supuso que, de manera similar, esto debería ocurrir en nuestra retina, es decir, lo que vemos son imágenes invertidas. Como se muestra en la ilustración 2.

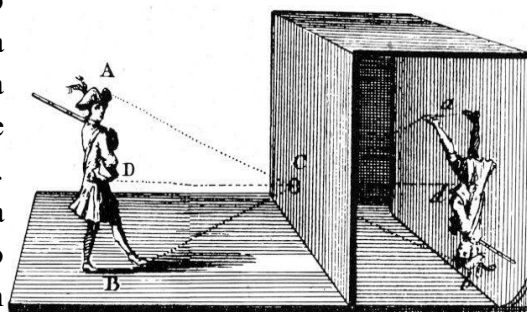


Ilustración 2. Fuente:  
<https://aulaenred.fundacionibercaja.es>.  
 Imagen formada en la cámara oscura.

Frente a este modelo, que como se ha dicho es el más aceptado y enseñado, surge la necesidad de explicar ¿Por qué no vemos las cosas al revés? Leonardo da Vinci (1452-1519) se hizo esta misma pregunta dando una solución desde la estructura anatómica dentro del ojo, utilizó al cristalino como el primer punto de convergencia de los rayos, así éstos, se supone que llegan por segunda vez a la retina dando forma a la imagen óptica tal cual como vemos. Platter<sup>1</sup> (1536-1614) siguiendo esta idea realizó un experimento que probó que la retina era exactamente la sede de llegada de los rayos de luz, cortando los ligamentos del cristalino y comprobando que la visión no desaparecía. (Sánchez, s.f.).

<sup>1</sup> **Platter, Félix (1536-1614).**

Médico suizo. Nació y falleció en Basilea. Estudió medicina en Montpellier, pionero en tratar enfermedades mentales y proponer una solución humanitaria para estas. [Félix Platter (1536-1614) as ophthalmologist].

## 1.1 Problema de investigación

Actualmente, el problema de la imagen invertida no está resuelto, el modelo de Kepler nos da respuesta del porqué percibimos derechas las imágenes invertidas que se forman en la retina, hecho que hace pensar entonces que el modelo de visión de Kepler sobre la formación de la imagen está incompleto. Como menciona (Pascual, 2020), “nuestra retina tiene la

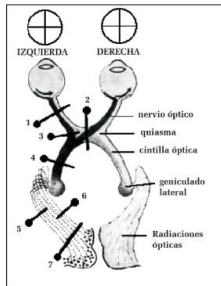


Ilustración 3. Fuente: (Muñoz, 2007) proceso de interpretación de imágenes.

característica de tener al revés las distintas disposiciones de algunos tejidos, teniendo como último punto de llegada los rayos de luz en los fotorreceptores al final de la estructura fisiológica de la retina lo cual es característico del sistema ocular de los vertebrados, mientras que en organismos como los cefalópodos la retina está de cierta manera en la forma correcta (la luz llega directamente a los fotorreceptores)”.

En ambos, vertebrados y cefalópodos, la luz atraviesa la retina y luego sigue su camino a través del nervio óptico. Al llegar a este punto, la información visual pasa por el quiasma óptico, que se encarga de combinar la información proveniente de ambos ojos. Posteriormente, esta información es enviada al cerebro, donde se interpreta y se les da sentido a las imágenes recibidas. Durante este proceso, las imágenes se invierten, no solo de arriba hacia abajo, sino también de derecha a izquierda, la cintilla óptica es la encargada de esta función. (Ver ilustración 3)

Como se puede apreciar, se ha tratado de encontrar el porqué de las imágenes invertidas, por ejemplo, en experimentos enfocados en psicología se condiciona la visión humana como originalmente debería ser la correcta, es decir se hace ver a la persona con la visión inversa dando como resultado que la persona puesta a prueba quede mirando durante un breve tiempo lo que se llamaría la “visión exitosa”, que es la imagen no invertida, y se evidencia que progresivamente volverá a costumbre la vista, esto hace notar que la visión se aprende, y por lo tanto, puede corregirse mediante entrenamiento, como son los casos de inversión de algunas palabras o números en algunos estudiantes, que mediante capacitación optométrica logran corregir los errores de inversión derecha-izquierda (dislexia) (Beamer, 1972)

En este sentido, el problema sobre cómo se forma la imagen no sólo resulta interesante, sino necesario dentro del estudio de formación de imágenes a nivel escolar, debido a que, como menciona (Virginia , Winner, Cottrell , Hedman, & Fournier, 2001) las ideas de visión que tienen los niños son casi similares a las de los filósofos antiguos. Ellos creen que la visión se genera por rayos procedentes del ojo humano, aun así, esta idea, llamada intromisión, se va reduciendo conforme a la edad, aunque persiste también en algunos adultos.

En el ojo humano, la formación de la imagen depende de la interacción entre la luz y las estructuras anatómicas que componen el sistema óptico, como la córnea, la pupila y el cristalino. Cuando alguno de estos elementos altera la dirección o la convergencia de los

rayos luminosos, se presentan las ametropías, es decir, variaciones en el punto donde los rayos de luz deberían converger sobre la retina. Estas condiciones pueden explicarse mediante el análisis del recorrido de los rayos paralelos procedentes de un objeto ubicado en el infinito, siguiendo el modelo óptico de Kepler. En este sentido, la miopía produce la formación de la imagen delante de la retina, la hipermetropía detrás de ella y el astigmatismo genera diferentes planos de enfoque (Arango Simoni, Mejía Echavarría, & Abad Londoño, 2013) También, las ilusiones ópticas representan un fenómeno relevante para comprender la formación de imágenes, pues surgen del contraste entre un objeto y su fondo, provocando una percepción aparente de movimiento o de deformación de la imagen.

Si realizamos un sondeo en un ambiente escolar, es probable que la mayoría de los estudiantes estén usando gafas recetadas. Sin embargo, si les preguntamos cómo es que esos artefactos corrigen su visión seguramente no sabrán dar una respuesta. No debería sorprendernos, ya que la asignatura de óptica se ha marginado en los programas de ciencias, y se descarta en muchos casos, muchos profesores tampoco recibieron una formación adecuada en esta área, y a veces, también la óptica y en especial la geométrica se relegan por cuestiones de tiempo, evidenciando el vacío conceptual en este tema aplicado a fenómenos en la formación de imágenes, por ejemplo cuando se presentan ametropías. (Palacios, 1994)

En algunos trabajos experimentales sobre la enseñanza de óptica geométrica, como el de García Rodríguez, D. P., y Núñez Mojica, E. (2006), titulado: *Propuesta alternativa para la enseñanza de la óptica*, se acostumbra a construir cámaras fotográficas caseras (cámaras estenopeicas), para ver su funcionamiento y asimilarlo al ojo humano, explicando cómo funciona el mecanismo de visión, esto a su vez lleva a la explicación de enfermedades visuales como las ametropías presentadas y su debida solución.

Estas actividades experimentales han interesado más a los estudiantes en el estudio de la óptica geométrica, ya que, al usar la teoría en situaciones cotidianas, les permiten aplicar los conocimientos aprendidos en este tópico para responder al ¿Cómo vemos? debido al gran parecido de estas cámaras con el funcionamiento del ojo humano.

(Suárez, 2016) en *Propuesta didáctica para la enseñanza de óptica geométrica*, muestra ejemplos de cómo se pueden implementar cámaras y cómo los estudiantes construyen conceptos de óptica geométrica en usos cotidianos, tomando como modelo pedagógico el Constructivismo.

Se destaca que, a través de los experimentos, se logra acercar al estudiante a la física presente en su vida cotidiana. Esto es importante, ya que muchos estudiantes perciben la asignatura de física, particularmente el área de óptica, como un obstáculo en su camino hacia la culminación de su formación de su educación media secundaria, en lugar de verla como un espacio de construcción de conocimiento. De acuerdo con (García Rodríguez & Nuñez Mojica, 2006) es fundamental “disminuir este recelo del estudiante, cautivándolo por medio de clases amenas e interesantes e incentivándolo a la investigación”.

No obstante, los estudiantes utilizan conceptos de óptica de manera inconsciente al usar gafas, observar por cristales, espejos, lupas. En este trabajo, se cree que es importante poder superar la dicotomía entre el conocimiento científico y el cotidiano, ya que esta integración es la que formaliza una educación científica, permitiendo que el conocimiento trascienda más allá del aula.

## **1.2 Planteamiento de la pregunta de investigación**

Como se ha mencionado previamente, la formación de la imagen en el ojo humano no está completamente resuelta, ya que aún no existe una explicación definitiva que permita comprender por qué percibimos las imágenes al derecho cuando estas se proyectan invertidas en nuestra retina. Por esto nos parece apropiado abordar diferentes preguntas sobre la óptica, para su enseñanza en el grado 1101 de la Institución Educativa Heladia Mejía, ubicada en la localidad de Barrios Unidos, en Bogotá.

De acuerdo con esto, se planteó la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son las interpretaciones y descripciones que construyen los estudiantes del grado 1101 de la Institución Educativa Heladia Mejía sobre la visión y la formación de imágenes en el ojo humano, a partir de una secuencia experimental?

Durante este trabajo, se diseñó e implementó una secuencia experimental enfocada en mostrar cómo se forma la imagen en la retina, explorando y estableciendo analogías con fenómenos ópticos y con las principales estructuras anatómicas del ojo humano, como: la córnea, la pupila y el cristalino. Se analizaron sus propiedades ópticas, especialmente los distintos índices de refracción que intervienen

En el proceso de la formación de imágenes. Además, se incluyó la idea de rayo de luz como construcción explicativa de la direccionalidad de la propagación de la luz utilizando montajes experimentales para la creación del rayo como invariante de la formación de la imagen en la teoría ondulatoria y corpuscular (fotón).

## **1.3 Objetivos: General y Específicos**

Caracterizar las interpretaciones y descripciones sobre la visión y la formación de imágenes en el ojo humano, que hacen los estudiantes del grado 1101 de la Institución Educativa Heladia Mejía, a partir de una secuencia experimental.

Objetivos específicos

- Diseñar experimentos sobre la formación de imágenes en el ojo humano y la direccionalidad del rayo como invariante en la propagación de la luz.
- Elaborar una secuencia de enseñanza que integre los experimentos sobre formación de imágenes haciendo énfasis en la estructura óptica del ojo humano
- Implementar la secuencia de enseñanza utilizando los experimentos diseñados para promover la comprensión del proceso de formación de imágenes.

- Recoger las interpretaciones y descripciones de los estudiantes mediante registros escritos sobre las actividades experimentales realizadas.
- Analizar y caracterizar las interpretaciones de los estudiantes respecto a las actividades de la secuencia de enseñanza centradas en la formación de imágenes en el ojo humano.

#### 1.4 Metodología de investigación

Para llevar a cabo este proceso de investigación se organizaron 5 fases:

- **Primera fase**, se analizó literatura especializada sobre cómo se forma la imagen en el ojo humano, en distintas condiciones: por ejemplo, la inversión de arriba abajo, derecha e izquierda, los índices de refracción en la parte interna del ojo que afectan la dirección de la luz.
- **Segunda fase**, se diseñaron experimentos para reproducir y observar la formación de imágenes, aplicando los conocimientos obtenidos sobre el funcionamiento óptico del ojo humano. En estos montajes se integró la colimación de un haz de luz para evidenciar la direccionalidad y el comportamiento de los rayos luminosos.
- **Tercera fase**, se diseñó la secuencia de enseñanza teniendo en consideración todo lo aprendido en la primera y segunda fase, en esta fase se propusieron actividades con las cuales los estudiantes desarrollaron sus interpretaciones y descripciones sobre la formación de imágenes.
- **En la cuarta fase**, se implementó la secuencia experimental. En esta fase los estudiantes produjeron interpretaciones y descripciones basándose en la secuencia experimental, presentaron escritos y diagramas en cada actividad. Durante esta fase se identificaron las interpretaciones y descripciones que los estudiantes generaron a partir de los experimentos realizados.
- **Quinta fase**, se analizaron y caracterizaron las interpretaciones y descripciones de la formación de imágenes realizadas por los estudiantes, a partir de un escaneo de las producciones escritas generadas en las actividades experimentales. Para ello, se seleccionaron los registros más relevantes y se extrajeron frases u oraciones significativas, las cuales fueron organizadas y clasificadas en categorías de análisis. De igual manera, se seleccionaron aquellos diagramas que revelaban características relevantes del fenómeno estudiado, con el fin de construir un análisis tanto de las descripciones como los diagramas de los estudiantes.

## 2. El mecanismo del Ver: la relación entre luz, objeto y percepción visual

### 2.1 Vibración y Éter: La Percepción de la retina

Cuando se empezó a discutir acerca de la naturaleza de la luz, surgió la pregunta sobre el medio a través del cual viaja. Las primeras ideas sobre este medio apuntaban a la existencia de un cierto éter luminífero, distinto del éter electromagnético. Esto daba entender que los fenómenos de la luz y los fenómenos electromagnéticos ocurrían por medios diferentes, Para Maxwell, esto no era así. Basándose en los trabajos de Faraday sobre la rotación magnética de la luz polarizada, demostró una íntima relación entre la luz y el magnetismo. “El objetivo de Maxwell era la creación de una teoría unificada de la electricidad, el magnetismo y la luz” (Berkson, 1981) así la luz y los fenómenos electromagnéticos viajaran por un mismo medio descrito matemáticamente como el campo electromagnético que se propaga en el espacio.

Ahora bien, si la luz se propaga como una onda, ¿cómo interactúa esta onda con nuestros ojos? Para Thomas Young en (Young, 1832), en *On the theory of light and colours*.

“Los cuerpos que observamos están formados por partes aún más pequeñas. Cuando estas partes son agitadas con suficiente energía, vibran y generan ondas que se propagan en todas las direcciones en línea recta. Estas partes agitadas de los cuerpos, dependiendo de su tamaño, forma y movimiento, son responsables de las vibraciones que excitan el éter a distintas profundidades similar a lo que sucede cuando chocan con el fondo del ojo, estas vibraciones producen la sensación de luz, de manera similar a cómo el sonido se percibe en nuestros tímpanos al recibir vibraciones.” (Young, 1832)

La luz blanca está compuesta por una combinación de colores que pueden separarse mediante la refracción, como ocurre en un prisma. De manera similar, en nuestras retinas, que actúan como una superficie refractante, Estas vibraciones excitan los fotorreceptores de nuestra retina y a respuesta a ello hace que veamos la combinación de colores respectivos para cada imagen visual Así, la sensación de color depende de la magnitud de las vibraciones: las más intensas generan tonos rojos y amarillos, mientras que las más débiles producen azules y violetas, así según estas vibraciones nos dará a pensar que el movimiento de la retina debe ser un movimiento vibratorio.

Para Young la percepción del color y el sonido comparte la idea de que ambos se basan en vibraciones ondulatorias, pero funcionan de manera diferente en nuestros sentidos. En la visión, los colores pueden explicarse como combinaciones de tres longitudes de onda principales (rojo, amarillo y azul en teorías antiguas, o rojo, verde y azul en la teoría moderna), como menciona (Young, 1832) en *On the theory of light and colours*.

“Lo que sugiere que cada fibra nerviosa en la retina responde a una de estas ondas. Sin embargo, a diferencia del sonido, donde la armonía surge de combinaciones precisas de frecuencias, los colores no siguen relaciones

matemáticas tan estrictas. Esto hace que cualquier intento de traducir colores en melodías sea limitado, ya que la retina no responde a las ondas de luz con la misma precisión armónica que el oído lo hace con las ondas sonoras en cambio la retina mantiene la estimulación luminosa a través de una gran cantidad de células dedicadas a la interpretación de la información que entra en el ojo, estas células se llaman comúnmente conos y bastones.” (Young, 1832)

Aunque hoy está más que establecida la teoría electromagnética y el conocimiento de los procesos fisiológicos que ocurren en la retina, desde cierto punto es importante mencionar estos hechos históricos y relacionarlos, ya que el valor histórico de esta relación radica en haber puesto de relieve que comprender la luz no podía desligarse de comprender el funcionamiento del ojo. De este modo, estas teorías e hipótesis marcaron un paso decisivo en la evolución de las explicaciones sobre la naturaleza de la luz y la percepción visual.

## 2.2 El proceso de visión

En el proceso de la visión contamos con ciertos factores que son importantes para generar la imagen visual, primero tenemos un estímulo de alguna fuente puntual que sabemos que son los objetos que vemos, esta fuente emite rayos de luz que contienen la información necesario de la imagen, estos rayos de luz atraviesan nuestro sistema óptico y siguiendo algunas reglas ópticas, se desvían formando una imagen en la parte posterior del ojo, una vez se haya formado la imagen, nuestros fotorreceptoras actúan ante el estímulo lumínico enviando la información al cerebro por el nervio óptico, una vez en el cerebro este se encarga de interpretar y proyectar la imagen correctamente.



*Esquema 1. Fuente propia: El proceso de la visión.*

Cuando observamos los objetos que nos rodean, en realidad lo que percibimos es el reflejo de la luz en ellos. Al incidir la luz sobre un objeto, ésta dispersa una infinidad de rayos que conforman el conjunto de información que llega a nuestros ojos. Gracias a este fenómeno, podemos enfocar un punto específico en la lejanía de un paisaje y, al mismo tiempo, percibir de manera general los demás elementos de la escena, ahora bien después de que el objeto sea iluminado y refleje la luz es pertinente preguntarnos ¿Cuál es el recorrido que sigue la luz desde los objetos hasta nuestros ojos para que podamos percibir la imagen visual?

## 2.3 El trazo invisible de la luz

La naturaleza no nos permite ver directamente la trayectoria de la luz. Imaginemos que estamos en una habitación oscura y hacemos un pequeño orificio para dejar entrar un rayo luminoso. Si lo intentamos observar en su recorrido recto, notaremos que no podemos ver directamente el haz de luz que penetra en la habitación. Sin embargo, sabemos que la luz está

allí porque, al colocar la palma de la mano en su camino, vemos que se ilumina, Entonces, ¿vemos realmente el haz de luz o vemos la luz reflejada en nuestra mano?

De hecho, vemos los objetos porque la luz que llega a ellos se refleja hacia nuestros ojos. Si en nuestra habitación oscura hay, por ciertas condiciones, una cantidad apreciable de polvo en el aire, podremos observar el haz de luz con claridad, ya que las diminutas partículas de polvo reflejan la luz que incide en ellas. Así, toda la información visual de los objetos nos llega gracias a la luz que se refleja en ellos y alcanza nuestros ojos. Es un fenómeno análogo a la famosa reflexión filosófica del árbol que cae en un bosque vacío: si no hay nadie que lo oiga, ¿realmente hace ruido? Del mismo modo, los objetos y el árbol que cae necesitan un receptor y proceso mediante el cual llega la información al receptor: el receptor son nuestros ojos y el proceso es el reflejo de la luz que emiten los objetos y llega hasta nuestros ojos. (Besen & Mayer, 2007).

## 2.4 Un reflejo en carretera

Ahora que podemos observar nuestro haz de luz en la habitación oscura, decidimos hacerlo más fino. Para lograrlo, reducimos el tamaño del orificio por el que entra la luz; de este modo, mientras más estrecho sea, más se aproxima a lo que denominamos un rayo de luz. El rayo no es otra cosa que una construcción experimental que se convierte en una idealización matemática. “se concibe como el límite al que tiende un haz de luz cuando se reduce indefinidamente su grosor, hasta imaginarlo como una línea de luz.” (Beeson & Mayer, 2007).

Además, una de las funciones del rayo de luz es describir la direccionalidad de los frentes de onda de fuentes puntuales de luz. De esta manera, el concepto de rayo no solo resulta útil al realizar el trazado de rayo en el estudio de ciertos fenómenos ópticos, sino que sus propiedades geométricas también le permiten conservar su validez cuando se emplea en otros modelos explicativos, como el ondulatorio, en relación con la propagación de la luz.

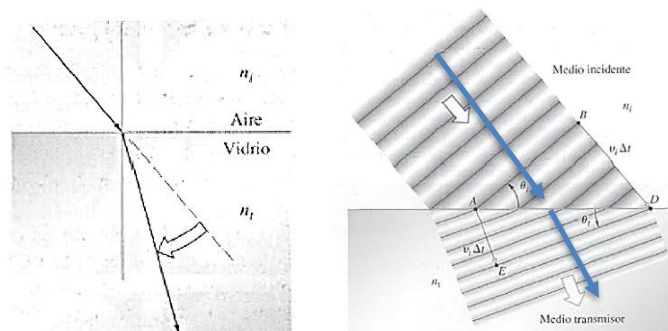


Ilustración 4. Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) Direccionalidad de los rayos en distintos ejemplos.

La dirección recta que sigue la luz ocurre en su mayoría por medios homogéneos puesto que cuando hay un cambio de medio esta dirección cambia. En medios no homogéneos, la luz obedece a un principio fundamental: el de mínima acción, en particular, el principio del

tiempo mínimo de Fermat, que establece que el recorrido de un rayo de luz entre dos puntos se realiza siguiendo el camino óptico más corto. Así los rayos cambian su trayecto y se curvan siguiendo este principio. Este camino óptico equivale a la distancia recorrida en el vacío ajustada según el índice de refracción del medio por el que se propaga la luz.

Imaginemos que vamos por una carretera extensa y a lo lejos, parece como si hubiera agua reflejándose en el camino. Esto ocurre porque el aire cercano al suelo está mucho más caliente que el de las capas superiores, lo que produce variaciones en la densidad del aire y, por consiguiente, en su índice de refracción, lo anterior ocasiona que los rayos de luz que provienen del sol busquen el camino óptico más corto y al atravesar estas capas de diferente densidad, se desvían gradualmente generando así este efecto óptico.



Ilustración 5. Fuente: Getty Images / Jeremy Woodhouse. Espejismo en carretera.

Dicho fenómeno es la demostración del principio de Fermat.

## 2.5 Cuando la Luz se Dobla: ¿Cómo la refracción deforma lo que vemos?

Volvamos a indagar en el fenómeno que observamos en la carretera cuando parece haber agua en el asfalto. Este efecto se produce porque el cambio de temperatura hace que el aire presente distintas densidades, y la luz se desvíe al atravesar esas capas con diferentes índices de refracción; a esto se le conoce como refracción. Un ejemplo aún más cotidiano ocurre cuando miramos el fondo de una piscina: siempre parece menos profundo de lo que realmente es. Este efecto se debe a que la luz se dobla al cruzar el límite entre dos medios distintos, el agua y el aire.

Dos fenómenos ocurren simultáneamente cuando la luz incide sobre un medio transparente, como el vidrio, el agua o una capa de aire caliente. Primero, una parte de la luz se refleja en la superficie; segundo, el haz transmitido se refracta. Al atravesar estas superficies, la velocidad de la luz disminuye y su dirección se modifica, haciendo que el rayo cambie de trayectoria (Hecht y Zajac, 2000).

La refracción de la luz provoca una alteración aparente en la forma o posición de los objetos cuando ésta pasa de un medio a otro. Así, el fondo de una piscina parece menos profundo y un lápiz introducido en un vaso con agua parece doblarse en el punto de contacto con el líquido.



Ilustración 6. Fuente: Lifeder. (26 de mayo de 2023). Refracción de la luz.

### 2.5.1 La córnea refracta la luz

Experimentamos el fenómeno de la refracción en todo momento en nuestros ojos. Las primeras capas de nuestro sistema visual son las encargadas de refractar los rayos de luz que provienen del exterior. En específico, la córnea y la cámara anterior. La córnea es una capa curva y sensible, recubierta por un líquido llamado lagrimal que contribuye a su hidratación. Esta estructura es responsable de la primera desviación de los rayos de luz gracias a su poder refractivo. (Villa & Santodomingo, 2003)

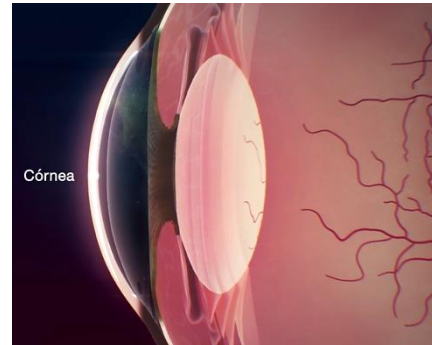


Ilustración 7. Fuente: <https://www.msmanuals.com> La córnea.

La capacidad de refractar los rayos se debe al poder refractivo, la córnea se compone de varias capas, cada una con un valor ligeramente distinto. Sin embargo, según Puell Marín (2006).

“Estas variaciones son mínimas y, en la práctica, se utiliza un valor promedio de 1,376. Debe tenerse en cuenta que existe una diferencia de capacidades refractivas cuando los rayos pasan del aire a la córnea y cuando lo hacen de la córnea el humor acuoso, puesto que este último presenta un índice de 1,336, valor que corresponde a la cámara anterior”. (Puell Marín, 2006)

Con estos valores de los índices de refracción podemos calcular el ángulo de un haz de luz que ingresa al ojo. La fórmula de la refracción nos indica que, si conocemos los índices de los medios que atravesará la luz y el ángulo de incidencia, podremos determinar el ángulo de refracción. Por ejemplo, si observamos un objeto y un haz reflejado por éste, llega con un ángulo de  $15^\circ$ , al considerar que el aire tiene un índice de 1,00 y que la córnea posee un índice de 1,376, es posible calcular el ángulo con el que se refracta el rayo al entrar en la córnea utilizando la fórmula de la refracción mejor conocida como ley de Snell:

$n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2)$  reemplazando los valores y efectuando el debido tratamiento matemático nos quedaría de la siguiente manera:

$$\theta_2 = \arcsen(0.1881)$$

$$\theta_2 \approx 10.8^\circ$$

Es decir ese rayo de luz que entra por la córnea con un ángulo de  $15^\circ$  entra por nuestro sistema visual hacia las otras estructuras oculares con un ángulo de  $10.8^\circ$

La refracción no solo explica cómo la luz cambia de dirección al pasar de un medio a otro, sino que también permite comprender, de manera cuantitativa, cómo ingresa la luz a nuestro sistema visual y conocer así el poder refractivo de cualquier superficie refractante. Gracias a

esta desviación, los sistemas ópticos, en este caso, nuestros ojos, pueden enfocar los rayos y dar lugar a la formación de imágenes.

Dado que el ojo constituye un sistema óptico complejo y su replicación resulta difícil, se han desarrollado diversos modelos del ojo humano que permiten estudiar tanto sus estructuras anatómicas como sus propiedades ópticas. Algunos de estos modelos se centran en analizar el comportamiento de la luz considerando únicamente ciertas superficies específicas. Un ejemplo representativo es el modelo paraxial de Le Grand<sup>2</sup>, uno de los más utilizados en óptica fisiológica, ya que considera la córnea como un dioptrio y estudia las propiedades de la lente del cristalino. Este modelo simplifica la compleja estructura ocular para analizar la formación de imágenes en condiciones ideales.

## 2.6 La luz y los lentes

Desde las burbujas de jabón y las gotas de agua hasta nuestra propia córnea, existen numerosas superficies que refractan la luz. Cuando ésta atraviesa formas esféricas, su comportamiento cambia, pues los rayos se desvían al cruzar el límite entre medios con diferentes índices de refracción. Este fenómeno es fundamental para comprender cómo se forman las imágenes en sistemas ópticos naturales y artificiales.

Las superficies esféricas están presentes en múltiples elementos, como las lupas, las gafas oftálmicas e incluso en el cristalino del ojo humano. En todos estos casos, la curvatura de la superficie provoca una desviación de los rayos de luz diferente a la que se observa en superficies planas, donde las trayectorias son más simples y predecibles.

Para comprender el funcionamiento de una lente, debemos imaginarla como una sustancia transparente que modifica la velocidad de la onda al ingresar en su interior. Esta variación es más notoria en la parte central del frente de onda, donde la velocidad se reduce más que en los extremos. Mientras el centro se retrasa, los bordes avanzan con mayor rapidez, lo que provoca que los frentes de onda se aplanen. (Hecht & Zajac, 2000) Como resultado, los frentes inicialmente esféricos se transforman en frentes planos, y los rayos emergen de la lente de manera paralela.

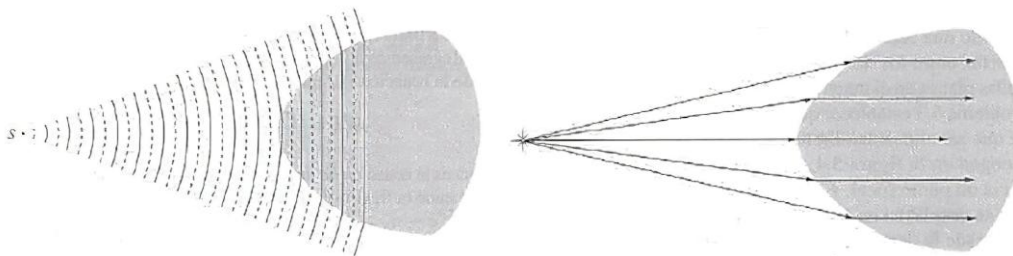


Ilustración 8. Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) comportamiento de la luz cuando atraviesa una lente.

<sup>2</sup> Yves Le Grand (1908–1986) fue un físico francés, especializado en óptica y colorimetría.

### 2.6.1 Tipos de lentes y distancia focal

Cuando comenzábamos a experimentar con lupas y dejábamos que los rayos del sol pasaran a través de ellas, observábamos un punto de luz que, al dirigirlo sobre nuestra mano, producía un leve aumento de temperatura. Al modificar la distancia entre la lupa y la mano, notábamos cómo la mancha de luz se hacía más intensa y el calor en la piel aumentaba.

Sin saber ese cambio en la distancia nos permitía descubrir la distancia focal de la lente, es decir, la separación a la cual los rayos de luz desviados por la lupa convergen en un punto, ese punto donde convergen los rayos se le denomina foco.

En el caso de las lentes convergentes, por ejemplo las lupas o nuestro cristalino, su forma desvía los rayos haciendo que converjan en un foco real es decir una imagen real y debido a la desviación de los rayos, una imagen invertida.

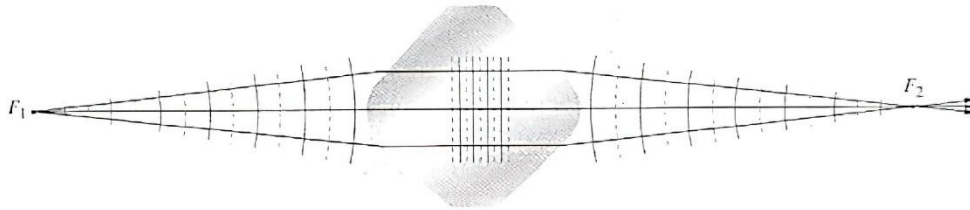


Ilustración 9. Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) Lente convergente.

Por el contrario, una lente cóncava es más delgada en el centro que en los extremos, lo que provoca que los rayos que inciden de forma paralela se dispersen al refractarse. En este caso, el punto focal se ubica a la izquierda de la lente, en el lugar desde donde parecen originarse los rayos divergentes. Una aproximación del foco puede observarse al prolongar hacia atrás las trayectorias de dichos rayos hasta el punto donde se cruzan (Beeson & Mayer, 2007).

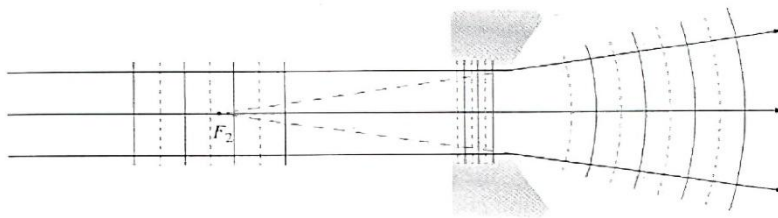


Ilustración 10. Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) Lente divergente.

En las lentes negativas su foco se origina de manera virtual es decir, se formará una imagen virtual y derecha de la imagen, como menciona (Beeson & Mayer, 2007).

“Estas lentes producen lo que Johannes Kepler llamó una imagen suspendida: una imagen que parece flotar en el espacio entre el lente y el objeto. Hoy la llamamos imagen virtual porque puede verse, pero no puede proyectarse sobre una pantalla. Por esta razón, resulta difícil medir la

distancia focal de una lente cóncava: ¡no hay una imagen real sobre el papel que sirva como referencia!” (Beeson & Mayer, 2007).

Ahora, si nos preguntamos como se forma la imagen de los objetos en estos lentes debemos pensar en tres rayos que nos ayudaran construir la imagen del objeto: el paralelo al eje principal, el que pasa a por el centro óptico y el que pasa por el foco real del lado opuesto.



Ilustración 11. Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) Trazado de rayos para la formación de imagen en la lente convergente.

La misma configuración de la dirección de los rayos la encontramos en las lentes divergentes, la única diferencia es que debido a la configuración de la composición de la lente, tendremos que los rayos paralelos refractados convergen en un foco virtual.

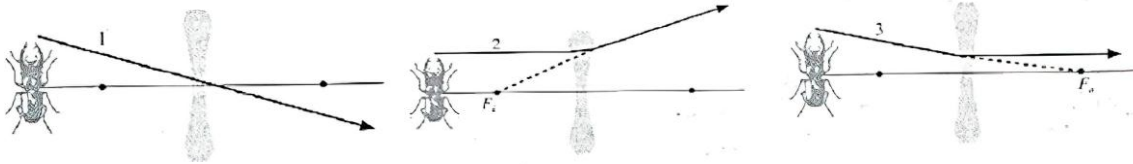


Ilustración 12 Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) Trazado de rayos para la formación de la imagen en lentes divergentes.

Utilizando diagramas de rayos, podemos determinar con precisión la posición, el tamaño y la orientación de la imagen generada por una lente, ya sea convergente o divergente. Este proceso se fundamenta en la identificación de un punto objeto (la fuente de luz) y la posterior localización de su punto imagen, que es donde se formará la imagen. Una vez conocidos los puntos focales de la lente, aplicamos el trazado de tres rayos principales. Dos de estos rayos son particularmente útiles: uno que, al pasar a través del punto focal objeto, emerge del lente paralelo al eje óptico; y un tercer rayo que, al atravesar el centro óptico de la lente, no experimenta ninguna desviación.

Hay que aclarar que los haces de luz paralelos entre sí corresponden a una situación ideal, ya que en la realidad las fuentes de luz emiten de forma divergente. Como se ha mencionado, la manera de recrear haces paralelos es de forma artificial o en un entorno experimental. La excepción ocurre con fuentes muy lejanas, cuyos rayos llegan prácticamente paralelos, como sucede con la luz del Sol (Hecht Zajac, 2000).

Las lentes positivas aunque proyecten una imagen real también pueden producir una imagen virtual, esto depende si colocamos muy cerca de nuestros ojos el lente, por eso se debe graduar la distancia cosa que se realiza y se configura en las consultas de optometría.

## 2.7 Las dioptrías

En la próxima consulta de optometría con la optómetra Katty Sarmiento <sup>3</sup> ella le entregará unos valores que representan su fórmula visual. Supongamos que la fórmula comienza con – 2.00, esto significará que tiene un grado importante de miopía, pero ¿qué significa ese valor negativo?

En optometría se utiliza una medida arbitraria llamada dioptría. Una dioptría se puede describir como la distancia focal necesaria para corregir la visión, es decir, la medición del poder refractivo de una lente.

Imaginemos que queremos saber el valor de dioptrías que tiene una lupa. Para ello, jugamos con la distancia focal de esta misma utilizando una hoja de papel, tratando de buscar la distancia donde el punto de luz se vuelva más brillante. Supongamos que el resultado es una distancia de 12 cm desde la lupa hasta la hoja. Podemos utilizar la ecuación principal para la dioptría, que es  $D = \frac{1}{f}$ ; siendo D el valor de la dioptría y f el valor de la distancia focal en metros. El cálculo es el siguiente:

$$D = \frac{1}{0.12} = +8.33$$

D significa el valor correspondiente al poder refractivo que tiene la lupa y 0,12 es la distancia focal en metros, la dioptría de esta lupa es +8.33 el valor positivo nos da entender que la lupa es una lente convergente.

En términos formales, una dioptría no es más que el inverso de la distancia focal medida en metros. El signo de este valor indica el tipo de lente necesario para corregir la visión. Cuando el valor es negativo, se requiere un lente divergente, utilizado para corregir la miopía, es decir, la dificultad para ver de lejos; en este caso, la distancia focal se considera menor que cero ( $f < 0$ ). Por el contrario, un valor positivo implica el uso de un lente convergente para corregir la hipermetropía, que corresponde a la dificultad para ver de cerca; en este caso, la distancia focal es mayor que cero ( $f > 0$ ). Esta convención matemática se establece para diferenciar si el foco es virtual o real.

Como la lupa, encontramos muchas más lentes convergentes en nuestro uso diario: las gafas que utilizamos, las lentes de las cámaras de nuestros celulares e incluso en nuestros propios ojos, específicamente en el cristalino, un poderoso lente convergente encargado de enfocar los rayos de luz para formar la imagen visual.

## 2.8 El cristalino, un lente convergente ideal

El cristalino se considera una lente convergente porque su estructura biconvexa, es decir, convergente por ambos lados, hace que los rayos de luz que lo atraviesan cambien de

---

<sup>3</sup> Optómetra que inspira las primeras ideas de este trabajo.

dirección y tiendan a reunirse en un punto focal. Ópticamente (Puell Marin, 2006) lo menciona de la siguiente manera

“Tal comportamiento se explica a partir de la relación entre la velocidad de la luz y el índice de refracción: la luz viaja más lentamente en medios con mayor índice refractivo. De este modo, cuando los frentes de onda pasan por el cristalino, el centro de la onda se retrasa más que los bordes, lo que provoca que la forma del frente de onda se vuelva convergente y, en consecuencia, los rayos se junten en un punto” (Puell Marín, 2006).

El trabajo del cristalino como sistema óptico consiste en recoger y remodelar cada parte de la luz o frente de onda que incide sobre él, para así formar la imagen del objeto iluminado, tal como funciona cualquier lente convergente.

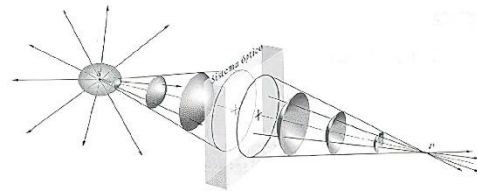
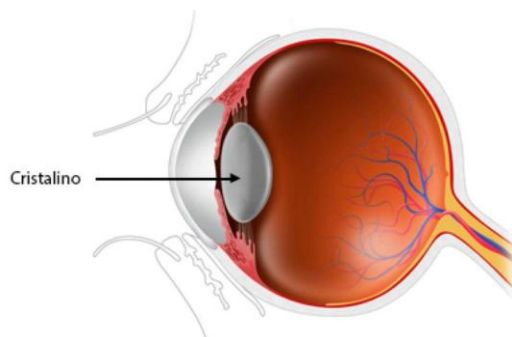


Ilustración 13. Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) Reconstrucción de sistema óptico.

El cristalino, aunque a simple vista pueda parecer una lente biconvexa común, posee un funcionamiento tan complejo que resulta muy difícil de replicar. Su particularidad radica en la potencia dióptrica variable, ya que su densidad cambia significativamente en cada una de sus capas. Como menciona (Puell Marin, 2006).

“Este efecto de convergencia aumenta gracias a su estructura en capas. Por ejemplo, las capas exteriores son más planas y menos curvas, mientras que el núcleo central tiene una forma más redondeada. De esta manera, cada capa sucesiva presenta una densidad óptica mayor, lo que hace que el centro del cristalino sea mucho más potente, es decir, que tenga una mayor capacidad refractiva” (Puell Marín, 2006).

De esta manera, en su zona central biconvexa, el índice alcanza un valor aproximado de 1,41, mayor que el de la periferia, que es de 1,38. Este gradiente, que va aumentando de los bordes hacia el centro, de esta manera como señala (Puell Marin, 2006) “la característica esencial del cristalino es su “heterogeneidad física y óptica”, lo que significa que las propiedades ópticas, como los índices de refracción, no son uniformes en toda la estructura del ojo.”



El cristalino además de tener esta variación de poder refractivo tiene la cualidad de ser un lente muy flexible, para poder hablar de esta cualidad debemos hablar de su composición anatómica. El cristalino se ve soportada por una cápsula sostenida por ligamentos que conectan con el lente, Estos ligamentos, se ven sujetos a la contracción del músculo ciliar.

Ilustración 14. Fuente: <https://ojopedia.es/cristalino>.

Cuando el ojo está relajado, el cristalino es delgado y permite enfocar objetos lejanos. En este momento los músculos ciliares están tensos para observar objetos cercanos, los músculos ciliares se contraen, engrosando el cristalino y aumentando su poder refractivo.

Podemos imaginar este sistema como una tienda de campaña: la cápsula del cristalino sería la lona, delgada pero resistente y elástica, los ligamentos serían las cuerdas que la sostienen y el músculo ciliar serían las personas que tiran o aflojan las cuerdas para cambiar la forma de la tienda. Cuando las cuerdas se tensan, la lona se aplana, al igual que el cristalino, lo que permite enfocar de lejos. Por el contrario, cuando las cuerdas se aflojan, la lona se abomba hacia el centro, del mismo modo que el cristalino se curva más, preparándose para enfocar de cerca.

Esta acción, denominada acomodación, es lo que nos permite enfocar objetos situados a diferentes distancias, como cuando pasamos de leer un libro a mirar al frente, o al realizar tareas que requieren precisión visual, como enhebrar una aguja.

Después de atravesar el cristalino, los rayos de luz son refractados y, debido a la forma convergente de esta lente, se reúnen en un plano focal, donde se forma una imagen invertida y real del mundo que observamos.

En el ojo humano, este plano focal corresponde a la retina, una delgada capa ubicada en la parte posterior del globo ocular, que constituye la zona de mayor sensibilidad a la luz. En la retina se encuentran los conos y bastones, células fotosensibles encargadas de captar la luz y transformar la información luminosa en impulsos nerviosos que luego serán interpretados por el cerebro. (Mustafi, Engel, & Palczewski, 2009)

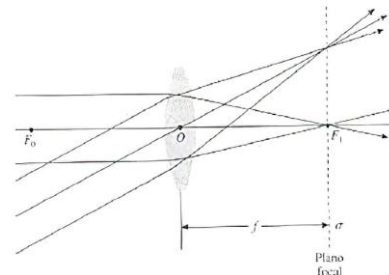


Ilustración 15. Fuente: (Hecht & Zajac, 2000) Plano focal.

En la retina encontramos los fotorreceptores, los encargados de interpretar las señales lumínicas y transformar en la imagen visual, hablamos de los conos y bastones.

## 2.9 El color y los fotorreceptores

Entender el color comienza desde nuestra experiencia, los colores son los encargados de matizar, saturar y darle brillo a lo que vemos. Estas propiedades del color requieren una interpretación de la cual se encargan los fotorreceptores del ojo, algo así como un procesamiento de información de las longitudes de onda, este proceso tiene la ventaja basarse en la composición espectral de la energía radiante que entra en el ojo humano gracias a dos tipos de fotorreceptores llamados conos y bastones, que son los encargados de formar dos sistemas distintos que operan a diferentes

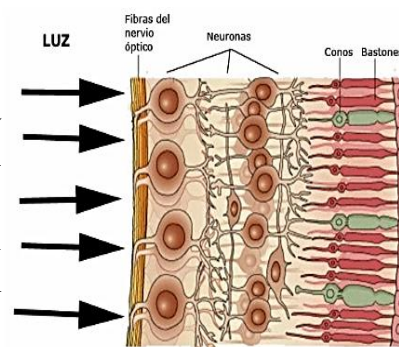


Ilustración 16. Fuente: (Pascual, 2020) imagen de la retina.

niveles de luminancia, los conos se encargan de la visión con buena luz y los bastones por su parte se encargan de la visión en condiciones de poca luz (Prado, Camas Benítez, & Sánchez, 2006).

Los conos, uno de los principales fotorreceptores de la retina, se clasifican en tres tipos: L, M y S, según la longitud de onda que detectan. Los conos L son sensibles a fotones de baja frecuencia (555–565 nm) y permiten percibir el color rojo; los M, a frecuencias medias (530–537 nm) asociadas al verde; y los S, a altas frecuencias (415–430 nm) que permiten ver el azul (Mustafi, Engel, & Palczewski, 2009).

Además, el ojo filtra selectivamente parte de los fotones de alta frecuencia, reduciendo el trabajo de los conos S. Este proceso mejora la nitidez de la imagen y protege la retina del exceso de luz azul, algo similar a disminuir la saturación de una imagen digital para verla más clara. Así, la visión humana depende principalmente de la acción conjunta de los conos L y M, con una contribución menor de los S, permitiendo la percepción completa del color.

La transducción visual es el proceso mediante el cual la luz se transforma en señales eléctricas gracias a las moléculas rodopsina (en los bastones) y fopsina (en los conos). Estas señales viajan por las células bipolares y ganglionares hasta el cerebro, donde el córtex visual las interpreta como imágenes en fracciones de segundo, permitiendo una percepción continua y clara del entorno. (Mustafi, Engel, & Palczewski, 2009).

El recorrido que sigue la información por el nervio óptico hasta el quiasma óptico, donde parte de las fibras se cruzan: las del campo visual derecho van al hemisferio izquierdo y las del izquierdo, al derecho. Luego, los impulsos continúan por el tracto óptico hacia el tálamo (núcleo geniculado lateral) y finalmente llegan a la corteza visual primaria (V1), donde el cerebro interpreta la imagen, (Bear, Connors, & Paradiso, 2020).

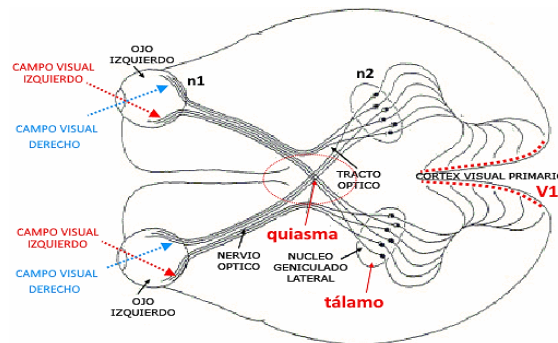


Ilustración 17. Fuente: <https://eltamiz.com> Los sistemas receptores.

De esta manera la imagen visual es el resultado de la interacción entre los fotorreceptores de la retina y los procesos químicos y neuronales del cerebro, que conforman la última etapa del proceso de la visión. A través de este recorrido neuro-óptico, la información visual es interpretada y organizada por distintas estructuras cerebrales, permitiendo que percibamos el mundo de manera coherente y en la posición correcta. De este modo, la imagen que

inicialmente se forma invertida en la retina es reinterpretada por el cerebro, generando así una imagen visual funcional del mundo que vemos.

## 2.10 La pupila y la cámara estenopeica

Nuestros ojos se asemejan a una cámara estenopeica, ya que su funcionamiento es prácticamente el mismo; la única diferencia radica en la forma en que ingresa la luz. En las cámaras estenopeicas, el nombre proviene de su elemento principal: un pequeño orificio llamado estenope, cuya función es permitir el paso de una cantidad mínima de luz para formar una imagen nítida. La circunferencia del estenope no obedece a una cuestión de eficiencia en recursos, sino a una necesidad óptica: limitar la cantidad de luz que ingresa para mejorar la definición de la imagen proyectada. Cuanto menor sea el diámetro del orificio, menor será la borrosidad de la imagen, ya que se reducen los llamados círculos de difusión, que son puntos que no logran enfocarse en el plano focal. (Beeson & Mayer, 2007). En otras palabras, el funcionamiento del agujero estenopeico consiste en restringir los rayos de luz periféricos que provocan la distorsión de la imagen, logrando así una proyección más nítida y precisa.

Se puede comprobar como un pequeño orificio mejora considerablemente la visión, o al menos la nitidez de la imagen. Solo se debe formar un diminuto agujero con las manos, procurando que esté lo más aislado posible de entradas de luz, y observar a través de él; aunque, en realidad, nuestros ojos realizan este mismo ajuste mediante la pupila.

En nuestros ojos las pupilas cumplen la función de un agujero estenope para así poder controlar las aberraciones ópticas, es decir, las imperfecciones que pueden desenfocar la imagen. Además, la variabilidad en el tamaño pupilar contribuye a mejorar la agudeza visual. (Sánchez R. F., 2018) Cuando la pupila se contrae, limita el paso de la luz a las zonas más precisas del cristalino, reduciendo dichas aberraciones y logrando una imagen más nítida y con mayor contraste. Por el contrario, cuando se dilata para maximizar la entrada de luz, permite que ésta atraviese áreas menos perfectas del cristalino, aumentando la posibilidad de distorsión. En consecuencia, cuanto más pequeño sea el diámetro pupilar, más nítida será la imagen proyectada sobre la retina.

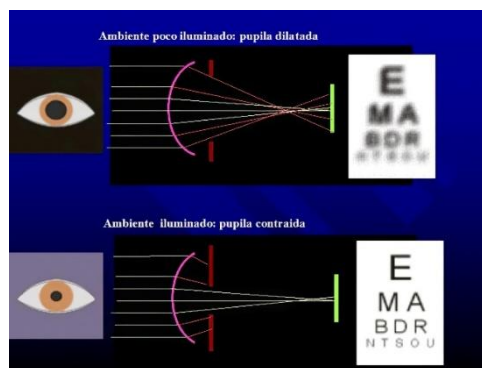


Ilustración 18. Fuente: Exam-10.com. Pupilas dilatadas y contraídas

Una vez que hemos reconocido estos conceptos ópticos fundamentales para la formación de la imagen, es importante resaltar cómo se aplican en la enseñanza y cuál sería el mecanismo más apropiado para llevarlos al aula. Por ello, es necesario reflexionar sobre los procesos de conceptualización.

### 3. Del experimento hacia la Conceptualización: óptica práctica

En la enseñanza de la física es fundamental tener en cuenta cómo ocurre el proceso de construcción de conceptos, estos constituyen la base sobre la cual se estructura el lenguaje científico y también el lenguaje cotidiano que utilizamos. Los conceptos como la manera en que los aprendemos no surgen de manera espontánea ni aislada, sino que se desarrollan progresivamente a partir de experiencias, observaciones y reflexiones que las personas realizamos en situaciones significativas.

Empezaremos desde lo más básico que es el lenguaje cotidiano que utilizamos para describir el mundo. Los estudios sobre el lenguaje en el campo de la educación científica han mostrado que existe una estrecha relación entre representación, simbolización y la necesidad de formalizar nuestras observaciones sobre los fenómenos del mundo físico. Esta relación es fundamental para la construcción del conocimiento, ya que los seres humanos no solo percibimos, sino que organizamos y damos sentido a lo que percibimos a través de sistemas simbólicos: palabras, gráficos, modelos, ecuaciones, diagramas, etc. Formalizar nuestras observaciones de los fenómenos que experimentamos de nuestro mundo físico. Estos estudios permiten estructurar, comunicar y dar precisión a las ideas que se desarrollan a partir de la observación (Garzón Barrios , 2024).

#### 3.1 Los conceptos en física

Las ciencias físicas describen los fenómenos a través de leyes y magnitudes físicas en un proceso de abstracción y construcción de nuevos conceptos, aun así, la comprensión de ciertos fenómenos requiere la introducción de conceptos abstractos que facilitan su explicación (Viennot, 2002). Estas abstracciones de la observación o de la experiencia las podemos llamar conceptos, para Carnap hay tres tipos fundamentales en la ciencia: los clasificatorios, que permiten agrupar fenómenos según características observables; los comparativos, que establecen relaciones entre entidades en función de propiedades medibles o cualitativas; y los cuantitativos, que introducen mediciones y valores numéricos para describir los fenómenos de manera objetiva. (Carnap, 1985) para la escuela clásica o concepción heredada los conceptos cuantitativos tienen una posición de superioridad respecto a otros tipos de conceptos, como los cualitativos, subjetivos o interpretativos. La razón de esta preferencia según esta escuela clásica se basa en la creencia de que lo cuantificable es más objetivo, riguroso y universal, ya que está menos expuesto a la ambigüedad y a la influencia del contexto o de la interpretación personal. En el caso de la física o en el ámbito científico estas abstracciones de la observación o de la experiencia las podemos llamar conceptos.

Desde la escuela clásica o concepción heredada, el lenguaje científico se sitúa en una escala superior al lenguaje cotidiano, colocando este último en las etapas iniciales de la investigación científica donde se realizan las descripciones y las generalizaciones, después de un crecimiento de una disciplina siempre se hace pertinente tener un sistema de conceptos

abstractos y de una terminología técnica, esto ya que con conceptos cuantitativos se construye con reglas bien definidas que establecen relaciones matemáticas entre conceptos desarrollados a partir de la observación del mundo físico.

Estas propiedades del lenguaje científico no solo facilitan el cálculo y la predicción de fenómenos, sino que también dotan al lenguaje observacional de símbolos y estructuras axiomáticas que organizan la información de manera lógica y coherente. Gracias a estos mecanismos lingüísticos, podemos cuantificar magnitudes, algo que como menciona (Garzón Barrios , 2024) “pese a la crítica que recibe esta escuela, es posible resaltar que puso el foco de atención en el análisis de las magnitudes físicas como lugares centrales para comprender la formación de conceptos en física” lo que permite que nuestras comprensiones y descripciones de los fenómenos naturales estén aún más refinadas, construyendo así un lenguaje científico más preciso y sistemático.

### **3.2 La conceptualización en óptica**

Para nuestro caso de estudio, las leyes ópticas pueden expresarse de manera relativamente sencilla, sin embargo, estas leyes resumen fenómenos cuyos conceptos son más complejos y requieren procesos de abstracción de la experiencia, por ejemplo, si analizamos la luz en general, podemos clasificarla como monocromática o policromática, compararla en términos de intensidad describiéndola como brillante o tenue y cuantificar mediante su longitud de onda o frecuencia.

Debemos tener en cuenta que estas clasificaciones se producen desde un entorno experimental ya que en la naturaleza misma cuando vemos la luz, no vemos rayos, ondas o frecuencias, corpúsculos, etc. Desde nuestro lenguaje cotidiano conocemos la luz como algo que nos permite observar los objetos del mundo, vemos luz. Pero es hasta que nuestra experiencia nos permite crear o identificar el rayo de luz que el concepto tiene sentido para comprender, por ejemplo, la formación de la imagen óptica. En otras palabras, se puede afirmar que la idea de haz de luz es un concepto abstracto que se utiliza en interpretaciones geométricas de la luz para describir fenómenos, en la naturaleza no presenciamos rayos de luz, los hacemos visibles y construimos a través de experimentos donde se coliman haces, donde se usan lentes, para ofrecer explicaciones sobre cómo se forma la imagen visual.

¿Cómo se construye el conocimiento? Según (García R. , 1997),

“El conocimiento no se recibe pasivamente ni se transmite como una verdad absoluta. Se construye activamente a través de la interacción del sujeto con su entorno. No existe un conocimiento previo: este surge de procesos mentales que se activan mientras el sujeto actúa sobre el mundo que lo rodea.” (García R. , 1997)

En las primeras etapas del desarrollo, el niño aprende mediante el sistema sensoriomotor. Manipulando objetos y experimentando con ellos, desarrolla una lógica de acción basada en

lo que percibe y puede hacer. Esta lógica aún no es abstracta, sino práctica: se trata de actuar, anticipar efectos y coordinar movimientos.

Antes de que aparezca el pensamiento lógico-formal, existe una lógica de las acciones. Esta nace de la coordinación y organización de las acciones que el sujeto repite y varía. Con el tiempo, estas repeticiones permiten detectar patrones, diferencias y construir esquemas cada vez más complejos.” (García R. , 1997) cómo se citó en (Garzón Barrios , 2024)

“Los esquemas de acción no solo ordenan las conductas, sino que también dan significado a lo que se hace. A través de ellos, el sujeto empieza a ver los objetos no como cosas aisladas, sino como elementos con propiedades, funciones y relaciones. La asignación de significado es clave para transformar la acción en conocimiento.” (García R, 1997, como se citó en (Garzón Barrios , 2024).

Desarrollemos estas ideas a partir del concepto de haz de luz, como se dijo anteriormente, desde nuestra experiencia cotidiana no podemos observar directamente un haz de luz. Para crear o hacerlo visible, debemos acomodar o colimar una fuente de luz, como una linterna, de modo que la luz se propague en forma de un rayo definido. Sin embargo, antes de poder construir conceptos como colimación, convergencia o rayo de luz, es necesario experimentar y coordinar acciones.

Por ejemplo, si acercamos demasiado una lente a la fuente de luz, el haz se dispersa; si la alejamos adecuadamente, el haz se enfoca. A través de la repetición y la variación de acciones como modificar la distancia entre la lente y la fuente de luz o emplear diferentes tipos de lentes, comenzamos a identificar regularidades en el comportamiento de la luz. Generando así encontrar patrones de acción dependiendo la variación que hagamos.

Después de realizar esta variación y repetición de acciones podemos elaborar esquemas de acción que no solo nos permiten reproducir el fenómeno, sino también anticipar efectos. De esta manera, vamos formando una red de significados que vincula las acciones realizadas con sus efectos observados. El concepto de Colimar, entonces se convierte en la experiencia de la acción de ajustar correctamente una lente de tal forma que se pueda visualizar el haz de luz enfocado, además en este proceso también podemos definir el concepto de convergencia dándole significado cuando los haces divergentes de alguna fuente cambian su dirección por efecto de una lente.

Finalmente, mediante la asignación de significados, transformamos la experiencia en conocimiento formal. Ya no solo observamos que el haz se vuelve más recto, sino que comprendemos el proceso de colimar la luz. Esta comprensión marca el paso de la acción concreta a la conceptualización científica del fenómeno.

La comprensión de un objeto, concepto o fenómeno, no se limita a su percepción sensorial inmediata, sino que da lugar a su significación. Esta significación, según (García R., 1997) se refiere inicialmente a lo que somos capaces de hacer con el objeto, es decir, las acciones

posibles y posteriormente a lo que podemos decir y pensar sobre él, como anticipaciones, predicciones o razonamientos. En este sentido, la actividad cognitiva se organiza a partir de la interacción activa con el objeto, lo que sitúa la acción como elemento central del conocimiento y relega a un segundo plano el papel de la mera sensación, Así, la significación implica la toma de conciencia de las acciones en función de las sensaciones que provocan las transformaciones de los objetos y sobre los objetos. Es en esta lógica de la acción donde a partir de los esquemas de acción se establece un vínculo ente la percepción y la formación de conceptos.

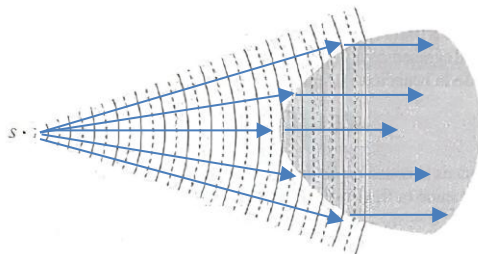
Para (Vergnaud, 1990) la enseñanza del concepto no puede ser reducida únicamente a su definición, el concepto adquiere sentido a través de las situaciones y de los problemas que se pretenden resolver, Vergnaud define concepto como un triplete de tres conjuntos  $C = (S, I, R)$ .

“Se define S como un conjunto de situaciones que dan sentido al concepto, I es un conjunto de invariantes sobre las cuales reposa la operacionalidad del concepto o un conjunto de invariantes que pueden ser reconocidos y usados por los sujetos para dominar las situaciones del primer conjunto, por último, R es un conjunto de representaciones simbólicas que se usan para indicar y representar esos invariantes y representar las situaciones” (Moreira, 2002).

Veamos un ejemplo con el concepto de la propagación de la luz:

La propagación de la luz es un fenómeno que podemos reconocer en múltiples experiencias cotidianas. Podemos observarla cuando la luz de una vela ilumina una pared cercana, cuando los rayos del sol atraviesan las hojas de los árboles y dibujan patrones luminosos en el suelo, o cuando los faros de un automóvil se extienden en línea recta durante la noche, Todas estas situaciones evidencian que la propagación de la luz está siempre presente en nuestra percepción del entorno, pues todo lo que vemos depende de ella. vemos la propagación de la luz en todos momentos si vemos los objetos como lo hemos dicho en el capítulo 2 de este trabajo.

En todas estas experiencias se mantiene un rasgo constante: la luz se propaga siguiendo trayectorias bien definidas. Dependiendo de la forma en que se explique la propagación, ya sea como rayo o como onda, lo que permanece invariante es la direccionalidad del fenómeno. En la mayoría de las explicaciones ópticas, esta direccionalidad se representa a través del rayo de luz, que permite describir de manera simple y coherente la trayectoria que sigue la luz al desplazarse o al interactuar con distintos medios.



*Ilustración 19. Fuente propia: Invariancia de la direccionalidad en la propagación de la luz.*

Para expresar y analizar esta característica, utilizamos representaciones como el trazado de rayos, que permite visualizar las trayectorias seguidas por la luz y explicar los distintos fenómenos ópticos. De este modo, la propagación puede entenderse como el resultado de la dirección y continuidad del movimiento de los rayos luminosos en el espacio.

Viendo este ejemplo con el concepto de la propagación de la luz podemos decir que un concepto científico se construye a partir de los invariantes que se conservan en diferentes situaciones. En este caso, la direccionalidad en la propagación de la luz actúa como ese invariante que conecta las experiencias con las representaciones, permitiendo comprender la coherencia de los fenómenos luminosos más allá de cada situación particular.

### **3.3 Esquemas invariantes**

El concepto de esquema es introducido por Piaget para conocer las formas de organización de las habilidades desarrolladas en la fase sensorio-motriz y de ciertas habilidades intelectuales, para Piaget un esquema genera acciones y debe contener reglas.

Se le denomina esquema a la organización invariante de la conducta para una clase de situación dada. En estos esquemas es donde se debe investigar los conocimientos en acto del sujeto, es decir, los elementos cognitivos que permiten a la acción del sujeto ser operatoria, así un “concepto-en acto” y “teorema-en-acto” son los conocimientos contenidos en los esquemas. Se le puede asignar también por la expresión más general que es “invariantes operatorias”.

Estos invariantes operatorios según (Moreira, 2002) son los encargados de dirigir el reconocimiento de ciertos elementos pertinentes de la situación, además de constituir la base que otorga la información pertinente y así reconocer la meta a alcanzar y las reglas de acción adecuadas.

Vergnaud menciona que los esquemas se refieren a dos clases de situaciones, estas son:

- 1) Clases de situaciones para las cuales el sujeto dispone en su repertorio, en un momento dado de su desarrollo y bajo ciertas circunstancias, de competencias necesarias para el tratamiento relativamente inmediato de la situación;
- 2) Clases de situaciones para las cuales el sujeto no dispone de todas las competencias necesarias, lo que le obliga a un tiempo de reflexión y de exploración, de dudas, tentativas abortadas, y le conduce eventualmente al éxito, o al fracaso. (Moreira, 2002).

Para el primer caso se observan conductas ya establecidas, ya automáticas organizadas por un esquema único, para el segundo caso se observa el uso repetido de varios esquemas que entran en conflicto unos con otros para encontrar una solución a la situación.

El esquema proporciona el vínculo entre la conducta y la representación, por ende, la relación entre situaciones y esquemas es la base para la representación y por lo tanto la

conceptualización (Moreira, 2002). Volviendo a los invariantes operatorios, estos son los encargados de unir la teoría y la práctica mediante los conceptos-en-acción y teoremas-en-acción. Puesto que provienen de la percepción, la búsqueda y la selección de información.

Existe una relación entre los conceptos-en-acción y teoremas-en-acción ya que estos conceptos forman partes de los teoremas y los teoremas a su vez, ayudan a darle contenido los conceptos, sin embargo, los conceptos no son teoremas, ya que los conceptos por si solos no permiten hacer cálculos o sacar conclusiones.

Los conceptos-en-acción son afirmaciones que creemos que son ciertas y que usamos para tomar decisiones cuando queremos resolver un problema, por otro lado, los teoremas-en-acción, son afirmaciones que creemos son ciertas y que usamos para tomar decisiones o resolver problemas.

Veamos un ejemplo de los conceptos-en-acción y teoremas-en-acción en la situación:

“Un estudiante ve que la imagen de una vela proyectada en una pantalla aparece invertida, y mueve la lente para enfocarla mejor.”

Conceptos-en-acción	Reconoce que en la pantalla aparece la imagen de la vela (imagen).	Este concepto le permite entender que hay una representación óptica que se puede observar y analizar.
	El estudiante entiende que la lente tiene un efecto sobre la formación de la imagen (lente).	Aunque no lo diga, está usando el concepto de lente como un dispositivo que modifica los rayos de luz.
	Al mover la lente con la intención de enfocar mejor (foco).	El hecho de mover la lente implica que está considerando que la posición relativa entre la vela, la lente y la pantalla influye en la formación de la imagen
Teoremas-en-acción	“Si la imagen está borrosa, puedo mover la lente para que se vea mejor.”	El estudiante cree que existe una relación directa entre la posición de la lente y la nitidez de la imagen. Esa creencia lo lleva a actuar: mover la lente.
	“La imagen puede verse invertida cuando está bien enfocada con una lente convergente.”	El estudiante asume que la inversión es parte normal del funcionamiento del sistema óptico y no un error.
	“Al cambiar la distancia entre la lente y la pantalla, puedo controlar la claridad de la imagen.”	Esta es una regla práctica que guía su intervención en el sistema.

Tabla 1: Fuente propia. Conceptos en acción y teoremas en acción

Como menciona (Moreira, 2002) “los alumnos no son capaces de explicar ni tampoco de expresar en lenguaje natural sus teoremas y conceptos-en-acción.” ahí es donde juega un papel importante la enseñanza, donde la meta es ayudar al alumno a construir conceptos y teoremas. Y como ya se ha presentado en todos los ejemplos que se ha suministrado siempre está presente el experimento como una herramienta en la enseñanza para la construcción de los conceptos.

### **3.4 El experimento como agente constructor de la enseñanza por conceptualización**

Desde la escuela clásica o concepción heredada se pretendía aislar los conceptos meramente a características observacionales, meramente a la observación sin buscar una comprensión o interpretación significativa del fenómeno, como consecuencia se llega a perder el carácter fenomenológico ocasionando que no se conecte el concepto con los fenómenos reales que lo justifican. De esta manera desde la perspectiva de la escuela clásica, el experimento, las observaciones y los fenómenos sobre los que se teoriza quedan todos ellos reducidos únicamente a los enunciados observacionales.

En contraposición a esta visión, el nuevo experimentalismo reconoce que el experimento no solo sirve para verificar teorías, sino que desempeña múltiples funciones en la construcción del conocimiento. Desde esta perspectiva, el experimento adquiere una nueva dimensión de utilidad.

En este sentido como menciona (Franklin, 2019)

“Los experimentos tienen la capacidad de proporcionar pistas sobre las estructuras matemáticas de teorías, a su vez puede proporcionar evidencias de la existencia de otras entidades involucradas en nuestras teorías, así demostrando que el experimento pueda tener vida propia, independiente de cierta teoría.” (Franklin, 2019)

De esta manera el experimento se libera de la visión de comprobar teorías y abre un campo de utilidades en los que la tanto la teoría y el experimento se enmarcan en posibilidades del que hacer en el experimento, Ian Hacking llama esta relación entre teoría-experimento, o dicho por el mismo: Representar e intervenir.

Tanto los conceptos teóricos como las propias teorías se integran dentro de marcos representativos construidos con un lenguaje formal, los cuales progresivamente se identifican y denominan estructuras conceptuales. De esta manera en el nuevo experimentalismo comparte la idea sobre las teorías son únicamente la estructura matemática. Sin embargo el carácter representativo de estas teorías nos hace poner énfasis en las formas de interpretación del mundo físico las cuales se fundamentan de la misma observación, acción con un alto componente en la experimentación.

Para Hacking la acción de observar está cargada de un componente teórico e interpretativo que demanda poner atención en los instrumentos utilizados en el proceso experimental que

pueden validar dicha observación, estas cuestiones son lo que Hacking llama intervenir, colocando así el experimento, y el dato que se obtiene como generador de conocimiento derivado de la acción.

Dicho de otro modo la representación se refiere a las ideas y explicaciones que usan principalmente las matemáticas, mientras que la intervención tiene que ver con las experiencias y experimentos que se basan en los datos. Así, el conocimiento teórico se construye por medio de razonamientos matemáticos, y la intervención, desde la práctica experimental, permite comprobar que los instrumentos de laboratorio y los datos que se obtienen con ellos sean confiables, esto ocasiona que en la práctica estas dos partes de la experimentación se evidencien por separado.

Por el contrario desde de este trabajo se comparte la idea de que la representación e intervención van de la mano juntas en el que hacer en el experimento puesto que de acuerdo con las ideas de (Garzón Barrios , 2024).

“Consideramos que representar e intervenir nos son elementos en oposición, como sugiere el nuevo experimentalismo, cuando se representa se interviene, se interviene para representar, y cuando se interviene ya se ha representado.” (Garzón Barrios , 2024)

De esta manera se reúne una serie de procesos conceptuales y cognitivos en el que hacer del experimento:

Cuando un estudiante dibuja un rayo de luz que se refleja en un espejo, no está solo “representando” un fenómeno observado: está interviniendo conceptualmente en la realidad. Está decidiendo qué partes del fenómeno son relevantes (el rayo incidente, el reflejado, el ángulo de incidencia) y cuáles puede ignorar (la textura del espejo, la intensidad luminosa) Ese acto de representar es ya una forma de intervenir, pues transforma la experiencia en un esquema inteligible para su proceso conceptual.

Del mismo modo, cuando realizamos un experimento de refracción, por ejemplo, al dirigir un haz de luz hacia una cubeta con agua, no intervenimos de manera “ciega”. Lo hacemos a partir de una representación previa del fenómeno: imaginamos que el rayo cambiará de dirección al pasar de un medio a otro. Esa representación guía la forma en que colocamos los materiales, los ángulos que medimos y lo que esperamos observar.

De esta manera cuando la experiencia sensible con un fenómeno logra construir una estructura conceptual donde esté presente la intervención y representación de un fenómeno aparece la formalización, como el resultado de todo este proceso conceptual. De esta manera el formalizar se entiende como el último proceso en la enseñanza. Al formalizar, lo que se representa también se transforma mediante la intervención, adquiriendo un sentido cargado de conceptos. Quien representa no es un observador pasivo, sino que actúa desde una estructura mental ya formada. La representación no debe entenderse solo como un símbolo,

sino como una totalidad unida a la estructura conceptual, ya que esta es, ante todo, una forma de organización mental.

Ahora bien, considerando todo lo anterior, si ponemos en contexto los ejemplos mencionados, no cabe duda de que forman parte de los experimentos realizados en el aula. Esto se debe a que, desde la perspectiva de una enseñanza significativa, el experimento se concibe como uno de los recursos más valiosos, pues favorece la construcción y comprensión de los conceptos, elemento esencial en el proceso de enseñanza. ya que de acuerdo con (Koponen, Kurki-Suonio, Jauhiainen, Hämäläinen, & Lavonen, 2000)

“Lo importante en la enseñanza de la física es el proceso de formación de conceptos y el papel que desempeña la experimentación en él. De esta manera el papel de los conceptos en las teorías científicas cumple una gran función y adquieren su significado en la enseñanza enfocado en la experimentación.” (Koponen, Kurki-Suonio, Jauhiainen, Hämäläinen, & Lavonen, 2000)

Donde todo lo que se ha dicho se puede representar como un ciclo.

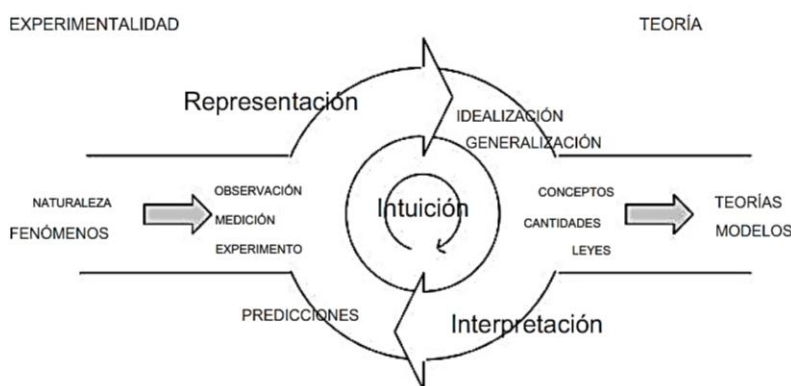


Ilustración 20. Fuente: (Koponen, Kurki-Suonio, Jauhiainen, Hämäläinen, & Lavonen, 2000).  
Ciclo de conceptualización.

Este ciclo propuesto por (Koponen, Kurki-Suonio, Jauhiainen, Hämäläinen, & Lavonen, 2000) comienza en el terreno de la experimentalidad, donde el sujeto se introduce al fenómeno mediante la observación, la medición y el experimento. Estas acciones permiten obtener datos que sirven como punto de partida para el conocimiento. Sin embargo, los datos por sí solos no constituyen comprensión; requieren ser organizados, interpretados y relacionados con estructuras de pensamiento previamente formadas.

En este sentido, La representación transforma lo observado en estructuras conceptuales mediante procesos de idealización y generalización que conducen hacia la teoría. Luego, la interpretación da sentido a esas representaciones, originando conceptos y leyes que explican los fenómenos. De este modo, las teorías se entienden como construcciones mentales que buscan describir y predecir el mundo físico.

La intuición, ubicada en el centro del ciclo, actúa como un elemento mediador entre la representación y la interpretación. Es la que orienta al sujeto en el reconocimiento de patrones, en la formulación de hipótesis y en la comprensión de las relaciones entre los conceptos. Sin la intuición, la relación entre la experiencia y la teoría sería puramente mecánica, es decir que el proceso se reduciría a una simple secuencia de pasos técnicos o automáticos.

Finalmente, las predicciones derivadas de las teorías retornan al terreno de la experimentación, donde pueden ser comprobadas o ajustadas. De esta manera, el ciclo se reinicia, esperando a seguir desarrollándose al contrastar nuevas observaciones y experiencias. De esta manera al introducir nuevos fenómenos se reactiva el ciclo entre experiencia, intuición y teoría, enriqueciendo los conceptos previos y dando lugar a nuevas interpretaciones.

De tal manera como menciona (Garzón Barrios , 2024)

“Las estructuras conceptuales se amplían con la ampliación de las experiencias de los sujetos, en la medida en que con nuevas experiencias se exigen nuevos patrones de coordinación de acción y la construcción de nuevas significaciones.” (Garzón Barrios , 2024).

En síntesis, el experimento se destaca por su potencial para favorecer la construcción de conceptos, convirtiéndose en un recurso accesible y eficaz para el aprendizaje de la física. A través de la representación y la intervención, los estudiantes observan, interpretan y organizan sus ideas sobre los fenómenos, haciendo del experimento no solo una ilustración teórica, sino un verdadero medio de formación del pensamiento conceptual en física. Como señalan (Koponen, Kurki-Suonio, Jauhiainen, Hämäläinen, & Lavonen, 2000)“para un estudiante, aprender física es conceptualizar; por lo tanto, el aprendizaje de la física sigue la misma dirección natural que la formación de conceptos”. Y la formación de conceptos se consigue significativamente por la experiencia que se logre obtener del fenómeno a estudiar.

Dicho esto, se realizaron experimentos con el propósito de favorecer la construcción de conceptos a partir de la experiencia y la observación de los fenómenos, promoviendo así una comprensión conceptual de los mismos. A continuación, se presentan los experimentos desarrollados con esta finalidad en la secuencia de enseñanza.

## 4. Estructuración de la secuencia de enseñanza

### 4.1 ¿Qué es una secuencia didáctica?

Al desarrollar una secuencia de enseñanza, el docente asume un doble rol como investigador. Por un lado, se convierte en observador y analista de lo que ocurre en el aula: las interacciones entre los estudiantes, las dificultades que emergen, las preguntas que se formulan y los procesos de construcción de conocimiento que se evidencian en la práctica. Por otro lado, también se sitúa como investigador en el diseño pedagógico, ya que elaborar una secuencia implica planear, ensayar y ajustar nuevas formas de enseñanza. De esta manera, la investigación no se limita únicamente a describir lo que sucede, sino que se orienta a transformar las situaciones de aula en oportunidades didácticas. A partir de este enfoque surge lo que puede llamarse la investigación del diseño de secuencias, cuyo propósito es responder a preguntas esenciales: ¿cómo enseñar un concepto? o ¿cómo hacerlo de un modo más efectivo y significativo?

Desde esta perspectiva, el docente se convierte en un segundo investigador, pues participa activamente en la creación de nuevas estrategias didácticas. (Kortland & klaassen, 2010) La secuencia de enseñanza no debe entenderse como un producto rígido y terminado, sino como un espacio de experimentación en el que se ponen a prueba hipótesis pedagógicas: qué actividades favorecen la comprensión, qué recursos facilitan la construcción de conceptos o qué dinámicas estimulan la participación y la motivación.

Ahora bien, al analizar lo que sucede en el aula a lo largo de estas secuencias, es necesario interpretar las interacciones entre contenidos, procesos de enseñanza-aprendizaje y situaciones didácticas desde marcos teóricos. Sin embargo, esta tarea no está exenta de dificultades. En la práctica, ninguna teoría garantiza por sí sola la calidad didáctica de un proceso, ya que siempre intervienen factores como la autonomía profesional, la experiencia y las competencias del docente. (Kortland & klaassen, 2010) De hecho, en el transcurso de una secuencia se observa que diversas teorías del aprendizaje constructivistas, socioculturales, cognitivas se entrecruzan y “flirtean” de manera constante. Esto demuestra que la enseñanza es una práctica compleja en la que se combinan teoría, contexto y creatividad docente.

En este marco, una secuencia didáctica no es simplemente una lista de actividades, sino una estructura con un orden lógico e intencionalidad pedagógica. Como señala (Díaz, 2013) “constituye el resultado de organizar aprendizajes de manera progresiva, con la finalidad de recuperar las nociones previas de los estudiantes y llevarlas hacia un nivel más elaborado. Dicho proceso no se limita a la memoria, sino que genera la posibilidad de explicar, relacionar y profundizar en fenómenos, especialmente cuando se parte de situaciones vinculadas al contexto cotidiano de los alumnos”.

En concordancia con (Meirieu, 2002), citado en (Tobar, 2022) resalta que la recuperación de nociones previas es un punto de partida esencial que conecta lo que el estudiante ya sabe con los nuevos conocimientos. La secuencia se convierte así en una guía progresiva que abre espacios en la estructura conceptual del aprendiz para integrar en ellos nuevas habilidades y saberes.

De manera complementaria, (Frade Rubio, 2009) sostiene que una secuencia didáctica es una serie de actividades articuladas en el marco de una situación didáctica, con un principio y un fin claramente definidos, donde cada paso constituye antecedente y consecuente del siguiente. (Prieto, 2011) en la misma línea, enfatiza que tales secuencias deben entenderse como situaciones vivas, construidas en interacción con los estudiantes y dirigidas al logro de competencias, más que como simples esquemas a seguir.

El desarrollo de competencias, por tanto, requiere un trabajo colectivo y progresivo que fomente tanto la interacción entre pares como la autonomía individual. (Crispín, Fregoso, Esquivel, & Loyola, 2011) afirman que el aprendizaje autónomo supone la capacidad del estudiante para autorregular su proceso y tomar conciencia de sus dimensiones cognitivas y socioafectivas, lo cual constituye la base de la metacognición. No obstante, esta autonomía siempre demanda la mediación pedagógica del docente, cuya orientación asegura la coherencia y efectividad de la secuencia.

Finalmente, a partir de estas consideraciones, se desarrolló una secuencia de enseñanza centrada en el ojo, la visión y la formación de la imagen visual. Este tema resulta especialmente significativo, pues conecta directamente con la experiencia cotidiana de los estudiantes a través de fenómenos como el uso de gafas, lentes y otros dispositivos ópticos. La secuencia se organizó bajo una rúbrica que define la lógica interna de las actividades y busca articular teoría y práctica en un marco pedagógico fundamentado. De este modo, se ofreció al alumnado una experiencia de aprendizaje contextualizada, coherente y profundamente significativa.

#### **4.2 Secuencia de enseñanza: el ojo, la visión y la formación de la imagen visual**

La secuencia de enseñanza que se implementó tuvo la finalidad de:

Guiar a los estudiantes en la construcción de explicaciones sobre el fenómeno de la visión y la formación de la imagen visual, mediante actividades experimentales que les permitan relacionar sus nociones previas sobre el ver con conceptos científicos de la óptica, destacando la direccionalidad de la luz como invariante presente en las explicaciones basadas tanto en el modelo de rayos o corpuscular como en el modelo ondulatorio.

Las actividades experimentales propuestas en las secuencias de enseñanza tienen el propósito de proporcionar el mecanismo necesario para que el sistema sensoriomotor del estudiante interactúe con el fenómeno físico dando comienzo a los primeros pasos de la

conceptualización. Se espera que el estudiante pueda construir, argumentar y aplicar conceptos de los fenómenos ópticos.

### 4.3 Metodología de la secuencia de enseñanza

La metodología que se implementó se basó en un enfoque constructivista que tiene como pilares la indagación, el trabajo colaborativo y transversal a estos aspectos, el experimento como eje de las actividades dentro del aula, esto permite la libertad de desarrollar desde la generación de preguntas, la colaboración grupal de los estudiantes, y el aprendizaje activo en todo momento de la implementación de la propuesta.

De acuerdo con esto, el estudiante desempeñó un papel activo, de explorador y constructor de sus propias explicaciones, mientras que el rol del docente fue de moderador, orientador y guía del grupo fomentando la colaboración, la comunicación y la reflexión durante los desarrollos de las actividades de la secuencia.

La secuencia de enseñanza inició con la introducción de preguntas orientadoras o situaciones problemáticas que permiten explorar los conceptos a estudiar y revisar los conocimientos previos de los estudiantes. Posteriormente, se desarrolló la fase de indagación mediante la observación y la producción o adecuación de fenómenos para promover la construcción de conceptos.

En un tercer momento, se llevó a cabo la aplicación de los conceptos aprendidos, de modo que los estudiantes describan y expliquen, con sus propias palabras, los fenómenos observados y establezcan relaciones con otros conocimientos previos o nuevos. Finalmente, se realizó una síntesis colectiva, en la que se abrirá un espacio de discusión y reflexión sobre todo el proceso, consolidando así los aprendizajes alcanzados.

A lo largo de todas estas fases, el experimento fue un recurso transversal, ya que se implementó en distintos momentos de la secuencia, en coherencia con el enfoque pedagógico previamente mencionado.

Esquema 2. Fuente propia: Metodología de la secuencia



#### 4.4 Objetivos de aprendizaje

Cuando hablamos de implementar una secuencia didáctica debemos de reconocer la jerarquización de las actividades que se realizarán en las situaciones didácticas que se presentan al momento de implementar la actividad del aula, de acuerdo como menciona (Carmona, 2017):

“Las actividades que organizan la secuencia didáctica tienen una jerarquización y secuenciación de contenidos constituyendo una organización de actividades de aprendizaje que se realizarán con los estudiantes con el propósito de crear situaciones que les permitan desarrollar un aprendizaje significativo”. (Carmona, 2017).

Para presentar los objetivos de aprendizaje se construyeron diferentes rúbricas donde se evidencian los procesos cognitivos de los estudiantes para ello se toma como referente la taxonomía de Bloom, dado que esta organización permite estructurar de manera progresiva los niveles de aprendizaje que se espera alcanzarán los estudiantes. La utilidad de la taxonomía radica en que ofrece un marco organizado que presenta habilidades cognitivas básicas hasta procesos de pensamiento más complejos, lo cual facilita tanto la planeación como la evaluación de la secuencia didáctica. Como mencionan (Sánchez-Contreras, 2019) esta taxonomía se aplica a las metas del proceso de aprendizaje en las dimensiones propuestas, organizadas por niveles. Cada nivel se define a través de verbos que inician en los de menor exigencia cognitiva y progresan hacia aquellos que implican mayor complejidad.”

Cada rúbrica se estructuró en tres ejes. El primero corresponde a la introducción hacia los saberes científicos. El segundo eje se centra en el trabajo experimental, mediante el cual los estudiantes pondrán en práctica esos saberes. Finalmente, el tercer eje está orientado hacia la comunicación de ideas, donde los estudiantes presentarán y argumentarán los resultados obtenidos a lo largo de los dos ejes anteriores.

	Título eje	Descripción eje
1	Construcción de explicaciones y predicciones	Describe situaciones, identifica características pertinentes para el análisis de un problema, de una situación o de un fenómeno, establecer relaciones entre variables.
2	Trabajo experimental	Involucra la planeación de una situación experimental, la obtención y evaluación de evidencia, el uso e interpretación de información, y el uso adecuado de instrumentos de medición.
3	Comunicación de ideas científicas	Involucra desempeños tales como la presentación oral y escrita de análisis de resultados, de explicaciones o de predicciones, mostrando evidencia y utilizando categorías y lenguaje científico. Interpreta avances científicos a través de textos.

Tabla 2. Fuente propia: Ejes de la Rúbrica

## 5. Niveles de la secuencia de enseñanza

### 5.1 Estructura del ojo humano: Nivel 1 y 2

Estructura del ojo humano	
Reconoce la estructura del ojo humano.	Indaga sobre el recorrido de la luz desde el objeto que se observa hasta su punto de llegada en el ojo humano, a través de la construcción de la idea de haz de luz: rayo.
Identifica la estructura y función de las partes en un modelo del ojo humano.	Interpreta en el experimento el recorrido que toma la luz en la llegada al ojo.
Expresa la función de las partes del ojo humano en el proceso de la visión.	Explica el proceso de visión mediante el objeto como fuente de luz.
<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>

Tabla 3. Fuente propia: Nivel 1 y 2 estructura del ojo humano.

#### Para este nivel:

En los niveles iniciales se propone una comparación entre las estructuras ópticas, estableciendo una analogía entre el funcionamiento de la cámara y el del ojo humano. Posteriormente, en un segundo nivel, se aborda el recorrido de la luz como factor fundamental en la formación de la imagen visual, considerando el rayo como una construcción conceptual elaborada por el propio estudiante.

#### Actividades de este nivel:

En una primera actividad introductoria se plantea una situación hipotética en la que los grupos de estudiantes reciben la tarea de diseñar una cámara, estableciendo una analogía con el funcionamiento del ojo humano. La segunda actividad consistirá en la construcción de una cámara oscura utilizando materiales caseros para seguir en la continuidad de las semejanzas de la cámara con el ojo humano

El propósito de estos dos primeros niveles es reconocer el conocimiento previo de los estudiantes. Para ello, se aborda el funcionamiento de la cámara invitándolos a construir un modelo basado en sus propias experiencias. Posteriormente, al momento de elaborar la cámara, deberán plantearse preguntas sobre su funcionamiento y sobre el papel de la luz en la formación de la imagen, lo que llevará a introducir el concepto de rayo como parte de la explicación. Para ver la guía de la actividad diríjase a la [pagina56](#)

En los resultados obtenidos a partir de estas estructuras de cámaras, es importante reconocer algunas palabras clave mencionadas por los estudiantes, como: **“lentes convexos”**, **“cristalino”**, **“córnea”**, **“iris”**, **“sensores de la cámara”**, **“enfoque”** e **“imagen enfocada”**.

Estos términos resultan relevantes, pues marcan un punto de partida para los conceptos que se abordarán en los experimentos posteriores.

Durante la actividad se evidenció que los estudiantes poseen nociones básicas sobre algunos conceptos de óptica y mencionan ciertos componentes de la cámara y su funcionamiento. Al finalizar, se realizó una construcción colectiva de los conceptos más importantes, con el fin de introducir el trabajo de creación de la cámara estenopeica. Para ello, se les solicitó investigar previamente el funcionamiento de la cámara oscura.

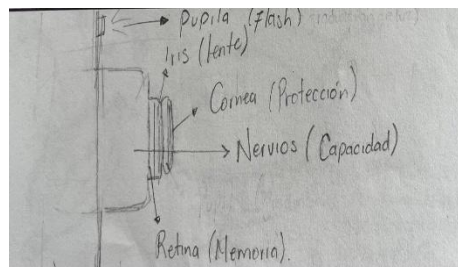


Ilustración 22. Fuente propia.

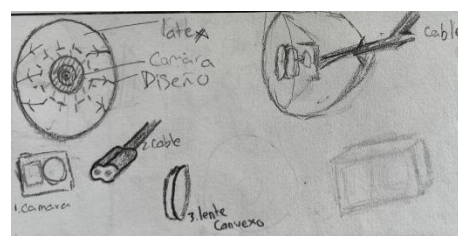


Ilustración 21. Fuente propia.

Una vez construida la cámara estenopeica, se pidió a los estudiantes que observaran una vela encendida con la cámara, manteniendo el salón completamente a oscuras. Posteriormente, se les solicitó que describieran lo que observaban y que identificaran semejanzas entre el funcionamiento de la cámara oscura y el ojo humano.

Una de las principales categorías de las descripciones se relaciona con el orificio de la cámara estenopeica, el cual es identificado por los estudiantes como el causante de la formación de la imagen en la parte posterior de la cámara. Esto se evidencia en afirmaciones como: *“El orificio transporta la imagen y la pone al revés”*. De esta manera, el estudiante considera que el orificio cumple el papel de un mecanismo que provoca la inversión de la imagen de la vela.



Ilustración 23. Fuente propia

Por otra parte, otra categoría emergente en las respuestas tiene que ver con las analogías establecidas entre el funcionamiento de la cámara oscura y el ojo humano. En estas comparaciones, los estudiantes relacionan el papel mantequilla con la retina, y el orificio de la cámara con la pupila, como se observa en expresiones tales como: *“La retina es similar al papel mantequilla donde se forma la imagen”* y *“La pupila es como el hueco por donde entra la luz”*.

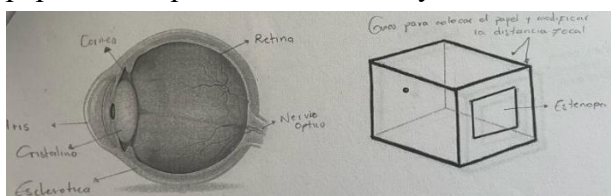


Ilustración 24. Fuente propia

Asimismo, los estudiantes que utilizaron la cámara comenzaron a graduar la distancia entre el objeto observado en este caso la vela y la cámara. En este contexto, describieron que “*cuando la luz se concentra en un lugar, se ve mejor la imagen*”, haciendo referencia a la nitidez de la imagen proyectada en la pantalla de la cámara.

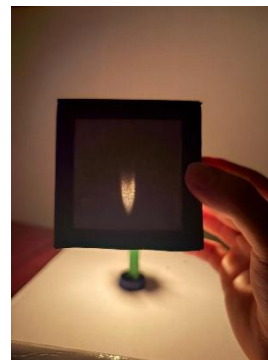


Ilustración 25. Fuente propia

Otras descripciones buscan explicar cómo se propaga la luz dentro de la caja y cómo se forma la imagen. Por ejemplo: “*La luz viaja en línea recta y al pasar por el orificio proyecta o forma una imagen*”. No obstante, algunos estudiantes señalaron que la luz

era una onda que se transformaba en un fragmento de línea para poder atravesar el orificio.



Ilustración 26. Fuente propia

El experimento generó múltiples reflexiones en torno a la imagen invertida observada en la cámara. Algunos estudiantes no le otorgaron mayor importancia, afirmando que así es como ven nuestros ojos. Sin embargo, un grupo significativo elaboró explicaciones más detalladas, como: “*cuando la luz entra en forma de rayo rebota en la superficie de la caja y así se forma de manera inversa la vela*”. Estas explicaciones sugieren que

los estudiantes atribuyen la inversión de la imagen a la estructura interna de la caja. Al preguntarles si consideraban que este mismo fenómeno ocurría en el ojo humano, la mayoría respondió afirmativamente; no obstante, no reconocían que, al igual que en la cámara, la imagen que se forma en el ojo también es invertida.

Las actividades de este nivel dieron como resultado que los estudiantes lograran reconocer ciertas partes del ojo humano mediante analogías con la cámara oscura. Asimismo, identificaron que la luz es la encargada del proceso de visión y, dentro de sus explicaciones, se evidenció el reconocimiento de que la luz se propaga en línea recta. Para ver un análisis completo de la actividad diríjase al siguiente enlace [análisis de primera actividad](#)

## 5.2 Visión invertida: Nivel 3

Visión invertida
Observa cómo se forma la imagen en la retina teniendo en cuenta lo observado en la cámara oscura.
Examina en el experimento los factores que hacen que a la imagen se forme de manera invertida
Grafica lo que le sucede a la luz cuando pasa por la lente para explicar la imagen invertida
Nivel 3

Tabla 4. Fuente propia: Nivel 3 visión invertida

### Para este nivel:

Para este nivel el estudiante examinara en el experimento la imagen invertida que pudo observar en la actividad previa de la cámara oscura con el fin de que pueda justificar hipótesis del por qué ve una imagen invertida en la pantalla tanto de la cámara

oscura como en la actividad de este nivel, a su vez tener presente que debe estar comparando estos experimentos con el ojo humano.

### Actividades de este nivel:

Las actividades propuestas para este nivel consisten en ver la aureola de una vela a través de una lupa proyectada en una pantalla blanca, donde se debe variar la distancia tanto de la vela como la de la pantalla hasta conseguir la imagen de la vela lo suficientemente nítida.

### Por qué esta actividad?

Esta actividad se desarrolla para que el fenómeno se concentre en la lente en la cual se proyecta la vela, esto con el fin que el estudiante empiece a despejar dudas o hipótesis acerca de la inversión de la imagen

Bajo ciertas descripciones de los estudiantes de la actividad anterior como por ejemplo: *“siento que es como si la luz rebotara y por esto se logra apreciar la vela invertida”* o *“yo creo que es porque la luz o la imagen se refracta o distorsiona al momento de cruzar o atravesar el agujero y entrar a la caja”*. Se realiza la actividad, para ver la guía de la actividad diríjase a la [página59](#)

La categorización de las repuestas se tomó a partir de los diagramas que representan los estudiantes cuando observaba la imagen de la vela invertida en el papel blanco asimilando entonces lo que se vio en la cámara estenopeica previamente construida.

La categorización de las respuestas se divide por el reconocimiento de los elementos y conceptos ópticos vistos en los diagramas, donde en la mayoría de los diagramas para explicar la imagen invertida se usa los diagramas de rayos, el factor de la lente como el causante de la desviación de los rayos

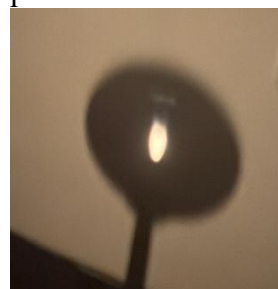


Ilustración 27. Fuente propia

Por otra parte analizando la representación de la intervención de los estudiantes en el experimento demuestra que algunas de estas están mal configuradas utilizando solo dos rayos o en otros casos convergiendo los rayos antes de que esos pasen por el lente.

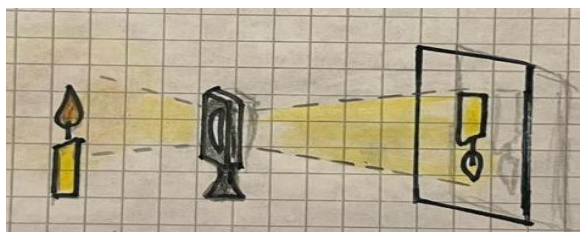


Ilustración 28. Fuente propia

En otros casos se evidencian en los diagramas únicamente dos rayos cuando se atraviesa la lente, teniendo en cuenta que la dirección de estos se asemeja a un comportamiento divergente, además los diagramas no representan con exactitud el punto de formación de la imagen y como se distribuyen los rayos en la pantalla blanca

Por último se hace un reconocimiento de las dificultades conceptuales que se ven presenten en los diagramas, por ejemplo el comportamiento de los lentes con respecto a los rayos, la convergencia antes de la llegada de estos a la lente, la ubicación de los haces de luz no corresponde con la fuente de luz ni con la formación de la imagen.

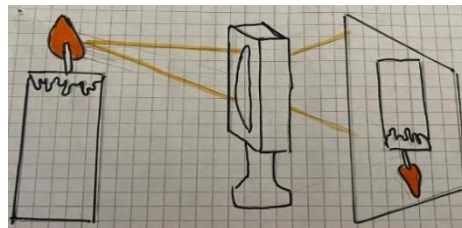


Ilustración 29. Fuente propia

Por último en la actividad se les pidió a los estudiantes que pensar en la actividad anterior y como podrían explicar la inversión de la imagen si ya sabían que lo que hacía que se viera invertida era la lente y no la estructura de la cámara. Donde se observan los tres rayos principales puestos en función de construir la imagen

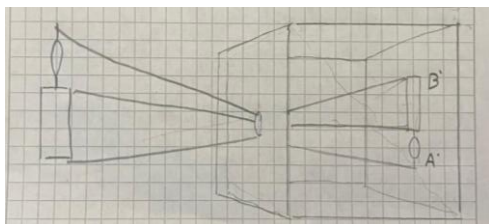


Ilustración 30. Fuente propia

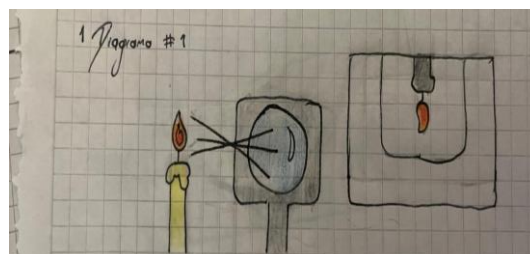


Ilustración 31. Fuente propia

En general en todos los diagramas de los estudiantes se llega a reconocer la lente como factor principal en el comportamiento de los haces de luz y que forman la imagen invertida, es aquí donde se aleja de pensar en la estructura de la caja de la cámara estenopeica o la estructura del globo ocular como el factor de la inversión de la imagen para considerar la lente como el causante de la inversión de la imagen. Para ver el análisis completo de la actividad diríjase al siguiente enlace [análisis de tercera actividad](#)

### 5.3 Construcción de la idea del rayo de luz Nivel 4:

Construcción de la idea del rayo de luz.	
Examina la construcción de un rayo de luz en entornos experimentales	Reconoce que la direccionalidad, ya sea de un rayo de luz o de un patrón de onda, es lo que se mantiene invariante en cada fenómeno.
Interpreta en el experimento la importancia de la construcción del haz de luz para explicar la formación de la imagen de un objeto en el ojo	Interpreta del experimento cuando se utilizan diversos modelos de explicar fenómeno ópticos
Construye la idea de rayo de luz teniendo en cuenta las condiciones las cuales podemos ver estos rayos.	Identifica la direccionalidad, tanto de un haz de luz como de un patrón de onda, como una característica invariante que permite describir situaciones, analizar fenómenos.
<b>Nivel 4</b>	

Tabla 5. fuente propia: Nivel 4 construcción de la idea del rayo de luz

### Para este nivel:

En este nivel se busca que el estudiante tenga la necesidad de usar el concepto del rayo para explicar el fenómeno de los experimentos previos, además de que reconozca que las explicaciones de los fenómenos ópticos ya sea ondulatoria o por rayos se mantiene presente la direccionalidad de estos haciéndolo invariante para cualquier representación.

### Actividades de este nivel:

La actividad consiste en la construcción de un haz de luz, para ello desde una fuente se le colocaran diferentes placas para aislar una pequeña parte de la fuente de luz, después de hará pasar distintos lentes para colimar esa parte de la fuente de luz

### Por qué de esta actividad?

El propósito de estas actividades es que el estudiante pueda reconocer el haz de luz como una herramienta conceptual que se pueda construir para observar cómo es el comportamiento de la luz cuando se ve afectada por otro medio, ya sea el vaso con agua o diferentes lentes, además de comparar estos rayos y la luz como onda e identificar que lo que no cambia es la direccionalidad de estos. Para ver la guía de la actividad diríjase a la [pagina60](#)

En análisis de los resultados de esta actividad se recogieron y se caracterizaron en las siguientes categorías:

Comprensión funcional inicial	<i>“Nos permiten ver los objetos cuando llegan a nuestros ojos”.</i>
Representaciones parciales	<i>“Un rayo solar que viaja en la misma dirección”</i>
Definición de haz de luz	<i>“Un haz es un conjunto de rayos que viajan en la misma dirección y que no permiten ver los objetos cuando llegan a nuestros ojos” / “un haz de luz es un rayo de luz que se propaga en una dirección específica” / “hacer una luz lo mas delgada posible en una dirección”</i>
Observacion de un haz de luz	<i>“No podemos observar un haz de luz en nuestra cotidianidad, solo en el experimento”</i>

Tabla 6. categorización de respuestas actv 4

Al categorizar las respuestas nos permite evidenciar una comprensión del concepto que se trabajó en el experimento en este caso la colimación del haz de luz, este según las respuestas de los estudiantes se asocia principalmente con su función, ya sea como aquello que posibilita la visión o como una herramienta para estudiar el comportamiento de la luz, la mayoría de los estudiantes mencionaban

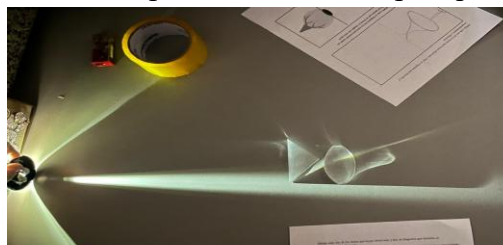


Ilustración 32. Fuente propia

que “*sin luz no podíamos observar ni ver los objetos que nos rodean*” ponían ejemplos de cuando estábamos en una habitación oscura no se pueden ver “bien” las cosas

De esta manera se identificaron respuestas donde se explicaba como el haz de luz como si fuera únicamente un rayo de sol se identifican explicaciones que simplifican el fenómeno al reducir el haz de luz a un solo rayo o a un ejemplo concreto, como el rayo solar.

Las demás respuestas de los estudiantes trataban de darle alguna definición al concepto de haz de luz a partir de la experiencia, la mayoría de estas respuestas van de la mano a explicar el haz de luz como si fuera el conjunto de rayos siempre mencionando una dirección en específico, haciendo énfasis que es proveniente de alguna fuente de luz, como por ejemplo el sol o en este caso las linternas de sus celulares



Ilustración 33. Fuente propia

Finalmente en la actividad donde se le mostraba al estudiante dos ejemplos de un sistema óptico, y se les pedía mencionar lo que se mantiene igual en ambos casos la mayoría de los estudiantes describió las partes del sistema óptico como la lente o el punto de llegada de la luz “*la luz al pasar por una lente cambia de dirección pero siempre termina juntándose en un mismo punto*” muy pocos estudiantes reconocieron la direccionalidad como algo que se mantiene en ambos casos “*se mantiene la dirección del rayo*”.

La actividad evidencia que el estudiante reconoce que, para poder observar un haz de luz, es necesario configurarlo en el entorno y que, a partir de la experiencia, identifica el haz de luz como una herramienta que permite direccionar la propagación de la luz cuando esta atraviesa un lente. Para revisar el análisis completo de la actividad diríjase a [análisis completo de la actividad](#).

#### 5.4 Dirección de los rayos: Nivel 5

Tabla 7. Fuente propia: Nivel 5 dirección de los rayos.

Nivel 5
Observa la convergencia de los rayos de luz de diferentes lentes
Comprueba en que parte del ojo humano se convergen los rayos de luz
Grafica los rayos de luz desde el objeto hacia la retina, tomando en cuenta la convergencia dentro del ojo humano
<b>Dirección de los rayos</b>

#### Para este nivel:

En este momento de la secuencia, el estudiante ya ha tenido la oportunidad de observar el cómo construir un haz de luz por experiencias previas, lo que se busca ahora es profundizar en la comprensión del fenómeno, llevando al estudiante a relacionar lo que ocurre con los haces de luz y la formación de imágenes haciendo pasar los haces de luz por distintos lentes para así observar la dirección de estos.

### Actividades de este nivel:

La actividad central consiste en colimar un haz de luz, es decir, organizar los rayos de manera que se propaguen paralelos entre sí. Una vez logrado esto, se hará que dichos haces atraviesen diferentes tipos de lentes (convergentes y divergentes) con el fin de observar de forma clara y directa cómo se modifican sus trayectorias. Se pretende que el estudiante registre las variaciones, identifique patrones y empiece a reconocer la importancia de la forma de la lente en el comportamiento final de la luz.

### ¿Por qué esta actividad?

El propósito de estas actividades es que el estudiante compruebe experimentalmente qué ocurre con la luz al pasar a través de una lente, en especial cómo los rayos pueden concentrarse en un punto de convergencia o, en el caso contrario, dispersarse. Dicho punto de convergencia resulta fundamental para comprender la formación de una imagen visual. Para revisar la guía de la actividad diríjase a [Pagina61](#)

A partir de los esquemas elaborados por los estudiantes, se pueden describir varias categorías de formas de comprensión sobre el comportamiento de la luz y de las lentes.

En primer lugar, se observa que algunos estudiantes logran diferenciar de manera general las lentes convergentes de las divergentes, reconociendo que unas “concentran” la luz y otras la “separan”. Aunque estas explicaciones no son detalladas, muestran que los estudiantes identifican que las lentes tienen efectos distintos sobre la trayectoria de la luz.

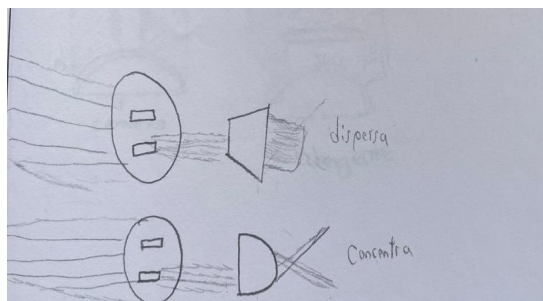


Ilustración 34. Fuente propia

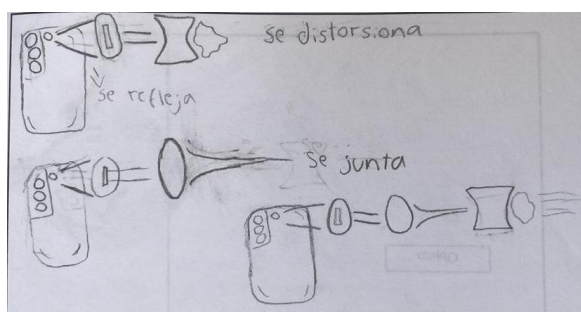


Ilustración 36. Fuente Propia

En otros casos, los esquemas presentan recorridos de la luz incompletos o poco claros se hace siempre presente en los lentes divergentes. Sin embargo, incluso cuando los dibujos no son precisos, se mantiene la idea de que la luz cambia de dirección al pasar por una lente.

En general este primero grupo de esquemas demuestra las representaciones que los estudiantes logran extraer de la actividad experimental teniendo en cuenta algunas deficiencias conceptuales más que todo visibles en los lentes divergentes



Ilustración 35. Fuente Propia

En la segunda parte de la actividad los esquemas de la formación de la imagen en el ojo humano se categorizan de la siguiente manera:

se encuentran representaciones donde se dibujan los tres rayos principales y se muestra claramente la inversión de la imagen dentro del ojo humano, entendiéndose así que la lente dentro de este “cristalino” es una lente convergente que permite la inversión de la imagen

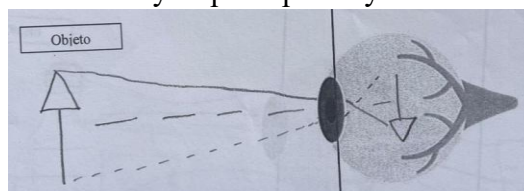


Ilustración 37. Fuente propia

Más sin embargo persisten confusiones en el trazado de rayos a partir de un objeto hasta la formación de la imagen dentro del ojo humano, por ejemplo muchos rayos provenientes del objeto que no forma ninguna imagen dentro del ojo o en otros casos únicamente dos rayos provenientes del objeto

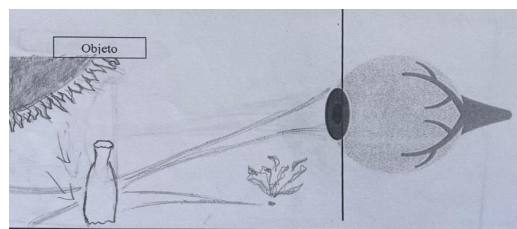


Ilustración 38. Fuente propia

En general, los esquemas elaborados en ambas actividades experimentales sobre el uso de lentes para visualizar la dirección de los haces de luz evidencian un avance significativo en las estructuras conceptuales de los estudiantes respecto al fenómeno observado. Se observa que la mayoría reconoce los haces de luz como la principal herramienta conceptual para la formación de la imagen visual a partir del objeto.

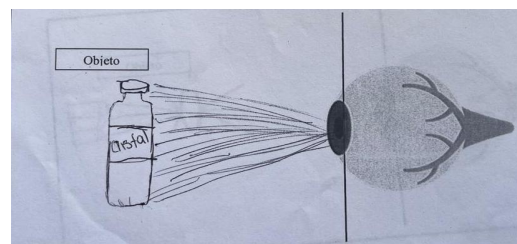


Ilustración 39. Fuente propia

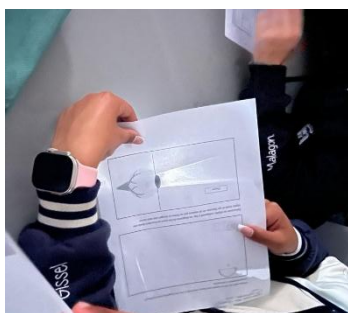


Ilustración 40. Fuente propia

Por otra parte, en la actividad relacionada con la formación de la imagen en el ojo humano, los estudiantes tuvieron en cuenta el uso de los rayos principales y reconocieron la naturaleza del lente del ojo humano como responsable de la inversión de la imagen. Sin embargo, persisten errores conceptuales asociados al trazado correcto de los rayos, ya que son muy pocos los diagramas que logran construir adecuadamente la imagen invertida en el interior del ojo humano. Para observar un análisis completo de la actividad diríjase a [análisis de la actividad](#)

## 5.5 Formación de la imagen: Nivel 6

Formación de imágenes
Infiere que para construir una imagen debemos utilizar los rayos para modelar la imagen en la retina
Comprueba en ejemplos de formación de imágenes los rayos principales para la formación de la imagen
Construye una imagen de algún objeto utilizando los rayos principales para formar la imagen
Nivel 6

### Para este nivel:

Después de haber observado el comportamiento de los rayos de luz al atravesar diferentes lentes, surge una nueva pregunta clave: ¿cómo se forma una imagen visual? Para abordar esta cuestión, se introduce el trazado de los tres rayos principales, un recurso fundamental en óptica geométrica.

### Actividades de este nivel:

La propuesta consiste en que los estudiantes seleccionen un objeto sencillo y, utilizando el trazado de los tres rayos principales, intenten recrear la imagen que se formaría a través de una lente convergente.

Tabla 8. Fuente propia: nivel 6 formación de imágenes.

### ¿Por qué esta actividad?

El propósito de esta actividad es que los estudiantes reconozcan el papel central que juegan los rayos principales en la construcción de imágenes con lentes convergentes. Al trazar y analizar cada rayo, comprenderán que la imagen no es producto del azar, sino el resultado de reglas claras y predecibles de la óptica. Además, esta práctica refuerza la conexión con el funcionamiento del ojo humano, ya que en él también intervienen haces de luz que, al ser refractados por el cristalino, convergen para formar la imagen en la retina. A través de este método, el estudiante podrá comprender cómo la posición del objeto y las propiedades de la lente determinan la ubicación, el tamaño y la orientación de la imagen que se genera. Para ver la guía de la actividad diríjase a la [pagina63](#)

A través de los diagramas elaborados por los estudiantes se evidencia un tránsito conceptual significativo, que va desde la simple reproducción de trayectorias luminosas hasta una comprensión más elaborada del comportamiento geométrico de la luz y su relación con la formación de la imagen. Para revisar el análisis completo diríjase a [análisis de actividad](#)

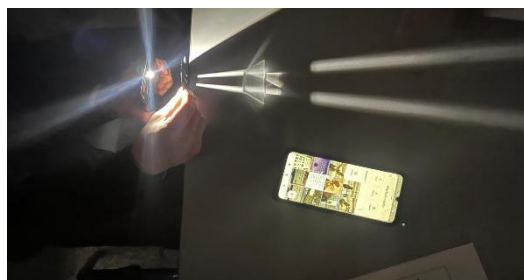


Ilustración 41. Fuente propia

Una de las categorías que se evidencia con mayor claridad en los diagramas producidos por los estudiantes es la distinción entre los tipos de lentes y su comportamiento frente a la luz. En las representaciones se observa que los estudiantes reconocen que las lentes convergentes permiten la formación de la imagen cuando los rayos de luz atraviesan el lente y convergen

en un punto, dando lugar a una imagen real situada delante de este. En contraste, la comprensión de la formación de la imagen en las lentes divergentes resulta más compleja. Al igual que en la actividad anterior, persisten errores conceptuales al momento de representar el punto de formación de la imagen virtual, especialmente en relación con su ubicación y construcción geométrica. Esto evidencia que, si bien existe una diferenciación básica entre ambos tipos de lentes, el proceso geométrico asociado a las lentes divergentes continúa siendo un desafío cognitivo para los estudiantes.

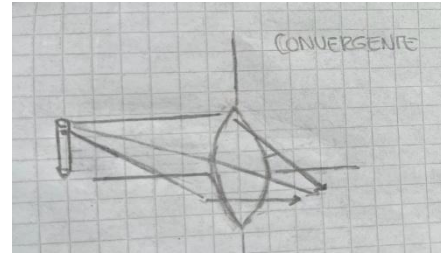


Ilustración 42. Fuente propia

Otra categoría presente en los diagramas corresponde al uso interpretativo del trazado de rayos. En las producciones de los estudiantes se consolida la idea de que los rayos no son simples líneas dibujadas, sino que representan una dirección específica que permite explicar la dirección de la luz. En este sentido, el rayo adquiere una función explicativa, ya que se le atribuye una direccionalidad asociada al comportamiento de la luz al atravesar la lente. Esto hace pensar que el estudiante toma la

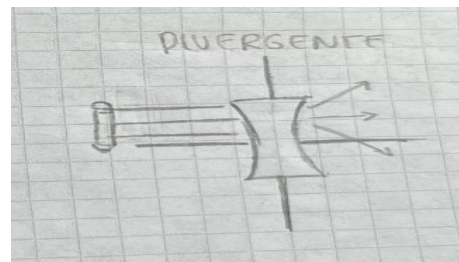


Ilustración 43. Fuente propia

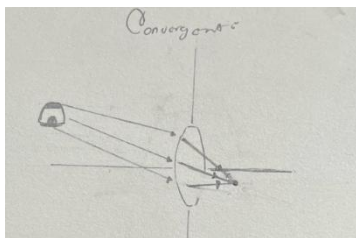


Ilustración 44. Fuente propia

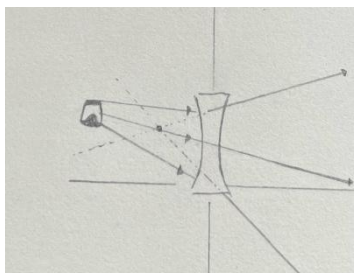


Ilustración 45. Fuente propia

direccionalidad del rayo de luz para su uso explicativo en la formación de la imagen y no únicamente como una manifestación visible.

Una categoría especialmente evidente es la necesidad de explicar un punto de llegada de los haces de luz. Este concepto aparece con mayor claridad en las lentes convergentes, donde los estudiantes intentan ubicar el punto en el que los rayos se encuentran. Sin embargo, en el caso de las lentes divergentes, esta construcción se torna más confusa. Aunque los diagramas reconocen que los rayos se separan, y que la imagen se forma detrás de la lente por la continuidad de los haces de luz, específicamente como se construye la imagen con la llegada de los tres rayos principales presenta dificultades, reflejadas en inconsistencias en la dirección de los haces y en la ubicación

del punto focal.

Se identifica una categoría relacionada con el reconocimiento de la formación de la imagen a partir del trazado de rayos. A través de los diagramas, los estudiantes logran asociar la forma y las características de la imagen con el tipo de lente utilizada. Los estudiantes comienzan a integrar el trazado de rayos y su cualidad invariante de la direccionalidad como una herramienta clave para explicar cómo se forma la imagen en los sistemas ópticos.

## 5.7 Nuevas ideas acerca de la visión: Nivel 7

Nuevas ideas acerca de la visión
Reflexiona sobre lo aprendido en torno a la formación de la imagen, retomando las ideas iniciales sobre cómo la luz se propaga, y se forma la imagen
Representa mediante un esquema final el trazado de rayos en la formación de una imagen holográfica.
Interpreta y describe la formación de la imagen en el holograma construido utilizando los conocimientos desarrollados a lo largo de la secuencia
Nivel 7

Tabla 9. Fuente propia: nivel 7 nuevas ideas acerca de la visión

### Para este nivel:

En este nivel se propone el cierre de toda la secuencia, invitando al estudiante a reflexionar sobre los saberes adquiridos a lo largo del proceso. El propósito es que, a partir de esta reflexión, pueda elaborar nuevas interpretaciones y poner en práctica los conocimientos construidos.

### Actividades de este nivel:

La actividad planteada para este nivel, concebida como cierre de toda la secuencia, consiste en la construcción de un holograma a partir de materiales sencillos y el uso del celular. Con esta experiencia se busca que el estudiante integre de manera práctica los aprendizajes adquiridos, transformándolos en una representación creativa y significativa.

### ¿Por qué esta actividad?

La razón de esta actividad radica en que cada estudiante deberá explicar la formación de la imagen producida en la estructura del holograma. Este ejercicio lo llevará a aplicar los conocimientos, descripciones e interpretaciones construidas a lo largo de la secuencia, tales como la noción de rayo de luz y el análisis de su comportamiento en los lentes. Para ver la guía de la actividad diríjase a la siguiente [pagina64](#)

De la producción hecha por los estudiantes podemos extraer las siguientes categorías de análisis de estas respuestas

Una de las primeras categorías es el reconocimiento de la pirámide de acetato, generando que este se comporte como los lentes que los estudiantes ya habían trabajado en las actividades previas, los estudiantes describen que cada cara de la pirámide es la que refracta cada parte o imagen de la que observan “*la luz pasa por el plástico que funciona como lentes, se desvían y se cruzan, haciendo que el ojo los vea como si viéramos desde arriba del celular*”.



Ilustración 46. Fuente propia

En las producciones de los estudiantes tratan de describir como es que se forma la imagen del holograma, la principal descripción es que la imagen es una imagen virtual construida e interpretada por el observador *“El holograma se ve por la luz de la pantalla que rebota en el plástico y llega a nuestros ojos, haciendo que el cerebro lo interprete como una imagen flotando en el aire.”*



Ilustración 47. Fuente propia

El experimento tenía como finalidad darle un reto a los estudiantes que pudieran formar la imagen, al suponer una imagen holográfica como objeto, algunos estudiantes trataron de explicar la formación de la imagen con un diagrama.

Donde se puede distinguir la formación de la imagen del holograma por las cuatro caras y de qué manera viajan los rayos encargados de formar la imagen hacia nuestros ojos, distinguiendo únicamente dos rayos que salen de lo que parece ser un objeto del centro de la pirámide de acetato.

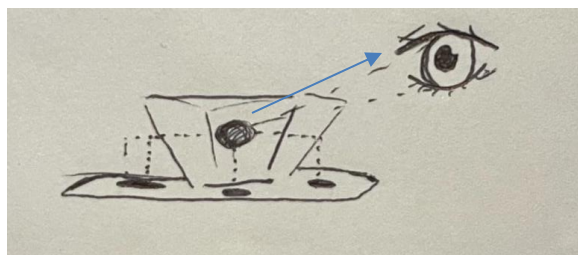


Ilustración 48. Fuente propia

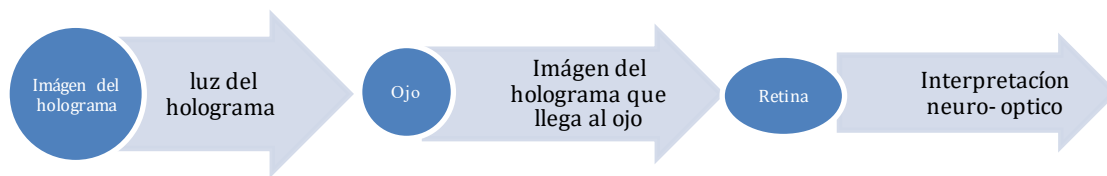
Obteniendo respuestas como *“la imagen se forma gracias a la reflexión de la luz en superficies transparentes en la pantalla del celular por los cuatro lados, las imágenes deben ser exactamente iguales y se proyectan en el centro como si fuera una y estuviera flotando, el ojo humano percibe las imágenes de manera virtual”* o por ejemplo *“yo creo que la luz que emite la pantalla viaja en línea recta y rebota en las paredes hacia arriba y así forma la imagen y el ojo la interpreta como una imagen tridimensional”*.



Ilustración 49. Fuente Propia

Se presentan interpretaciones de los estudiantes a cerca del proceso de la visión teniendo en cuenta la experiencia del holograma, por ejemplo: *“la luz del holograma entra al ojo, pasa por los lentes y se enfoca en la retina, interpretando una imagen tridimensional”*. esta interpretación acerca de la visión evidencia una noción más profunda del rol del observador como integrador de información óptica, formando así la relación objeto-luz-ojo. Para revisar el análisis completo de la actividad diríjase a [análisis de la actividad](#)

Estas descripciones de los estudiantes sobre cómo se forma la imagen en el ojo humano permiten, al reunir las, esquematizar el proceso de la visión a partir de la relación entre el objeto en este caso, el holograma, la luz que transporta la información de la imagen y el ojo, entendido como el sistema óptico encargado de interpretar dicha información.



Esquema 3. Fuente propia: Proceso de visión a partir de descripciones de los estudiantes

El proceso comienza con la imagen construida por la pirámide de acetato y el video reproducido en el celular. Esta imagen proyecta luz que transporta la información visual, la cual es recibida por el ojo y posteriormente llega a sus estructuras internas para ser procesada. El diagrama ejemplifica, a grandes rasgos, el proceso de la visión construido a partir de las explicaciones de los estudiantes y refleja la importancia del observador en dicho proceso, puesto que la interpretación de la imagen depende de este.

A lo largo de la actividad, los estudiantes fueron modificando sus ideas sobre cómo explicar la formación de la imagen en el ojo humano al percibir el holograma. Aunque pocos elaboraron diagramas, es posible observar que analizan la imagen como una construcción a partir de los rayos de luz que la conforman. Asimismo, emplean términos como *reflexión* y *refracción* para argumentar sus explicaciones sobre el holograma y la manera en que el ojo humano lo percibe de forma tridimensional. Aunque no mencionan de forma explícita los rayos de luz, en sus descripciones se evidencia la idea de que la luz viaja en línea recta hacia nuestros ojos para construir la imagen visual.

## 6. Conclusiones

El presente trabajo se propuso responder a la pregunta problema: ¿cuáles son las interpretaciones y descripciones que construyen los estudiantes del grado 1101 de la Institución Educativa Heladia Mejía sobre la visión y la formación de imágenes en el ojo humano, a partir de una secuencia experimental? Para ello, se diseñó e implementó una secuencia de actividades experimentales que giraron en torno al ojo humano como sistema óptico, invitando a los estudiantes a reflexionar no solo sobre la propagación de la luz, sino también sobre la manera en que observan el mundo mientras analizan el proceso de formación de imágenes. Este enfoque permitió situar la óptica en un contexto cercano, favoreciendo la construcción progresiva de explicaciones en torno a la luz y su comportamiento en función de la formación de imágenes.

En coherencia con el objetivo específico de “analizar y caracterizar las interpretaciones de los estudiantes respecto a las actividades de la secuencia de enseñanza centradas en la formación de imágenes en el ojo humano”, el análisis de sus producciones permitió identificar un conjunto de caracterizaciones que organizan sus formas de explicación y representación del fenómeno. Estas caracterizaciones no aparecen de manera aislada, sino que se van consolidando y resignificando a lo largo de la secuencia experimental, dando cuenta de un proceso gradual de construcción de significado.

En primer lugar, se identifica la caracterización de la direccionalidad de los rayos como invariantes, en la cual los estudiantes reconocen el rayo de luz como un elemento fundamental que mantiene una dirección definida y que permite explicar la formación de la imagen. Aunque en algunos casos los trazados resultan incompletos o poco precisos, se evidencia una comprensión inicial de que la luz sigue trayectorias que pueden representarse y analizarse para dar cuenta de lo que ocurre en un sistema óptico.

En las primeras actividades, particularmente en los diagramas donde se solicitaba representar la formación de la imagen invertida mediante el trazado de rayos de luz, se observaron recorridos que no respondían a un criterio claro de direccionalidad. Esta situación puede atribuirse a que, para muchos estudiantes, se trataba de una primera aproximación a la descomposición geométrica del proceso de formación de la imagen. En este momento inicial, los rayos eran trazados principalmente con el propósito de obtener una imagen invertida, sin considerar aún las condiciones físicas asociadas a la propagación de la luz.

Sin embargo, estas primeras aproximaciones no constituyen simples errores, sino momentos necesarios dentro del proceso de conceptualización. A partir de estas experiencias iniciales, los estudiantes comienzan a identificar ciertos aspectos invariantes del fenómeno, en particular el rayo de luz y su dirección de propagación, los cuales conservan y resignifican en actividades posteriores. Cuando el estudiante experimenta con la colimación de un haz de luz y observa su interacción con distintos tipos de lentes, estas experiencias dotan de sentido a los diagramas de rayos previamente construidos.

En este contexto, el rayo se consolida en las producciones de los estudiantes como una herramienta geométrica que permite representar y explicar cualidades de la luz en función de la formación de la imagen. Cada rayo empleado en los diagramas adquiere un propósito específico dentro del proceso de construcción de la imagen, tal como se evidenció en la actividad de los rayos notables. De este modo, la explicación de la formación de la imagen se apoya de manera consistente en la direccionalidad de los rayos, cualidad que se mantiene como un elemento central para describir la propagación de la luz a lo largo de los distintos fenómenos abordados en la secuencia experimental.

Una segunda caracterización corresponde al foco como organizador del fenómeno. En esta categoría, los estudiantes intentan explicar la convergencia o divergencia de los rayos y la manera en que estos se relacionan con un punto de llegada de la luz. Si bien persisten confusiones, especialmente en el caso de las lentes divergentes y la construcción de la imagen virtual, el foco aparece como un referente explicativo que organiza el trazado de los rayos y la formación de la imagen.

La tercera caracterización, el ojo como sistema óptico, muestra un avance significativo en las interpretaciones estudiantiles. Aquí, los estudiantes comienzan a establecer relaciones entre las lentes estudiadas y el funcionamiento del ojo humano, reconociendo que la visión implica un sistema compuesto por varios elementos que interactúan entre sí. Esta analogía favorece una comprensión más integrada de la formación de imágenes y permite que la óptica deje de ser un contenido abstracto para vincularse con la experiencia cotidiana del ver.

Finalmente, se identifica la caracterización del observador como integrador, en la cual los estudiantes no solo describen el comportamiento de la luz, sino que comienzan a reconocerse a sí mismos como parte activa del proceso de observación. En esta perspectiva, la formación de la imagen se comprende como el resultado de la interacción entre la luz, el objeto observado y el observador, lo que abre un espacio para reflexionar sobre el propio acto de ver y sobre cómo se construye el conocimiento a partir de la experiencia perceptiva. La incorporación del ojo humano como sistema óptico favoreció una comprensión más integrada del fenómeno visual, en la que la luz deja de ser un elemento abstracto para convertirse en un componente fundamental del proceso de visión. De este modo, los estudiantes superan explicaciones fragmentadas y construyen interpretaciones más coherentes, en las que articulan el funcionamiento del sistema óptico del ojo con la experiencia perceptiva, reconociendo al observador como un elemento central en la construcción de la imagen y del conocimiento asociado a la visión.

La categorización de las producciones de los estudiantes permitió identificar como uno de sus rasgos más distintivos la presencia de errores conceptuales, tanto en las representaciones gráficas como en las descripciones textuales. Estos errores se manifiestan principalmente en los diagramas elaborados por los estudiantes, donde se observan inconsistencias en la dirección de los rayos, en la ubicación del foco o en la relación entre la lente y la formación de la imagen. Lejos de concebirse únicamente como fallos, estas dificultades se comprenden

como parte fundamental del proceso de enseñanza por conceptualización, ya que es a través de la experiencia y la repetición del trazado de rayos que los estudiantes comienzan a reorganizar sus esquemas conceptuales.

A partir del análisis y la caracterización de las descripciones e interpretaciones elaboradas por los estudiantes, es posible reconocer tanto los aspectos positivos de la secuencia experimental como aquellos susceptibles de ser mejorados. Entre los puntos positivos, se destaca el poder formativo de la secuencia, en la medida en que favorece la construcción de conceptos a partir de la experiencia directa con el fenómeno físico. En este proceso, la representación gráfica y la intervención experimental se desarrollan de manera simultánea, configurando un proceso continuo que se activa y se transforma a medida que el estudiante entra en contacto con nuevas experiencias, las cuales le permiten poner en juego y reorganizar sus estructuras conceptuales. A lo largo de la secuencia, los estudiantes fueron modificando progresivamente dichas estructuras cada vez que interactuaban con el fenómeno o lo representaban mediante diagramas o descripciones, seleccionando y configurando cognitivamente aquellos elementos que consideraban pertinentes para que la representación se correspondiera con la experiencia y con su comprensión conceptual en ese momento.

Por otra parte, dentro de los aspectos a mejorar, se hace necesario reflexionar sobre las estrategias que permitan promover un mayor compromiso del grupo de estudiantes con las actividades propuestas. Este factor se identificó como una de las principales dificultades durante el desarrollo de la secuencia, ya que no todos los estudiantes manifestaron curiosidad o interés por el trabajo con las lentes ni por la reflexión en torno a la manera en que vemos. En este sentido, el reto didáctico no solo radica en el diseño de actividades experimentalmente, sino en pensar cómo llevarlas al aula de manera que, en grupos numerosos como el caso de un curso de aproximadamente cuarenta estudiantes, se favorezca una participación más orgánica y sostenida, que posibilite la construcción colectiva del conocimiento.

## 7. Bibliografía

- Aragón, L., Jiménez Tenorio, N., Oliva Martínez, J. M., & Aragón Méndez, M. (2018). La modelización en la enseñanza de las ciencias: criterios de demarcación y estudio de caso. *Revista científica*, 193-206.
- Arango Simoni, K., Mejía Echavarría, L. F., & Abad Londoño, J. C. (2013). Fundamentos de cirugía: Oftalmología — 2ª edición. *CIB – Corporación para Investigaciones Biológicas*.
- Arnold, J. (1983). Observación de la pupila. *Natura Medicatrix: Revista médica para el estudio y difusión de las medicinas alternativas*(3), 22-22.
- Barriga, Á. D. (2013). Secuencias de aprendizaje. ¿Un problema del enfoque de competencias o un reencuentro con perspectivas didácticas? *Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado*, 17(3), 11-33.
- Beamer, A. J. (1972). *The Possible Causes and Remediation of Inverted Vision*. Tesis de maestría, Central Washington University, Ellensburg, WA,.
- Bear, M., Connors, B., & Paradiso, M. (2016). Neuroscience: Exploring the Brain. *Wolters Kluwer*(4ª edición).
- Beeson, S., & Mayer, J. (2007). *Patterns of light: chasing the spectrum from Aristotle to LEDs*. New York: Springer Science & Business Media.
- Berkson, W. (1981). *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. Madrid: Alianza Editorial.
- Bruner, J. (1998). *Acción, pensamiento y lenguaje*. Madrid: Alianza.
- Carmona, B. E. (2017). *Secuencias didácticas como estrategia de aprendizaje colectivo para fortalecer el pensamiento espacial en los niños de grado tercero de la Institución Educativa Evaristo García*. Tesis de Maestría en Educación, Universidad ICESI, Facultad de Ciencias de la Educación, Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia.

- Carmona, G., Goldstein, P., Ley-Koo, E., de la Selva, S., Piña, E., Campos, I., . . . García-Colín, S. (2013). *Michael Faraday: Un genio de la física experimental*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Carnap, R. (1985). *Fundamentacion logica de la ciencia*. Madrid, España: Alianza Editorial.
- Contreras, M. S. (2019). *Taxonomía Socioformativa: Un Referente para la Didáctica y la Evaluación*. CIFE – Centro Universitario CIFE.
- Crispín Bernardo, M., Caudillo Zambrano, M., Doria Serrano, M., & Esquivel Peña, M. (2011). *Aprendizaje autonomo. Orientaciones para la docencia*. México: Pearson Educación.
- Díaz, Á. (2013). Un reencuentro con perspectivas. *Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, 17(3), 11-33.
- Felix Platter. (s.f.). Obtenido de EcuRed: [https://www.ecured.cu/Felix\\_Platter](https://www.ecured.cu/Felix_Platter)
- Frade Rubio , L. (2009). *Planeación por competencias* (2 ed.). México: Inteligencia Educativa.
- Franklin, A. (2019). *Experiment in Physics*. (E. N. Zalta, Ed.) Obtenido de The Stanford Encyclopedia of Philosophy: <https://plato.stanford.edu/archives/win2019/entries/physics-experiment/>
- García Rodríguez, D. P., & Nuñez Mojica, E. (2006). Propuesta alternativa para la enseñanza de la optica. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 25(2), 277-294.
- García, L. O., Martínez, J. T., Carbonell, R. V., & Alis, J. C. (2007). Planificando la enseñanza problematizada: el ejemplo de la óptica geométrica. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 277-294.
- García, R. (1997). *La epistemología genética y la ciencia contemporánea: Homenaje a Jean Piaget en su centenario*. Barcelona, España: Gedisa.
- Garzón Barrios , M. (2024). *La historia, la fenomenología y la epistemología de la física. Orientaciones conceptuales, pedagógicas y didácticas para la enseñanza de la*

- termodinámica en el contexto de formación de profesores*. Tesis doctoral, Universitat de Barcelona, Barcelona, España.
- Gregg, V., Winer, G., Cottrell, J., Hedman, K., & Fournier, J. (2001). The persistence of a misconception about vision after educational interventions. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(3), 622-626.
- Hecht, E., & Zajac, A. (2000). *Óptica*. Madrid: Addison-Wesley Iberoamericana.
- Kelber, A., Vorobyev, M., & Osorio, D. (2003). Animal colour vision - behavioural tests and physiological concepts. *Biological Reviews*, 78(1), 81–118.
- Koponen, I., Kurki-Suonio, K., Jauhiainen, J., Hämäläinen, A., & Lavonen, J. (2000). El papel de la experimentalidad en la formación de conceptos en física: cuantificación de experimentos e invariancias. En *Physics Teacher Education Beyond 2000: Selected Contributions of the International Conference* (págs. 337-340).
- Kortland, k., & klaassen, k. (2010). Designing theory-based teaching-learning sequences for science education: Proceedings of the symposium in honour of Piet Lijnse at the time of his retirement as professor of Physics Didactics at Utrecht University. *CDBèta Press, Utrecht*, 158.
- Levinas, M. (2001). Filosofía de las ciencias de la naturaleza en el siglo XIX. En *La filosofía del siglo XIX* (págs. 303-336). Madrid: Trotta.
- María Teresa de la Garza Camino, S. C. (2011). *Aprendizaje autónomo: orientaciones para la docencia*. México: Pearson Educación.
- Meirieu, P. (2002). *Aprender, si. pero ¿como?* Barcelona: Octaedro.
- Mogollón, P. (2006). Una visión histórica de la óptica. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 4(6), 71-78.
- Moreira, A. (2002). La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(1), 13-31.

- Muñoz, S. M. (2007). Fundamentos de campo visual. *Ciencia y tecnología para la salud visual y ocular*(8), 85-92.
- Mustafi, D., Engel, A., & Palczewski, K. (2009). Structure of cone photoreceptors. *Progress in Retinal and Eye Research*, 28(4), 289-302.
- Olarte, R. V. (2011). Entendiendo e interpretando las aberraciones ópticas. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 9(2), 105-122.
- Palacios, F. J. (1994). Enseñanza de la optica. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*(1), 133-138.
- Pascual, R. (2020). La retina del revés. *Ocularis*. Obtenido de <https://ocularis.es/la-retina-del-reves>
- Pozo Muncio, J. I., & Gómez Crespo, M. Á. (2009). *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- Prado, A., Camas Benítez, J., & Sánchez, R. (2006). Fototransducción visual. *Revista Mexicana de Oftalmología*, 80(6), 340-346.
- Prieto, J. P. (2011). Secuencias didácticas: aprendizaje y evaluación de competencias en educación superior. *Bordón: revista de pedagogía*, 63(1), 77-92.
- Puell Marin, M. C. (2006). Óptica fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular. *UNED*.
- Ramírez V. A. . (2018). *Defectos refractivos (miopía, hipermetropía y astigmatismo) desde la óptica geométrica, una experiencia de aprendizaje activo con un grupo de estudiantes del tópico de óptica física de la Universidad Pedagógica Nacional*. Trabajo de grado , Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- Sánchez, M. A. (s.f.). *Luz y vision*. Obtenido de Luz y vision: <http://rsefalicante.umh.es/luz-y-vision.htm>
- Sánchez, R. F. (2018). *Calidad visual en el rango de adaptación mesópico*.

- Sánchez-Contreras, M. L. (2019). *Taxonomía Socioformativa: Un Referente para la Didáctica y la Evaluación* (Vol. 1). Forhum International Journal of Social Sciences and Humanities.
- Suárez, E. E. (2016). *Propuesta didáctica para la enseñanza de la óptica geométrica, tomando como modelo pedagógico el Constructivismo*. Trabajo de grado- Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Tobar, A. A. (2022). Secuencias didácticas como estrategia pedagógica en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Educación Científica, Crítica y Emancipadora*, 1(1), 505-523.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(2-3), 133-170.
- Viennot, L. (2002). *Razonar en física*. Madrid: Antonio Machado Libros.
- Villa, C., & Santodomingo, J. (2003). La córnea. Parte I. *Molecular Vision*, 9, 440-448.
- Virginia , G., Winner, G., Cottrell , J., Hedman, K., & Fournier, J. (2001). The persistence of a misconception about vision.
- Worfold, R. (1965). Canine Optics. *Clinical and experimental Optometry*, 48, 164-174.
- Young, T. (1832). The bakarian lecture. On the theory of light and colours. In Abstract of the Papers Printed in the Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 122, pp. 63-67.

## 8. Anexo 1: Guías de las actividades de la secuencia

### 8.1 Primera actividad: Prototipos de cámaras

Objetivo de la actividad:

- **Reconocer la estructura del ojo humano**

*¿Qué pasaría si tuvieran que diseñar una cámara desde cero, basándose únicamente en el sistema de visión más perfecto que conocemos: el ojo humano?*

Imagínense que son un grupo de ingenieros cuya tarea es tratar de recrear y diseñar una cámara que funcione de manera similar al sistema visual humano. Para ello, deberán basarse en la comprensión de cómo la luz interactúa con los objetos y en la anatomía del ojo. Deben diseñar su cámara pensando en cada parte y su funcionalidad, acuérdense que ustedes se basan en el ojo humano.

Diseñen su cámara y describan cada parte de ella y justifiquen su funcionalidad.

Ahora que ya diseñaron su cámara, escuchen los prototipos de las cámaras de los otros grupos de ingenieros y traten de evaluar la eficiencia óptica o de diseño de las otras cámaras, acuérdense que el mejor prototipo de Cámara es el que sale finalmente al mercado.

---

---

---

## 8.2 Segunda actividad: Creación de las cámaras oscuras

Objetivos

- **Examinar el recorrido de la luz desde el objeto que se observa hasta su punto de llegada en el ojo humano.**

Nuestros ojos son los encargados de proporcionarnos la información visual del mundo que nos rodea. Cada una de sus partes cumple un papel fundamental en el proceso de la visión, desde el momento en que la luz ingresa hasta que es interpretada por nuestro cerebro

Actividades:

Una cámara oscura, o cámara estenopeica, es una caja cerrada con un pequeño orificio en uno de sus lados y una pantalla translúcida en el lado opuesto. Su funcionamiento consiste en que la luz atraviesa el orificio y proyecta en la pantalla una imagen real e invertida del exterior.

Materiales:

- Cartulina con las guías para hacer recorte
- Papel de calcar
- Una aguja
- Tijeras
- Pegamento

### Procedimiento

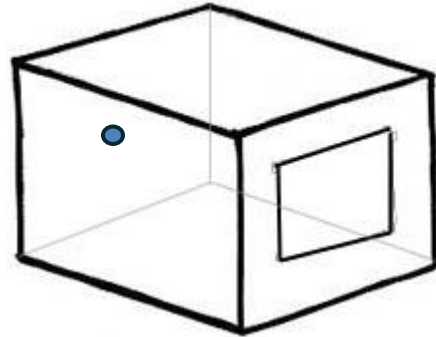
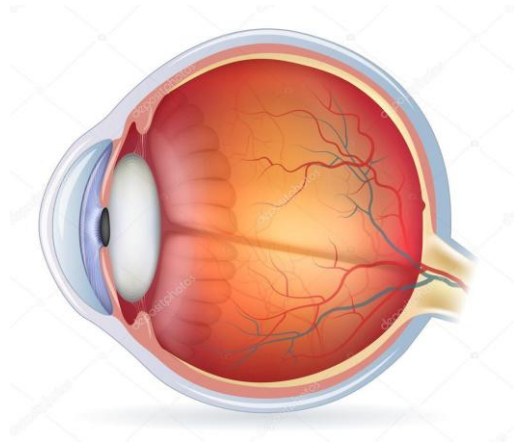
- En la cartulina negra se encuentran unas guías que deben recortarse.
- Una vez obtenidas las caras de la caja, se deben ensamblar de manera que no quede ninguna abertura por donde pueda entrar la luz.
- En la cara posterior se realiza un recorte en el cuadrado interior y, sobre ese espacio, se pega el cuadrado de papel calcar.
- Luego, se pegan todas las partes de la caja asegurando su firmeza.
- Finalmente, con ayuda de una aguja, se perfora cuidadosamente un pequeño orificio en la cara frontal de la caja

***¡A observar!***

En una habitación oscura dirige la cámara hacia la pantalla con tu celular encendido o a una vela o una fuente luminosa

**Ahora contesta:**

En la siguiente imagen señala las partes que corresponden a las partes de la cámara estenopeica y describe su funcionamiento



---

---

---

¿Qué logras ver? ¿Cómo explicas lo que ves?

---

---

---

¿Qué papel tiene la luz en lo que logras ver?

---

---

---

### 8.3 Tercera actividad: Imagen invertida

Objetivo:

- **Examinar en el experimento la imagen invertida**

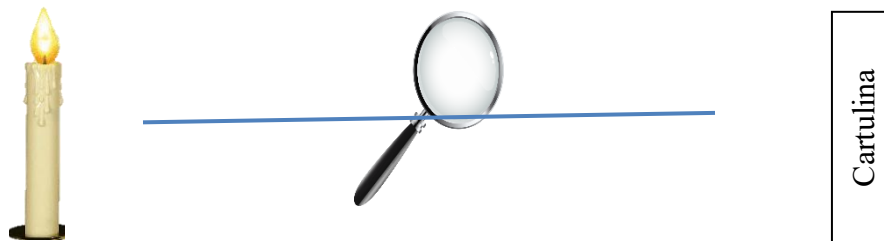
Pensar en una imagen invertida proyectada en nuestras retinas resulta contraintuitivo, puesto que nuestra visión no es al revés resulta interesante entonces que hace que nuestra visión sea invertida

Materiales:

- Una vela
- Una lupa
- Una cartulina blanca

Procedimiento:

Colocaremos nuestra vela a una cierta distancia de la lupa y de la cartulina blanca, encenderemos nuestra vela y observaremos que es lo que sucede



Realice un diagrama de la luz cuando pasa por la lupa



## 8.4 Cuarta actividad: Construcción del haz de luz

Objetivos de la actividad

- **Construir un haz de luz**

Nosotros en nuestro entorno no logramos ver los rayos de luz, pero de cierta manera podemos recrearlo en un entorno experimental, el rayo o haz de luz es importante ya que nos sirve explicar lo que le sucede a la luz cuando entra en otro medio, en este caso trataremos de colimar un rayo de luz de alguna fuente puntual.

Materiales:

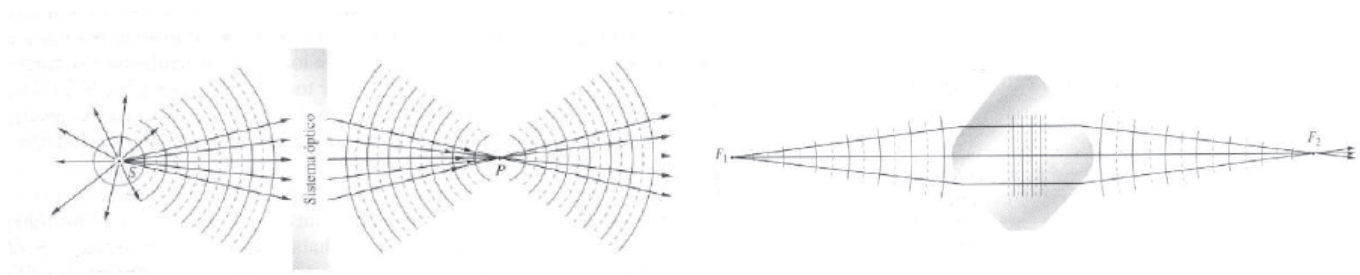
- lámpara
- Rendijas
- Distintos tipos de lentes

Procedimiento:

- Con nuestra fuente encendida trataremos de enfocar una de las rendijas haciendo que pase la luz exactamente por estas rendijas.
- Colocaremos nuestra fuente junto a la rendija al borde de la mesa junto nuestra cartulina negra
- Observaremos un camino de luz que en el recorrido debemos colocar una lente
- Observaremos y cambiaremos las distancias hasta que el recorrido de la luz sea vuelva finito

Con base a la experiencia en clase que interpretación le das a un haz de luz? Podemos ver los haces de luz en nuestro entorno?

En las dos siguientes imágenes se presenta el comportamiento de la luz cuando atraviesan un lente, convergiendo la luz en un foco próximo, describe que es lo que se mantiene similar en las situaciones



### 8.5 Quinta actividad: Comportamiento de los haces de luz

Objetivo:

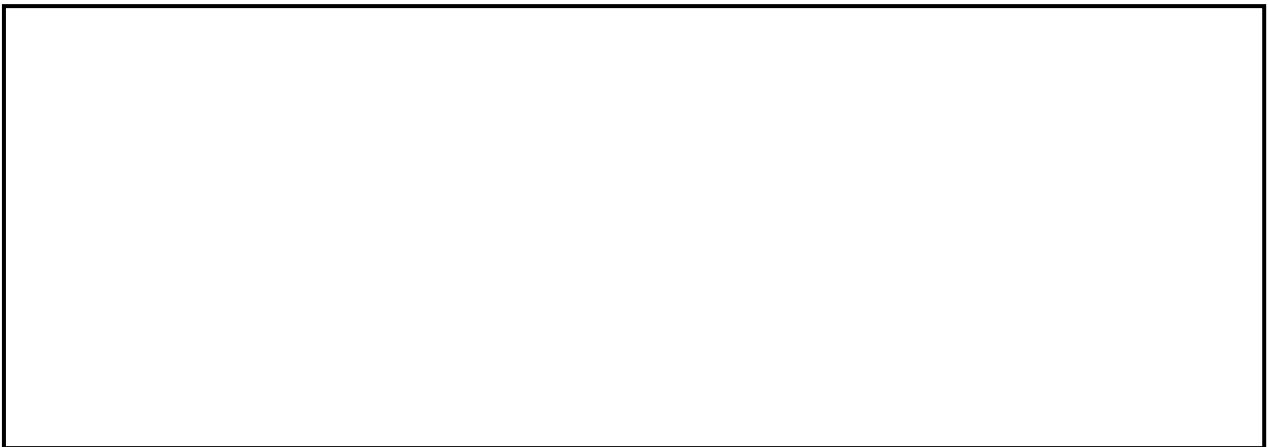
- **Comprobar el comportamiento de los haces de luz cuando pasan por distintos lentes.**

Los lentes tienen la capacidad de desviar en cierta medida la luz, de esta manera existen distintos comportamientos que la luz llega a tener cuando pasan por este medio

Procedimiento:

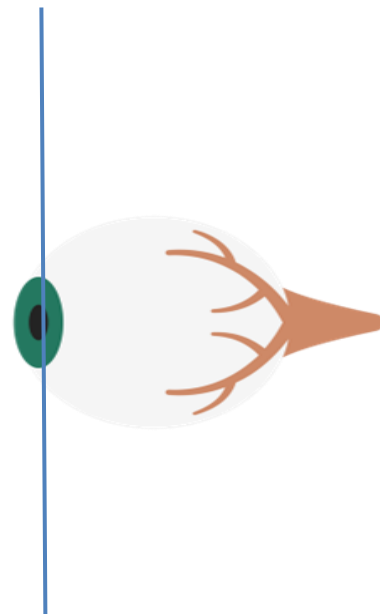
Una vez hallemos colimado un haz de luz colocaremos en el camino de este haz distintas lentes y observaremos su comportamiento y su recorrido

Dibuja cada uno de los lentes que hayas observado y haz un diagrama que describa el comportamiento y dirección



Selecciona un objeto cualquiera y haz un diagrama de los rayos proveniente desde ese objeto hasta el ojo humano de tal manera que se forme la imagen con esos rayos:

Objeto



### 8.6 Sexta actividad: Ley de snell y rayos de luz

Objetivos de la actividad:

- Identificar la ley de snell en la formación de la imagen.

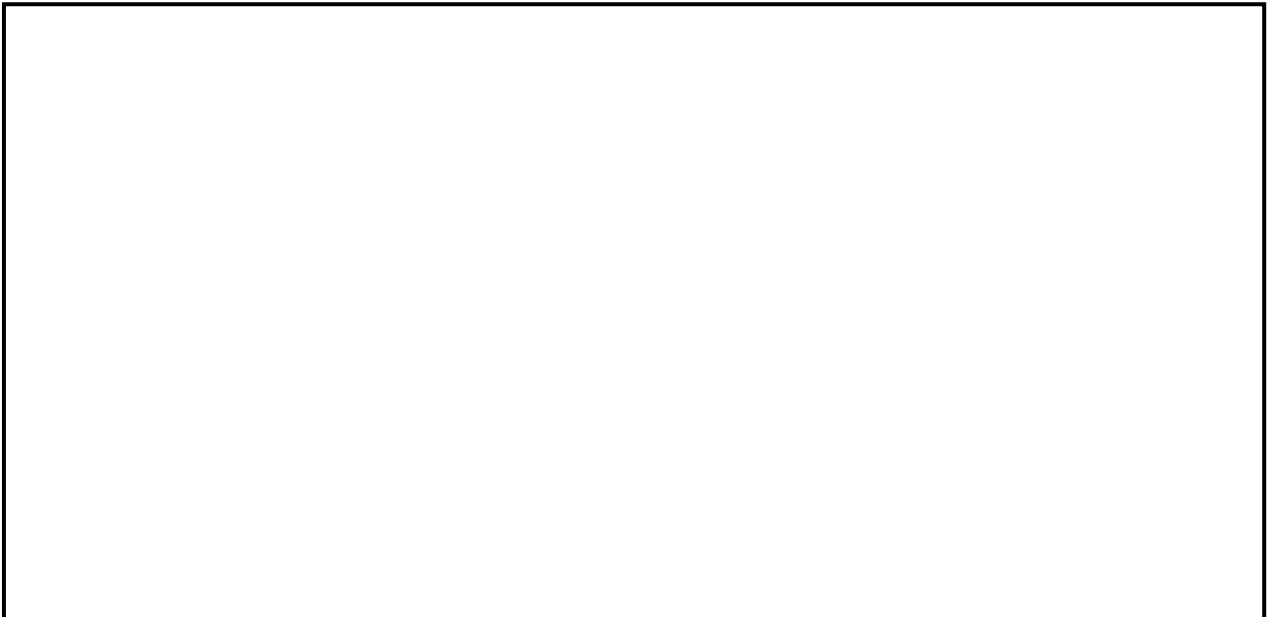
El comportamiento de la luz puede cambiar cuando esta cambia de un medio a otro, de igual manera la imagen visual se altera dependiendo del medio por el cual pase la luz

Procedimiento:

- Llenaremos de agua dos vasos
- A uno de ellos introduciremos un resaltador hasta que el agua tome un color verde
- Ahora el vaso que tiene el agua normal introduciremos objetos como lápices y veremos que le sucede:
- Posteriormente al vaso con resaltador haremos pasar un láser y observaremos el láser materializado en el agua y jugaremos con la posición del láser.

Observaremos que cuando introducimos un objeto en el vaso de agua lo vemos distorsionado o cambiara de lugar, la pregunta es que les suceden a esos rayos de luz para que veamos así los objetos?

Haz un diagrama que represente los rayos de luz en el vaso de agua



### 8.6 séptima actividad: Formación de la imagen usando el trazado de rayos

Objetivo:

- Analizar, mediante el trazado de rayos, la formación de la imagen de un objeto al atravesar una lente.
- Reconocer la importancia de los tres rayos principales como recurso gráfico para predecir las características de la imagen

Para describir la imagen que se forma de un objeto frente a una lente convergente, es necesario descomponer dicho objeto en al menos tres rayos principales. Estos rayos permiten determinar con precisión la posición, tamaño y orientación de la imagen.

1. Selecciona un objeto sencillo.
2. Traza los tres rayos principales desde el extremo superior del objeto hacia la lente.
3. Identifica el punto de intersección de los rayos refractados y marca allí la posición de la imagen.
4. Representa gráficamente la imagen formada, indicando si es real o virtual, derecha o invertida, mayor o menor que el objeto.



### 8.7 Octava actividad: Creación de un holograma

Objetivo:

- Interpretar y describir la formación de la imagen en un experimento de imagen holográfica

**Procedimiento:**

- Se cortarán 4 caras de una figura piramidal en una lámina de acrílico.
- Después se pegarán las 4 caras formando así la figura.
- En nuestro dispositivo celular seleccionaremos un video que se muestre en las 4 caras de nuestra figura y posicionaremos está en el centro de nuestra pantalla del celular.

Ahora observaremos una de las caras de nuestra pirámide.

Describe e interpreta el proceso de formación de la imagen en el holograma, apoyándote en las herramientas conceptuales y el conocimiento construidos en las actividades anteriores. Finalmente, elabora una producción personal en la que expongas tus ideas, conclusiones e interpretaciones sobre esta experiencia.

---



---



---

Explica con tus propias palabras cómo se forma la imagen del holograma en el ojo humano, relacionando el recorrido de los rayos de luz, su comportamiento al pasar por los lentes y la forma en que el ojo capta y proyecta la imagen

---



---



---

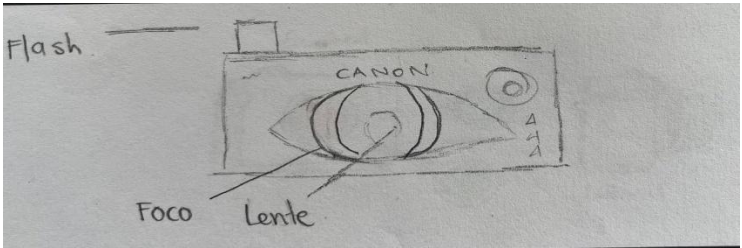
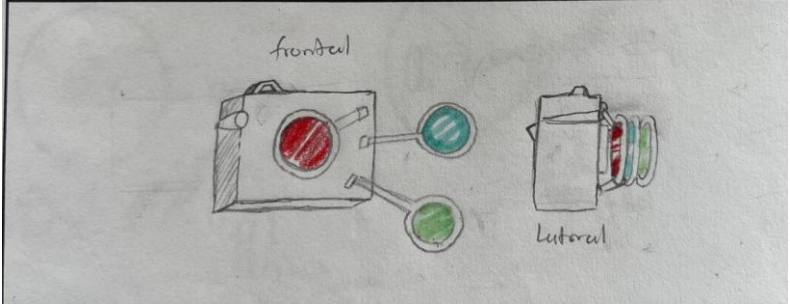
## 9. Anexo 2: análisis de resultados de la implementación

La manera de analizar estos resultados consiste en caracterizar las producciones realizadas por los estudiantes en torno a la actividad. Posteriormente, según el caso, cuando se trata de diagramas, estos se interpretan con el fin de describir los detalles más relevantes; luego, se elabora una síntesis general de los hallazgos. En el caso de las descripciones textuales, se seleccionan oraciones significativas que contribuyen a construir explicaciones, generando así una narrativa coherente en la que se articulan todos los análisis. Finalmente, se realiza una síntesis general de estas producciones.

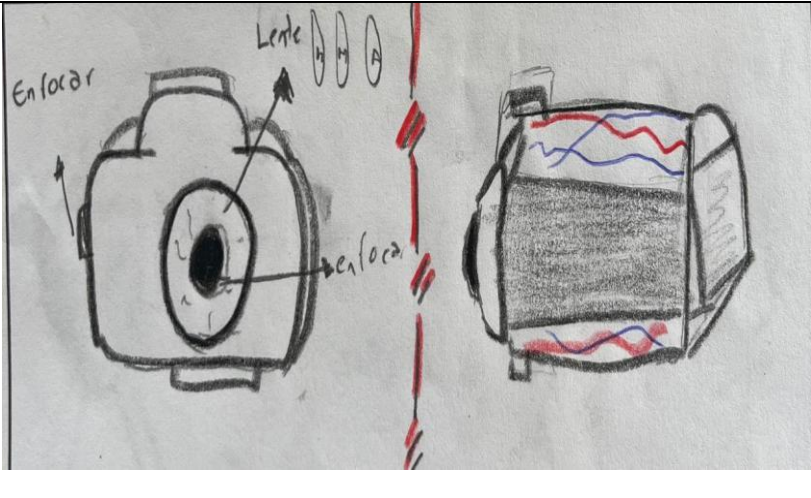
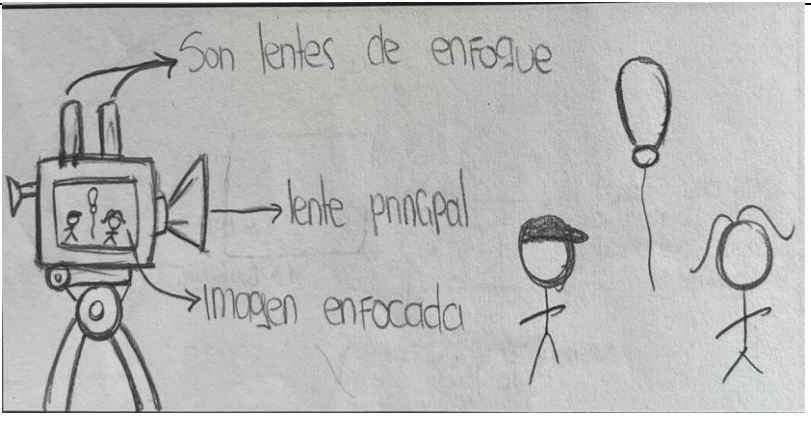
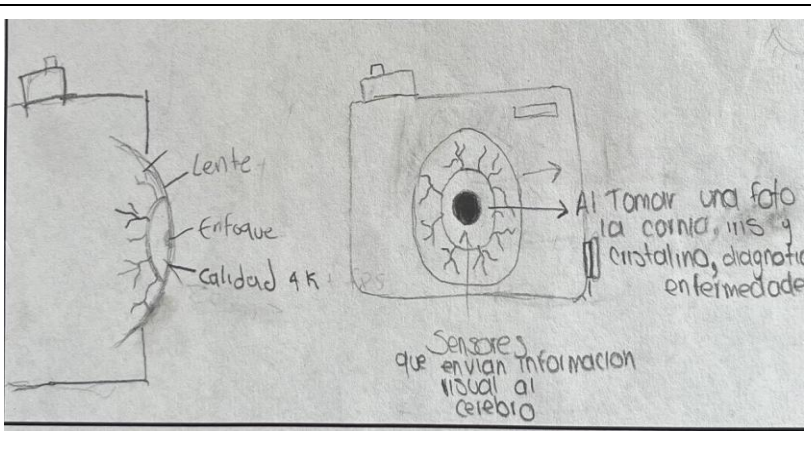
### 9.1 Análisis primera actividad: Prototipos de cámaras

Para esta actividad se reunieron en grupos de 8 personas, únicamente para esta actividad.

La actividad comenzó con una pregunta general. Al notar que la mayoría de los estudiantes usaban gafas formuladas, se planteó la pregunta de si conocían la razón por la cual se las habían recetado. De inmediato, se realizó un sondeo de respuestas; las más comunes hacían referencia a términos que recordaban, como por ejemplo: “me las recetaron para curar la ametropía” o “miopía”. Independientemente del caso, se les preguntó si podían explicar en qué consistían esas anomalías, y la mayoría respondió que era para poder “ver” a determinada distancia, ya sea de cerca o de lejos. Una vez hecha esta introducción, se procedió a desarrollar la actividad.

<p>Grupo 1</p>	 <p>A hand-drawn diagram of a camera. The word 'CANON' is written across the top. On the left, a line points to a small rectangle labeled 'Flash'. In the center, a lens is depicted with a line pointing to it labeled 'Lente'. Below the lens, a line points to a point labeled 'Foco'. On the right side, there are some small, illegible markings.</p>	<p>Se ven partes de la cámara como foco, un término que más adelante será más interesante</p>
<p>Grupo 2</p>	 <p>Two hand-drawn diagrams of cameras. The left one is labeled 'frontal' and shows a camera with a red lens. The right one is labeled 'lateral' and shows a camera with a green lens. Both diagrams have lines pointing to the lenses, which are colored red and green respectively.</p>	<p>Se ve como se trata de describir el juego de lentes que tiene la cámara y como se logran distribuir</p>

<p>Grupo 3</p>		<p>En este diseño se encuentran varios diseños interesantes y descripciones como los cables, además que se identifica un lente convexo.</p>
<p>Grupo 4</p>		<p>En este diseño de cámara relaciona algunas partes del ojo humano con las partes de la cámara como por ejemplo la pupila y el flash, el iris con la lente, la córnea con la protección, la retina con la memoria y los nervios con la capacidad.</p>
<p>Grupo 5</p>		<p>En esta estructura se plantean una cámara 360 donde su funcionalidad es prender un flash cuando las condiciones lumínicas lo requieran</p>

<p>Grupo 6</p>		<p>En esta estructura mencionan una cantidad como juego de lentes de la cámara, además que mencionan los nervios o conexiones que tenga la cámara</p>
<p>Grupo 7</p>		<p>En esta estructura se menciona los lentes de “enfoco” además que aparece el término “imagen enfocada”</p>
<p>Grupo 8</p>		<p>En esta cámara se mencionan partes importantes del ojo humano como por ejemplo: la córnea, iris y cristalino, además que se mencionan los sensores que envían la información visual al cerebro</p>

En los resultados obtenidos a partir de estas estructuras de cámaras, es importante reconocer algunas palabras clave mencionadas por los estudiantes, como: “lentes convexos”, “cristalino”, “córnea”, “iris”, “sensores de la cámara”, “enfoco” e “imagen enfocada”. Estos términos resultan relevantes, pues marcan un punto de partida para los conceptos que se abordarán en los experimentos posteriores.

Durante la actividad se evidenció que los estudiantes poseen nociones básicas sobre algunos conceptos de óptica y mencionan ciertos componentes de la cámara y su funcionamiento. Al finalizar, se realizó una construcción colectiva de los conceptos más importantes, con el fin de introducir el trabajo de creación de la cámara estenopeica. Para ello, se les solicitó investigar previamente el funcionamiento de la cámara oscura.

## 9.2 Análisis segunda actividad: Creación de las cámaras oscuras

En la segunda actividad, todo el grupo construyó cámaras estenopeicas, con el propósito de recoger la producción individual de cada estudiante. Para optimizar el tiempo, se les entregó un boceto en cartulina negra, de modo que únicamente tuvieran que recortar y ensamblar las piezas. Es importante aclarar que los salones de la institución no cuentan con las condiciones adecuadas para realizar este tipo de actividades, por lo cual fue necesario oscurecer el aula utilizando bolsas negras de basura.

El objetivo era que, con la cámara ya armada, los estudiantes pudieran observar a través de ella una vela y, en algunos casos, la pantalla de su celular. Al lograr observar con la cámara oscura, la primera impresión fue notar que tanto la imagen de la vela como la de la pantalla aparecían invertidas. De inmediato, se realizó una construcción colectiva de ideas y se formuló la pregunta: ¿por qué creen que la imagen se ve invertida a través de la cámara?

Durante la recolección de las respuestas de los estudiantes se evidenciaron distintas formas de explicar el fenómeno de la formación de la imagen en la cámara estenopeica y su relación con el ojo humano. Algunos expresaron ideas como *“el orificio transporta la imagen a la pantalla y lo pone al revés”*, mostrando explicaciones en la que el orificio parece cumplir un papel activo, casi como si *“llevara”* la imagen de un lugar a otro. Otros lograron establecer analogías más acertadas al afirmar que *“la retina es similar al papel mantequilla donde se forma la imagen de la vela”* o que *“la pupila, la luz que entra por el pequeño hueco que hicimos”*, reconociendo de manera intuitiva la función de los elementos ópticos en ambos sistemas.

Asimismo, surgieron explicaciones en las que los estudiantes destacaron la semejanza estructural entre la cámara y el ojo, señalando que *“la cámara estenopeica proyecta imágenes utilizando un pequeño orificio en vez de una lente”* o que *“ambos forman imágenes a partir de la luz y una abertura, el estenopo en la cámara y la pupila del ojo; la diferencia es que el ojo procesa la imagen de forma más compleja y la cámara en una superficie”*. Estas respuestas muestran intentos de relacionar lo observado experimentalmente con lo que ya se conoce con el ojo humano.

Entre las producciones más interesantes se encontró aquella que señalaba que *“la luz de la vela, pero invertida, viaja en línea recta y pasa por el punto de forma que la luz superior viaja hacia la parte inferior y así mismo con la inferior”*, lo cual evidencia un acercamiento más claro a la propagación rectilínea de la luz. Otros estudiantes describieron el fenómeno desde lo observable, al mencionar que *“con la vela se aprecia que logra hacer una inversión,*

*con una imagen y la vela atrás, se ve la imagen más de cerca”, o que “la imagen de la vela pero invertida, una explicación para esto podría ser el papel del orificio en la caja”.*

También aparecieron concepciones alternativas en las que la luz se representaba como un fenómeno de reflexión interna, por ejemplo cuando afirmaban que *“la luz rebota dentro de la caja como si fueran espejos y hace que la imagen se vea invertida”* o que *“se ve la llama de la vela invertida ya que hace un efecto rebote”*. En otras ocasiones, la explicación recurría a una descripción puramente desde la observación del montaje experimental de la cámara estenopeica *“veo la llama de la vela porque es la única luz emitida e invertida, ya que rebota al solo tener una salida posible”*.

En las respuestas relacionadas con el papel de la luz, los estudiantes En algunos casos, la luz es comprendida como un agente activo, responsable de la acción de proyectar el objeto, tal como se observa en afirmaciones como *“tiene el papel de proyectar el objeto”*. Esta idea refleja la comprensión que tiene el estudiante de como la luz cumple un rol instrumental y directo en la creación de la imagen, sin reconocer aún su comportamiento como conjunto de rayos que se propagan en línea recta.

En otros casos, las explicaciones vinculan la luz con el funcionamiento del ojo humano, lo cual evidencia una intención de establecer analogías funcionales. Así, un estudiante menciona que *“simula la forma en la que el ojo recibe los datos visuales, la retina toma la luz y la invierte”*, mostrando la comprensión de la luz como portadora de información visual y como elemento clave para la inversión de la imagen, aunque todavía sin una explicación geométrica clara.

También aparecen observaciones que se centran en la distribución y la intensidad de la luz sobre la superficie donde se forma la imagen, como cuando se expresa que *“el papel pergamino se ve más opaco hacia los bordes, ya que la luz no va directa hacia esas zonas, esto hace un efecto vintage”*. Este tipo de comentario indica una atención hacia los efectos perceptivos de la luz y su dispersión, más que a su naturaleza física.

Por otro lado, se identifican concepciones en las que la luz es interpretada en términos de reflexión, como en *“se explica porque la imagen tiene una superficie por donde la luz puede reflejar una imagen y se ve invertida”* o *“se logra ver la llama de la vela invertida, esto pasa por la reflexión de la luz”*. En estos casos, los estudiantes asocian la inversión de la imagen con un proceso de rebote o reflejo, lo que evidencia una confusión entre los fenómenos de propagación y reflexión luminosa.

Finalmente, algunas respuestas muestran un reconocimiento incipiente de la dirección y concentración del haz luminoso, como en *“la luz, cuando la concentramos específicamente en un lugar, se logra ver la imagen de mejor manera”*. Esta expresión sugiere una comprensión emergente del control de la luz y de su papel en la nitidez de la imagen.

Tras la experiencia práctica, las respuestas de los estudiantes reflejan un avance en la comprensión del fenómeno, pues comienzan a reconocer la analogía entre el funcionamiento de la cámara estenopeica y el ojo humano. Algunos afirman que *“el funcionamiento de la caja es parecido al ojo humano”*, señalando así la conexión entre los dos sistemas ópticos y mostrando que logran identificar el papel estructural del orificio y de la luz en ambos.

Asimismo, aparece una comprensión incipiente del comportamiento rectilíneo de la luz, expresada en ideas como *“la luz viaja en línea recta y que al pasar por el pequeño orificio como que proyecta o forma una imagen”* o *“esto ayuda a comprender cómo el ojo humano actúa y cómo viaja la luz en el espacio”*. Estas afirmaciones indican que la práctica permitió visualizar el trayecto de la luz y asociarlo con la formación de la imagen, aunque todavía se utiliza un lenguaje más cotidiano (“proyecta”, “forma”) que técnico.

Aun así, persisten concepciones alternativas que interpretan el fenómeno desde la reflexión o la refracción, como se observa en respuestas del tipo *“siento que es como si la luz rebotara y por esto se logra apreciar la vela invertida”* o *“yo creo que es porque la luz o la imagen se refracta o distorsiona al momento de cruzar o atravesar el agujero y entrar a la caja”*. En estas explicaciones, el comportamiento de la luz se mezcla con otros procesos ópticos, lo cual evidencia una comprensión aún en proceso de construcción.

Por otro lado, algunas respuestas reconocen con mayor claridad la función esencial de la luz en la percepción visual, tal como lo muestra la idea de que *“la luz es fundamental, transporta la información visual de los objetos del exterior, esto se explica que sin luz no se forma ninguna imagen”*. Este tipo de expresión da cuenta de un avance hacia una comprensión más abstracta del fenómeno, donde la luz deja de ser vista solo como algo que ilumina, para convertirse en el medio por el cual se transmite información visual.

Finalmente, aparecen manifestaciones de asombro y valoración del fenómeno, como en *“me parece curioso cómo se puede ver la imagen invertida sin necesidad de aparatos tecnológicos”*, lo que evidencia el impacto de la experiencia práctica en la construcción de sentido. Este tipo de respuesta refleja que la observación directa del comportamiento de la luz contribuyó no solo a generar comprensión conceptual, sino también a despertar curiosidad y pensamiento reflexivo sobre los fenómenos ópticos.

En este momento se realiza una presentación donde se toma como retroalimentación de todo lo aprendido de las sesiones pasadas, con la finalidad de hacer un kahoot al finalizar la presentación se recogieron los porcentajes

La presentación se fundamentó en reconocer la estructura del ojo humano y el mecanismo de la visión como sus partes encargadas en el proceso, a su vez en la presentación hubo algún momento donde se presentó la naturaleza de la luz. Una vez finalizada la presentación se realizó el kahoot donde las preguntas eran:

- **¿Qué es un rayo de luz?**
- **A qué lugar llega la luz en el ojo humano**
- **¿Qué función cumple el cristalino?**
- **Nuestros ojos pueden ver en la oscuridad**
- **¿Cómo se relaciona el ojo humano y la cámara oscura?**
- **¿Nuestros fotorreceptores logran detectar todas las longitudes de ondas?**

Los resultados del kahoot se mencionan a continuación:

Pregunta ↑	Tipo ↓	Correcto/incorrecto ↓
1 ¿Cómo se relaciona el ojo humano y la cámara oscura?	Quiz	55%
2 ¿Qué función cumple el cristalino?	Quiz	19%
3 A que lugar llega la luz en el ojo humano	Quiz	16%
4 ¿Nuestros fotorreceptores logran detectar todas las longitudes de onda?	Verdadero o falso	84%
5 Nuestros ojos pueden ver en la oscuridad	Verdadero o falso	39%
6 ¿Qué es un rayo de luz?	Quiz	3%

Se destacan la pregunta **¿Qué es un rayo de luz?** como la que menos tuvo respuestas acertadas, la mayoría de los estudiantes contestaron *“Una onda electromagnética que viaja en forma de línea recta”* se entiende la confusión puesto que conceptualmente las respuestas son muy similares, mientras que solo un 3% respondieron *“Una representación idealizada de la trayectoria de la luz.”* que era la respuesta correcta.

6 -Quiz ¿Qué es un rayo de luz?

< > X



<input checked="" type="checkbox"/>	Una onda electromagnética que viaja en forma de línea recta.	X	21
<input checked="" type="checkbox"/>	Una representación idealizada de la trayectoria de la luz	✓	1
<input type="checkbox"/>	Una línea física que puede observarse siempre que la luz atraviesa el aire.	X	2
<input type="checkbox"/>	Un haz material compuesto por fotones que poseen masa y se desplazan	X	4
<input type="checkbox"/>	Sin respuesta	X	3

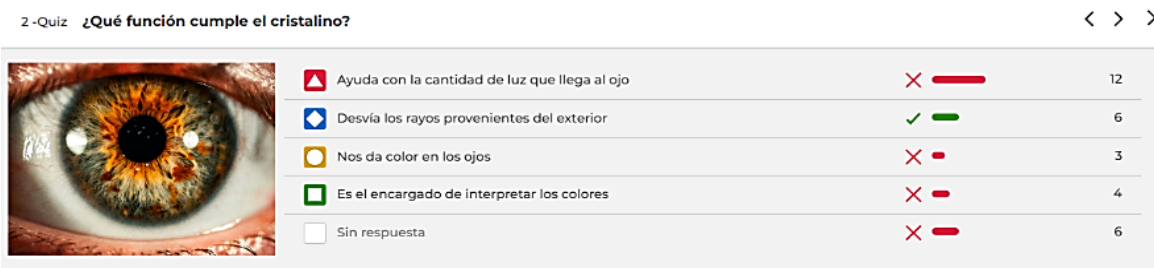
Las siguientes preguntas **¿A qué lugar llega la luz en el ojo humano?** y **¿Qué función cumple el cristalino?** También muestran bajos resultados de respuestas correctas, el porcentaje es de 16% y 19% de respuestas correctas.

En el caso de la pregunta **¿A qué lugar llega la luz en el ojo humano?** estas son las respuestas.



Los resultados de la prueba muestran que un alto porcentaje de estudiantes considera que el lugar donde llegan los rayos de luz es la córnea. Si se analiza con detalle esta respuesta, se observa que, aunque la luz efectivamente llega a la córnea, lo que realmente ocurre es que se **refracta en ella**.


Por otro lado la pregunta **¿Qué función cumple el cristalino?** Presenta las siguientes respuestas.






En esta pregunta se observa que la cantidad de estudiantes estuvo casi dividida entre las diferentes opciones de respuesta. La opción incorrecta con mayor número de selecciones fue “Ayuda con la cantidad de luz que llega al ojo”. Aunque esta respuesta es errónea, no difiere de manera drástica de la opción correcta, “Desvía los rayos provenientes del exterior”, ya que ambas se relacionan con el comportamiento y la cantidad de luz que ingresa al ojo.

Por otro lado la pregunta **¿Cómo se relaciona el ojo humano y la cámara oscura?** Se evidencia un gran porcentaje de respuestas correctas, la mayoría el curso acertó con un 55%, la totalidad de las respuestas son las siguientes.

1-Quiz ¿Cómo se relaciona el ojo humano y la cámara oscura? < > X



<input checked="" type="checkbox"/>	Por su estructura y funcionamiento similar.	✓ 	17
<input type="checkbox"/>	Por su capacidad en reconocer colores.	✗ 	3
<input type="checkbox"/>	Por la calidad óptica similar.	✗	0
<input type="checkbox"/>	Ambas toman fotografías.	✗	0
<input type="checkbox"/>	Sin respuesta	✗ 	11

El número de selecciones puede resultar engañoso, ya que se registra un total de 11 estudiantes que no respondieron, posiblemente por falta de tiempo. Sin embargo, 17 estudiantes seleccionaron correctamente la opción “Por su estructura y funcionamiento similar”. Esta respuesta podría reflejar una buena comprensión del tema y una experiencia positiva durante la actividad de fabricación de la cámara estenopeica.

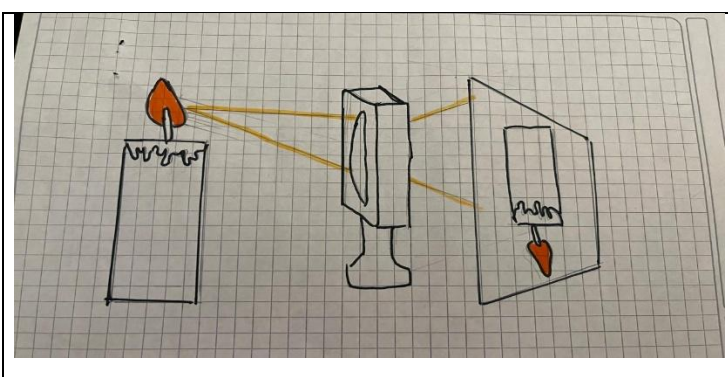
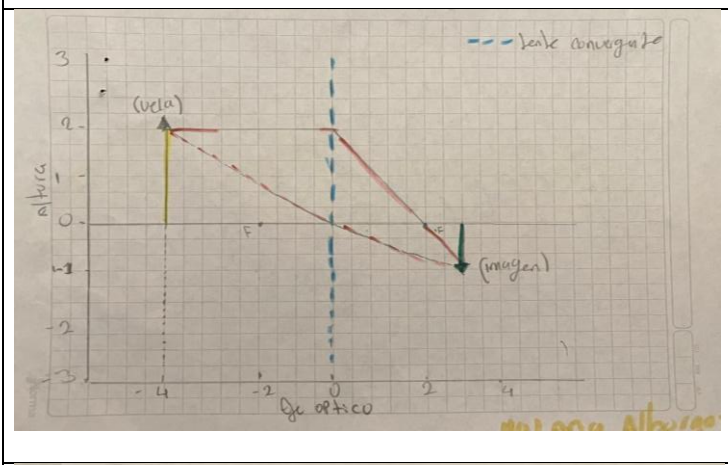
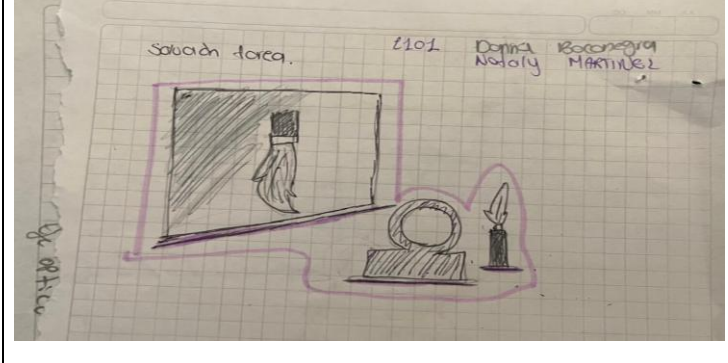
En conjunto, los resultados muestran que los estudiantes poseen ideas iniciales sobre el funcionamiento del ojo humano y su relación con la formación de imágenes, pero aún presentan confusiones en torno a los fenómenos ópticos implicados, especialmente la refracción de la luz. A pesar de ello, se evidencian avances en la comprensión de la actividad experimental anterior, al demostrar que se entiende que el funcionamiento del ojo tanto la cámara es similar, de esta manera se reitera que la actividad funciona. Aunque se registraron pocas respuestas correctas en las preguntas relacionadas con el recorrido del rayo de luz y el efecto del cristalino, estos resultados representan una oportunidad de enseñanza para profundizar en dichos conceptos mediante la realización de experimentos que continúan en la secuencia.

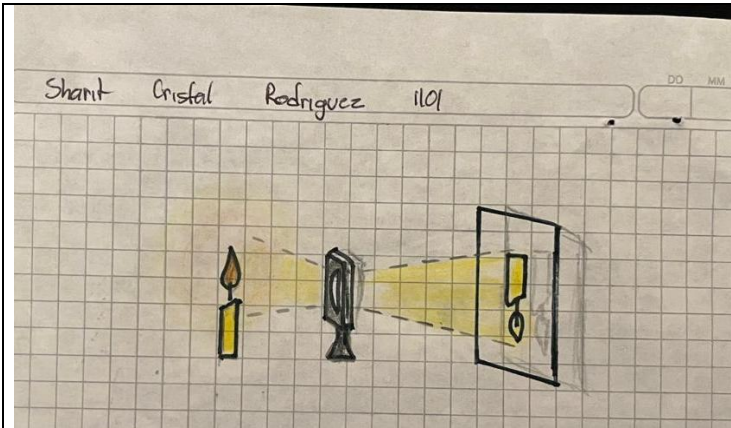
### 9.3 Análisis tercera actividad: imagen invertida

En la tercera actividad se profundizó en la imagen invertida vista en la pantalla de la cámara estenopeica, esta vez se utilizó una vela, una lupa y una hoja.

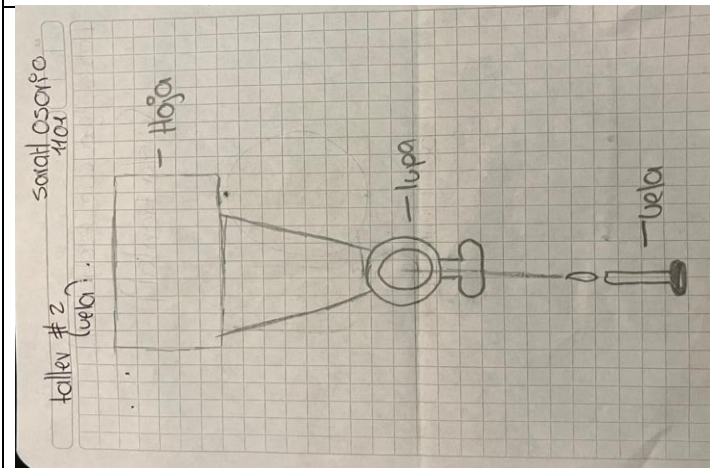
La actividad se abrió con algunas explicaciones que suministraban los estudiantes de la actividad anterior como por ejemplo que la luz rebota en el interior de la caja generando así la visión invertida.

Oportunamente la actividad se enfocó como una contra idea de esa reflexión de los estudiantes, la actividad entonces sería hacer un diagrama de lo que les suceden a los rayos cuando pasan por la lupa, en los siguientes diagramas se evidencian algunos trabajos hechos por los estudiantes.

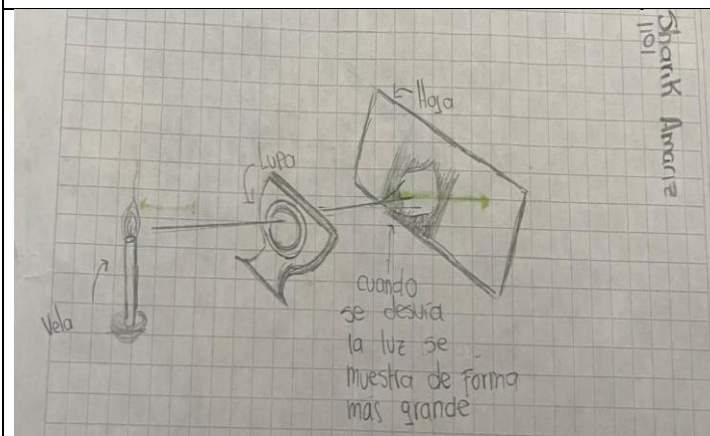
	<p>En el diagrama se evidencia como se utiliza dos rayos para explicar cómo se forma la imagen invertida, donde se observa como los rayos divergen de la lente.</p>
	<p>En este diagrama es un poco curioso ya que resalta la geometría de la lente convergente, más sin embargo se evidencia solo dos rayos y no se introduce el tipo de lente.</p>
	<p>En este diagrama se ve el esquema del montaje, pero no se ve el diagrama de los rayos de luz y ningún comportamiento de los rayos.</p>



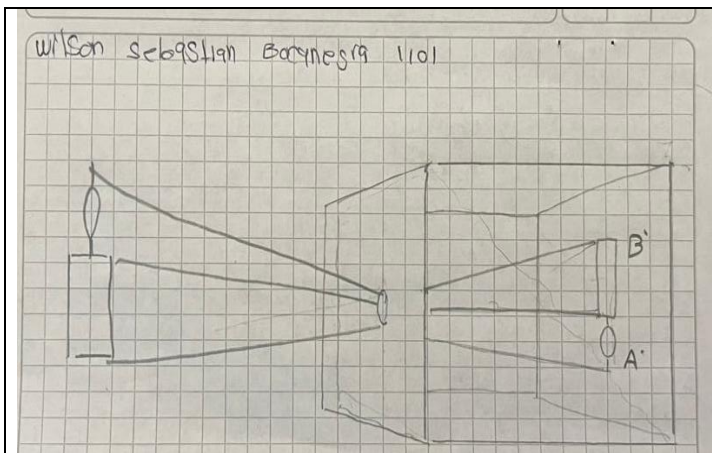
En este esquema se evidencia igualmente los rayos que interactúan en la imagen, sin embargo, no concuerda el lente con el desviamiento de los rayos.



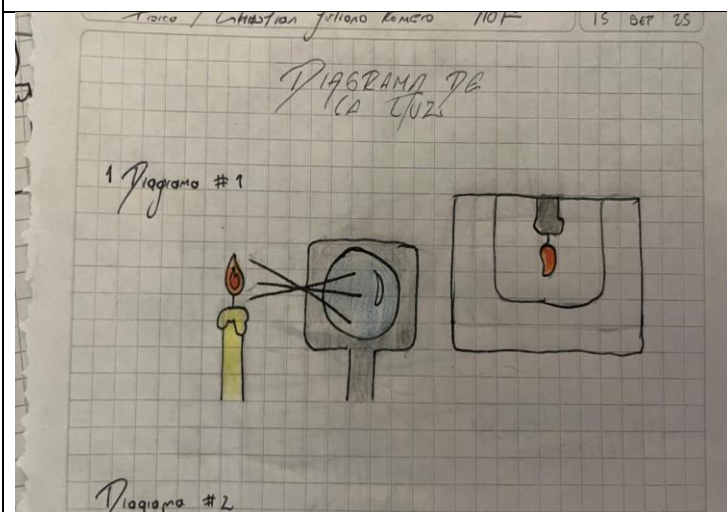
El esquema evidencia el mismo comportamiento de rayos divergentes en la lupa



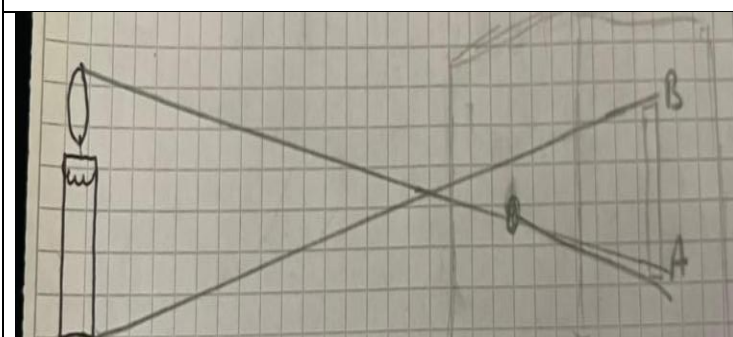
En este esquema solo se muestra un único rayo que pasa por la lente y llega a la pantalla formando así la imagen.



En este esquema se trató de explicar el comportamiento de los rayos desde la cámara. se muestran tres rayos pasando por el orificio estenopo formando la imagen invertida



En este esquema la convergencia de los rayos hace parecer como si estuviera antes de ingresar a la lupa llegando a la pantalla ya invertida



Presenta solo dos rayos para formar la imagen inversa de la vela, también utilizando la cámara estenopeica

Durante la revisión de los diagramas realizados por los estudiantes se evidenció una diversidad de representaciones acerca del comportamiento de los rayos luminosos al atravesar una lente convergente. En la mayoría de los casos, los participantes representaron únicamente dos rayos para explicar la formación de la imagen invertida de la vela. Esta forma de representación, aunque parcial, indica que los estudiantes reconocen la función de la lente en la inversión de la imagen, pero aún no manejan el principio geométrico completo que involucra la convergencia de varios rayos.

Algunos diagramas resaltan adecuadamente la forma y geometría de la lente convergente, pero sin especificar su tipo ni representar correctamente el comportamiento de los rayos. En estos casos se observa una tendencia a centrarse más en el aspecto visual del instrumento que en su función óptica. Otros esquemas muestran el montaje experimental completo, es decir, la posición de la vela, la lente y la pantalla, pero sin incluir el trayecto de los rayos ni su interacción con la lente, lo cual limita la posibilidad de interpretar cómo se forma la imagen.

Asimismo, se identifican diagramas en los que los rayos no concuerdan con la naturaleza de la lente; por ejemplo, al representarlos como divergentes en lugar de convergentes, o al ubicar el punto de convergencia en una posición incorrecta. Este tipo de representación evidencia confusiones entre los efectos ópticos de diferentes tipos de lentes.

De manera particular, algunos estudiantes incluyeron esquemas donde solo aparece un rayo único que atraviesa la lente, lo que muestra un enfoque más descriptivo que explicativo. No obstante, también se observaron producciones más elaboradas, como aquellas que representaron tres rayos que pasan por el orificio de una cámara estenopeica, evidenciando una tentativa de relacionar la experiencia con actividades anteriores.

Finalmente, se destacan algunos diagramas en los que la convergencia de los rayos se sitúa antes de ingresar a la lente, mostrando que el estudiante reconoce la inversión de la imagen, aunque aún presenta dificultades en la ubicación espacial del foco. En general, los resultados muestran que los estudiantes comienzan a identificar la función de la lente en la inversión de la imagen, pero necesitan consolidar la comprensión del trazado geométrico de los rayos y del principio de convergencia que caracteriza a las lentes convexas.

Cabe resaltar que en algunas mesas de trabajo los estudiantes comenzaron a experimentar con diferentes combinaciones del montaje, colocando el celular detrás de la vela o utilizando botellas con agua. Además, la mayoría modificó la distancia entre la vela y la lupa, observando que, a cierta distancia, la imagen de la vela se vuelve mucho más nítida, mientras que a otras distancias aparece distorsionada.

Una vez finalizada la experiencia, se realizó una puesta en común en los grupos para reconstruir lo vivido durante la actividad. En este espacio se introdujo el concepto de lente convergente y se abordaron las potencias dióptricas de las lupas. Además, se explicó que, al modificar la distancia entre la vela y la lupa, los estudiantes estaban, en realidad, explorando la distancia focal, lo que permitió introducir el concepto de foco, fundamental para comprender el funcionamiento de otras lentes.

#### **9.4 Análisis cuarta actividad: Construcción del haz de luz**

En esta actividad los estudiantes fabricaron su propio rayo de luz bajo la premisa de que estos rayos de luz solo los podemos observar de manera experimental

El montaje experimental consistía en haciendo uso la linterna del celular y unas rendijas tratar de colimar un rayo usando una lente convergente.

Al finalizar se les pidió que interpretaran con base a la experiencia un haz de luz las interpretaciones se presentan a continuación:

las producciones oscilan entre explicaciones que apelan a una visión geométrica de la luz y otras que recurren a nociones más intuitivas o metafóricas, donde la luz es comprendida como algo que “viaja”, “se dirige” o “nos permite ver los objetos”.

Algunos estudiantes muestran una comprensión más cercana al modelo físico al definir el haz como *“una luz es un conjunto de rayos que viajan en la misma dirección y que nos permiten ver los objetos cuando llegan a nuestros ojos”* o *“un conjunto de rayos luminosos que viajan en la misma dirección, normalmente no podemos ver un haz de luz en el aire o polvo”*. Estas expresiones evidencian el reconocimiento de dos aspectos fundamentales: la direccionalidad de la propagación y la dificultad de observar la luz si no interactúa con materia. En ellas se aprecia un intento de vincular la experiencia sensorial con una explicación conceptual, integrando observaciones de la práctica con un lenguaje más científico.

Por otro lado, algunas respuestas simplifican el fenómeno a una descripción puntual, como *“un rayo solar que viaja en una misma dirección”* o *“un haz de luz es un rayo de luz que se propaga en una dirección específica”*. En estos casos, se observa una tendencia a confundir el rayo con el haz, utilizando ambos términos como equivalentes. Aunque esta confusión es común en etapas iniciales del aprendizaje óptico, estas respuestas muestran que los estudiantes ya reconocen la propagación lineal de la luz como característica principal.

En otras producciones se introducen explicaciones más abstractas o incluso interpretaciones conceptuales, por ejemplo: *“un haz de luz es algo matemático que ayuda a la luz desde donde se dirige esos rayos de luz”* o *“un haz de luz es algo matemático que ayuda a describir los rayos de luz”*. Estas formulaciones, aunque poco rigurosas desde lo físico, resultan interesantes desde el punto de vista didáctico porque denotan un intento de formalización, donde el estudiante identifica el *haz de luz* como una herramienta teórica o un modelo para representar el comportamiento real de la luz. En este sentido, la luz ya no es vista solo como un fenómeno perceptivo, sino también como un objeto de estudio idealizado, susceptible de ser descrito mediante representaciones o leyes.

Otras respuestas introducen la idea de que el haz de luz surge o se hace visible por la interacción con partículas o materiales del entorno, como se observa en *“cuando hay partículas en el aire que dispersan la luz, cuando la luz pasa por rendijas o aberturas en el ambiente”*. Aquí se evidencia una comprensión más fenomenológica, vinculada con las experiencias experimentales donde el haz se hace visible al atravesar medios con polvo o humo. Estas ideas muestran la relación entre observación empírica y comprensión conceptual, aspecto clave en el aprendizaje por indagación.

También aparecen respuestas que describen el haz de luz como una *“adaptación para controlar la luz y poder estudiarlo, una reducción de la luz en general”*. el estudiante reconoce que el haz de luz no es un fenómeno visible por sí mismo, sino un modelo simplificado que permite estudiar la dirección y el comportamiento de los rayos luminosos.

Sin embargo, algunas producciones aún reflejan confusiones o interpretaciones más intuitivas, como *“un conjunto de rayos luminosos direccionados en diferentes lados”* o *“los haces de luz son partículas de energía”*. En el primer caso, se pierde la idea de dirección común, mientras que en el segundo se mezcla el modelo ondulatorio y el corpuscular, evidenciando una visión híbrida en la que la luz se concibe simultáneamente como rayo y como partícula.

los estudiantes reconocen que la luz no siempre es directamente observable y que su visibilidad depende de condiciones específicas del entorno, especialmente de la presencia de partículas que permitan la dispersión de la luz.

Algunos estudiantes explican esta idea de forma empírica, basándose en la experiencia del aula: *“no a menos que haya ausencia de luz y una pequeña entrada, para que se pueda manifestar el haz de luz como en el salón cuando estaba cubierto por bolsas”*. Esta respuesta evidencia la conexión entre la observación del experimento y la comprensión conceptual: el estudiante asocia la visibilidad del haz con una condición de oscuridad y control de la entrada de luz, lo que demuestra una comprensión incipiente del fenómeno de propagación luminosa.

Otras respuestas se aproximan más al modelo físico, al señalar que *“se ven solo cuando hay mucho humo o polvo o algo en el aire que los haga visibles”* o que *“no podemos ver un haz de luz directamente si no pasa por algún medio”*. En estos casos, los estudiantes identifican correctamente que la luz se hace visible cuando interactúa con partículas suspendidas, las cuales dispersan los rayos y permiten que el trayecto se perciba. Esta idea indica un avance hacia la comprensión de la dispersión de la luz como condición necesaria para la observación de los haces.

También aparecen formulaciones más generales, como *“no lo podemos ver en nuestro entorno”* o *“en situaciones que haya partículas en nuestro entorno”*, donde los estudiantes muestran conciencia de que el fenómeno no es común en condiciones cotidianas, pero sí posible bajo circunstancias particulares o experimentales. Estas afirmaciones reflejan que se reconoce la dependencia entre el medio físico y la percepción visual.

Una respuesta especialmente elaborada expresa: *“no podemos ver el haz de luz directamente, ya que la luz es invisible en el aire limpio, como son los objetos iluminados por esa luz; sin embargo, en presencia de polvo o humo, los rayos de luz se dispersan y permiten que observemos el trayecto de luz”*. Esta formulación demuestra una comprensión conceptual más avanzada, donde se integran las nociones de invisibilidad, iluminación y dispersión. El estudiante diferencia entre el haz como trayectoria de propagación y los objetos como

superficies iluminadas, mostrando una clara articulación entre experiencia visual y explicación física.

Por otra parte, respuestas como *“nosotros no podemos ver eso, lo que vemos es su efecto”* revelan una perspectiva más reflexiva: el estudiante identifica que lo observable no es la luz en sí, sino su acción sobre el entorno con nuestro mecanismo de ver, lo que indica una comprensión más profunda del fenómeno óptico como proceso indirecto de percepción.

El objetivo conceptual era reconocer la direccionalidad de los rayos de luz como una propiedad constante, aun cuando aparezcan explicaciones que no utilicen rayos como por ejemplo la ondulatoria.

Las respuestas muestran que los estudiantes, en su mayoría, logran advertir que existe un comportamiento regular en el modo en que los rayos se propagan. Por ejemplo, algunos enunciados expresan que *“la luz al pasar por una lente convergente pasa por un punto llamado foco manteniendo similar a los rayos haciendo que se refracten”* o que *“la luz al pasar por el lente, siempre se concentra en un punto llamado foco”*. Estas formulaciones indican que los estudiantes reconocen el foco como elemento constante, es decir, como referencia espacial que organiza la comprensión de la propagación de la luz. Sin embargo, aún se percibe cierta confusión entre la idea de *direccionalidad* y la de *punto de convergencia*, lo cual es natural en procesos de conceptualización temprana.

Otras producciones, como *“la luz al pasar por una lente cambia de dirección pero siempre termina juntándose en un mismo punto”* o *“los rayos que entran paralelos terminan convergiendo en el mismo foco”*, muestran un avance importante: los estudiantes comienzan a articular la variación de la trayectoria con la preservación de una regularidad geométrica, entendiendo que los rayos, aunque se refractan, conservan una orientación sistemática hacia el foco. Aquí la noción de invariancia empieza a asociarse a la ley del comportamiento de los rayos, más allá de un punto específico.

En algunas respuestas, la referencia es más explícita: *“dirección del rayo”* o *“direccionalidad del rayo”*. Estas expresiones condensan la comprensión buscada, mostrando que ciertos estudiantes logran abstraer la idea de direccionalidad como propiedad invariante, independientemente de la posición del objeto o la situación óptica. Esta síntesis conceptual refleja una mirada más formal sobre la propagación de la luz, que se acerca al lenguaje geométrico de la óptica.

También se evidencian respuestas con un nivel intermedio de comprensión, como *“la luz pasa por un lente, cambia de dirección o sea que se refracta y los rayos se concentran en un punto”* o *“en todas las situaciones se mantiene que la luz siempre viaja en línea recta y que al atravesar la lente puede converger o divergir según su forma”*. En estos casos, los estudiantes reconocen que la luz conserva su propagación rectilínea, pero que la lente modifica su trayectoria mediante la refracción. Estas respuestas integran las dos dimensiones del fenómeno: la regularidad direccional y la desviación producida por el medio óptico.

Una formulación más elaborada afirma que *“los frentes de onda cambian de forma, pero siempre son perpendiculares a los rayos”*, lo que revela una comprensión más profunda del fenómeno, incorporando el modelo ondulatorio de la luz. Esta idea, aunque menos frecuente, representa un salto conceptual significativo, al conectar la geometría del rayo con la naturaleza física de la propagación luminosa.

Por último, expresiones como *“se mantiene la dirección”* o *“podemos ver haces en nuestro entorno como cuando atraviesan partículas en el aire, como polvo y niebla”* muestran una apropiación parcial del concepto. En algunos casos, la referencia a los “haces” sugiere que el estudiante aún mezcla la condición de visibilidad con la propiedad geométrica, lo que puede ser un indicio de la necesidad de reforzar la distinción entre *propagación* y *percepción*.

El tránsito de sus producciones muestra cómo el acto experimental, cuidadosamente articulado en la secuencia, posibilitó el paso desde explicaciones intuitivas y perceptivas hacia formas de razonamiento más abstractas.

En las primeras experiencias, la luz es comprendida como algo que *“viaja”*, *“se dirige”* o *“nos permite ver los objetos”*, una concepción centrada en la percepción visual y en la acción de la luz sobre el entorno. No obstante, a medida que las actividades introducen situaciones controladas, como la observación de haces en una habitación oscura o la manipulación de rendijas y partículas, los estudiantes comienzan a vincular la experiencia sensorial con la estructura conceptual, reconociendo que la luz se propaga en línea recta, que no es directamente visible, y que su visibilidad depende de la interacción con la materia. Esta relación entre lo empírico y lo explicativo es un indicio claro de aprendizaje por indagación.

Posteriormente, en las actividades que involucran lentes y formación de imágenes, las respuestas revelan un avance hacia la formalización geométrica del fenómeno. Los estudiantes ya no describen solo “lo que ven”, sino que intentan representar trayectorias de rayos, puntos de convergencia y recorridos luminosos, articulando una lógica espacial coherente. La luz deja de ser únicamente una experiencia perceptiva para convertirse en un objeto de modelización, donde el dibujo y el lenguaje geométrico funcionan como mediadores entre la observación y sus explicaciones.

Este avance culmina en la identificación de invariantes del fenómeno óptico, particularmente la direccionalidad de los rayos. Al reconocer que *“la luz al pasar por una lente cambia de dirección pero siempre termina juntándose en un mismo punto”* o que *“se mantiene la dirección del rayo”*, los estudiantes logran abstraer la regularidad geométrica del fenómeno más allá de su apariencia experimental. Este logro implica el reconocimiento de que la direccionalidad se mantiene invariante en las explicaciones de propagación de la luz.

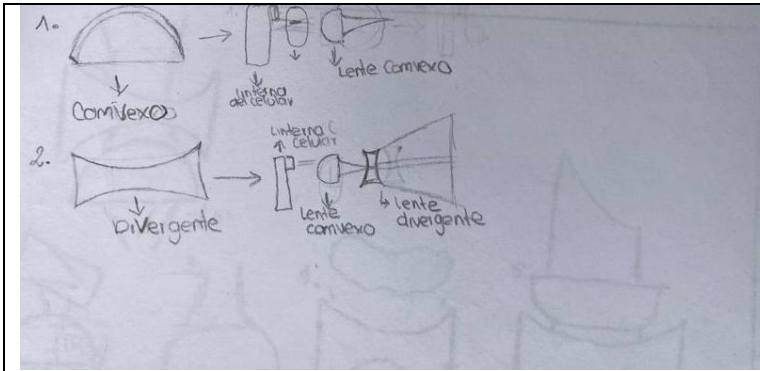
En conjunto, las producciones muestran que el acto experimental no fue solo un medio para observar, sino un espacio de construcción conceptual. Las experiencias previas, ver el haz de luz, comprender su visibilidad y manipular su trayectoria, actuaron como anclajes cognitivos que facilitaron la emergencia de explicaciones cada vez más formales. De esta manera, la

secuencia experimental funcionó como un proceso de conceptualización progresiva, en el cual los estudiantes pasaron de una comprensión empírica de la luz como fenómeno visible a una visión geométrica y abstracta, donde la propagación, la refracción y la dirección adquieren un sentido físico y representacional.

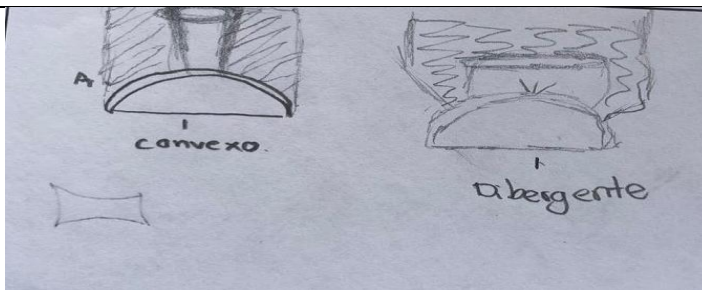
### 9.5 Análisis quinta actividad: Comportamiento de los haces de luz

En la siguiente actividad se recogieron dos partes, una donde se buscaba el bosquejo del comportamiento de la luz al pasar por los lentes, el análisis de estos se presenta a continuación.

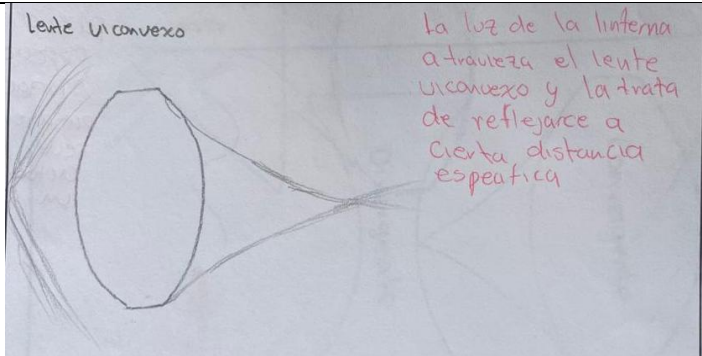
	<p>Se muestran los dos tipos de lentes, convergente y Divergente puestos uno después del otro, se identifica que la fuente de luz proviene de la derecha</p>
	<p>Se identifican los diferentes tipos de lentes y el comportamiento de la luz de cada una de ellas</p>



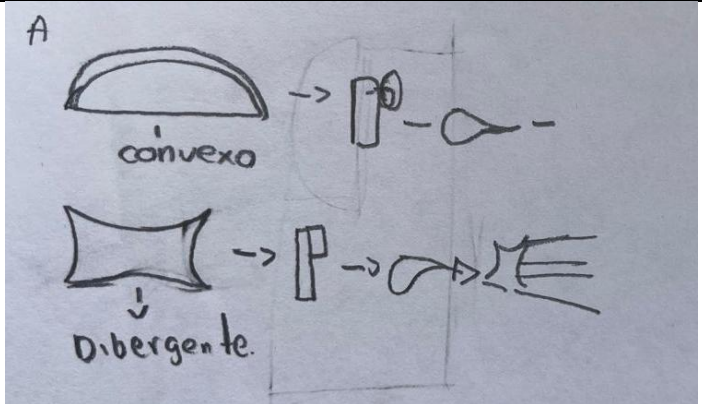
Se identifica el montaje con los lentes, se reconoce la dirección de la luz de cada lente.



En este caso se nota como el lente convexo ayuda a enfocar la luz en algún punto por otro lado el lente divergente según del diagrama dispersa la luz

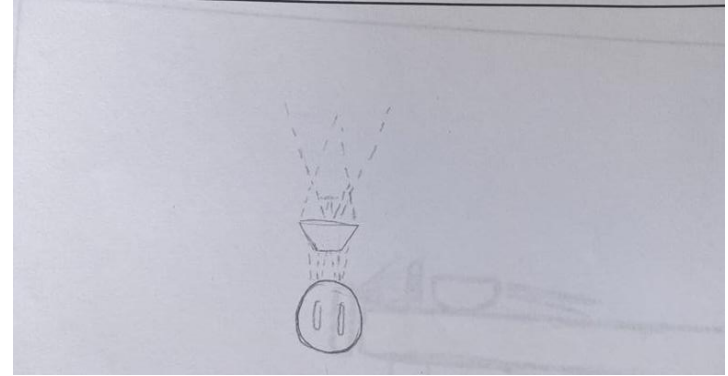
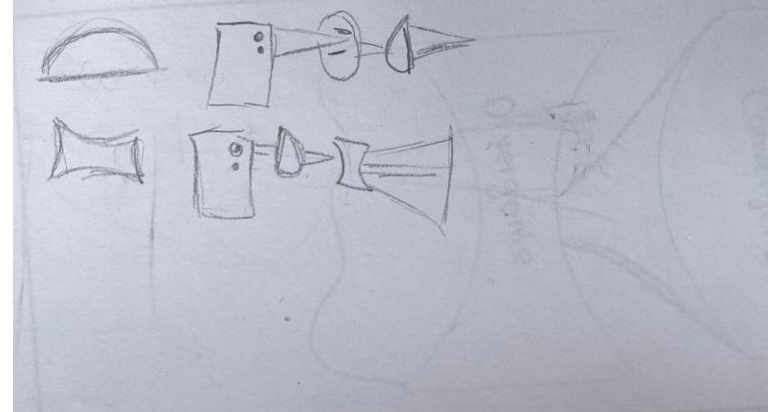
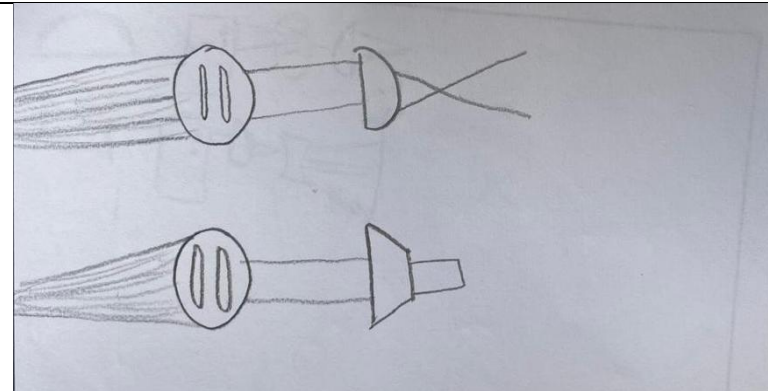


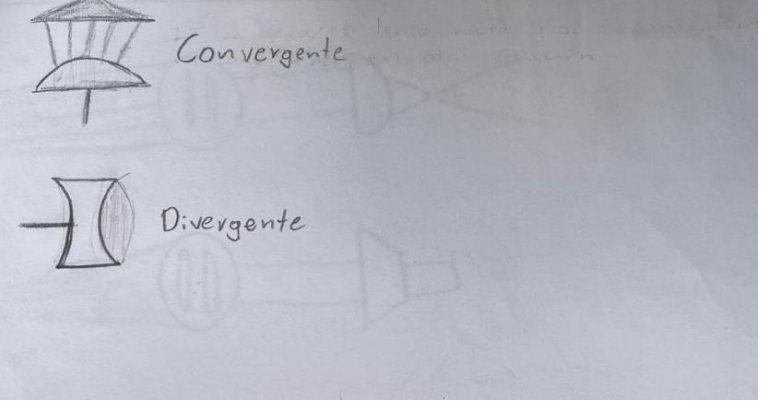
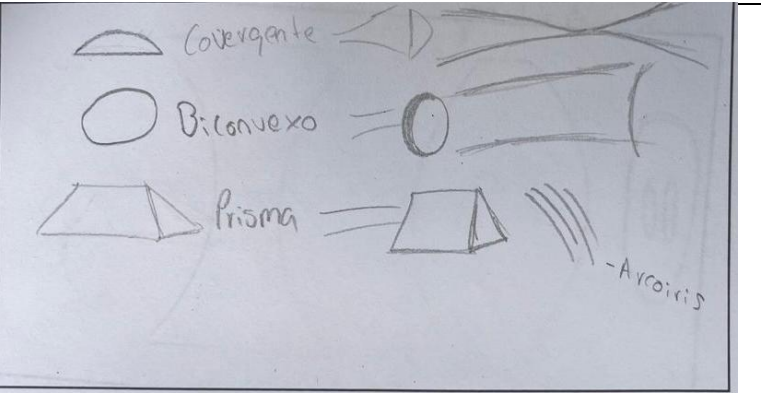
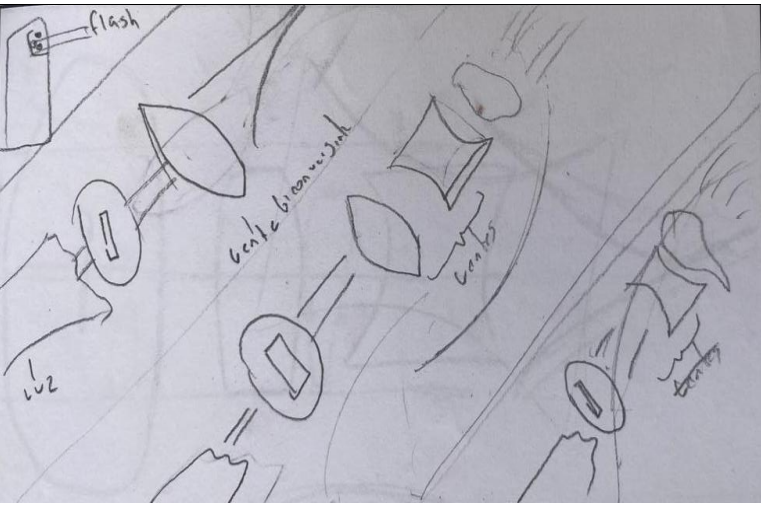
En el diagrama se muestra una explicación donde trata de explicar la distancia focal como si reflejarse se tratara, en el caso del lente convergente

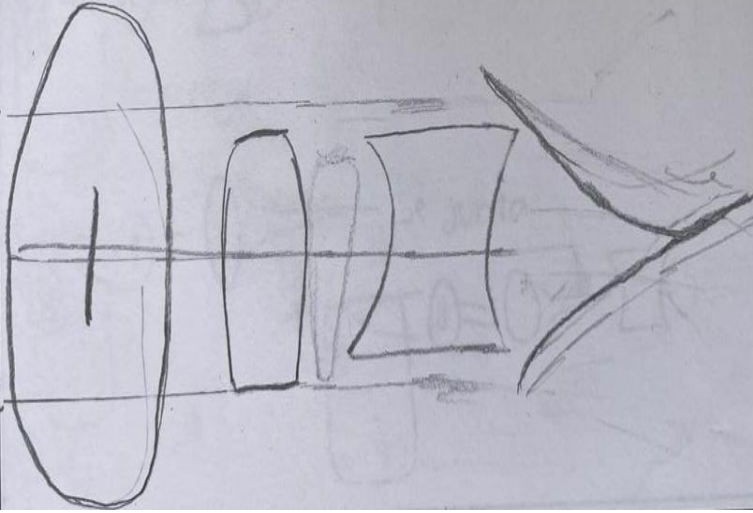
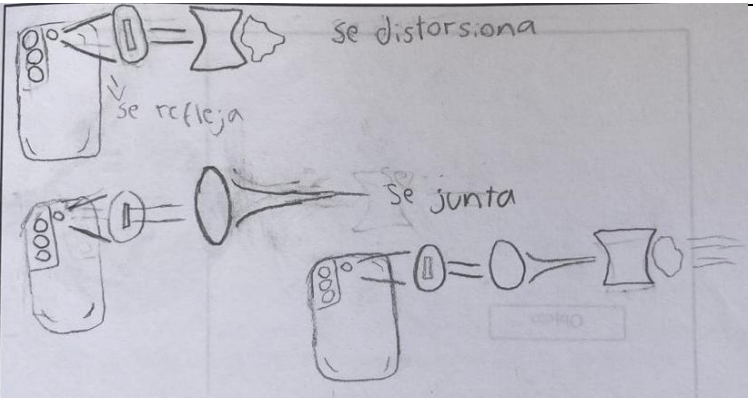
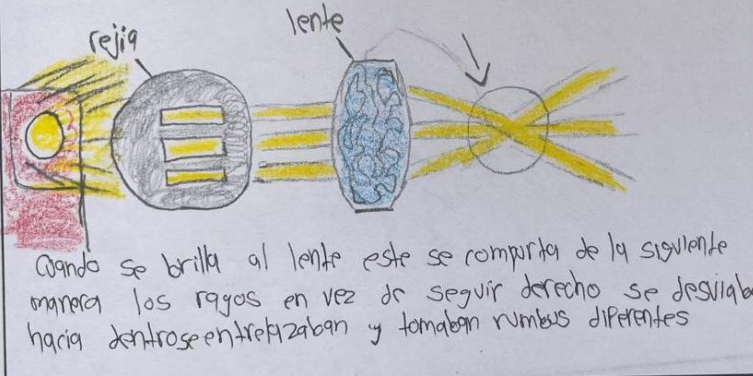


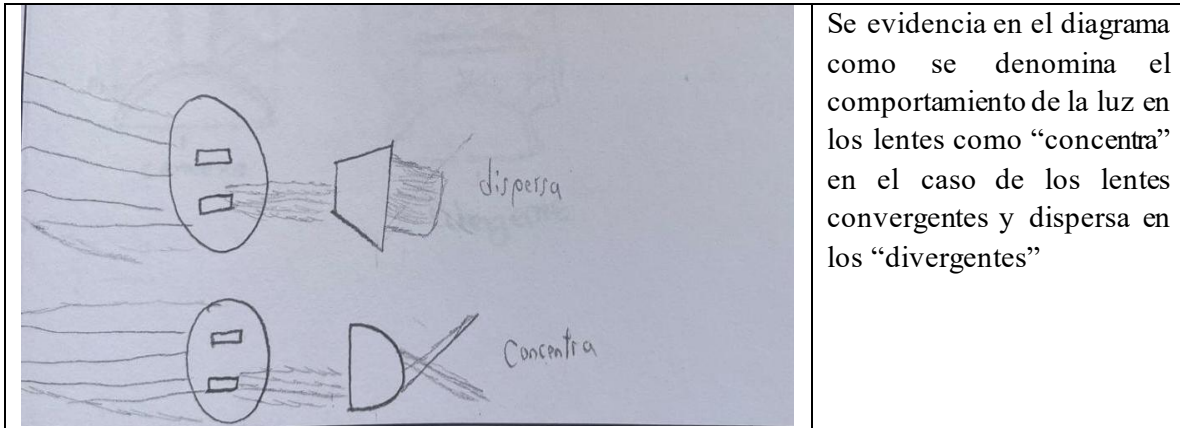
Se menciona la lente convexa y divergente pero el recorrido de la luz no se ilustra de la mejor manera

	<p>Aunque no se mencione los tipos de lentes se nota n esfuerzo por enmarcar los rayos encargados en ambos lentes , por un lado convergente y por el otro un lente Divergente por la forma de la dispersión de al luz</p>
	<p>Se describe la lente convergente y biconvexa, en el caso de la lente convergente se menciona “de ancho a más delgado” y entre más se aleja se ve más ancho, por otra parte la lente biconvexa solo refleja un rayo saliendo a lo que parece una lente de forma de triangulo.</p>
	<p>se menciona la lente convergente- biconvexa y un prisma y se señala la dirección de los tres lentes.</p>
	<p>el diagrama muestra la dirección de los lentes divergentes convergentes, y la combinación de ambos, también se muestra un trozo de lente rectangular no alineado para redireccionar los rayos, se señala que el diagrama N4 la lente divergente proyecta una mancha</p>

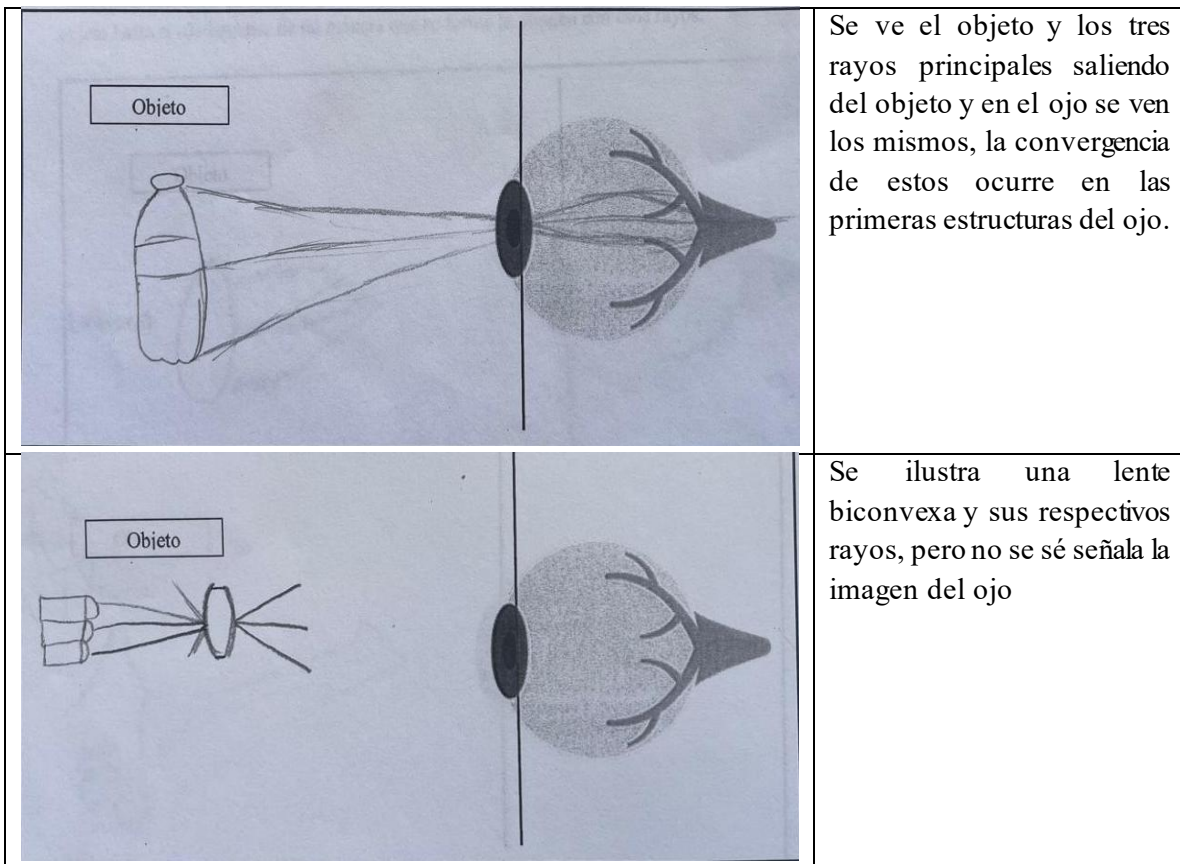
	<p>Este diagrama combina el recorrido de la luz en un solo lente, se ve un recorrido divergente y convergente en la lente de forma de trapecio</p>
	<p>Señala los dos tipos de lentes, se especifica el recorrido de la lente convergente y Divergente pero no llega a mencionarlos.</p>
	<p>se muestra la convergencia de la lente convergente y también de la lente que parece un trapecio un recorrido recto de la luz.</p>

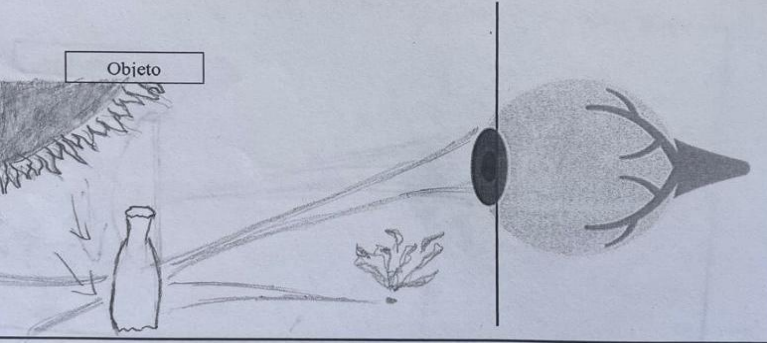
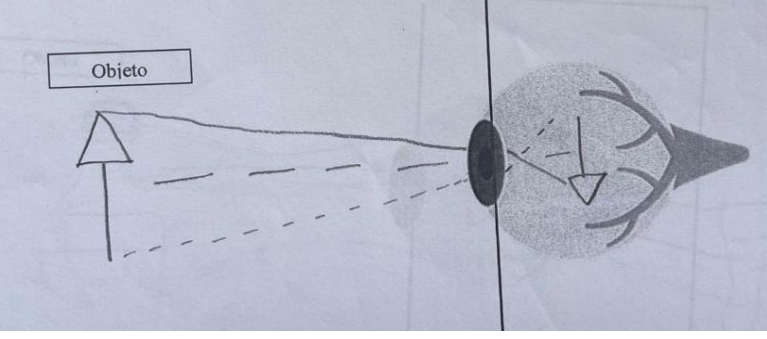
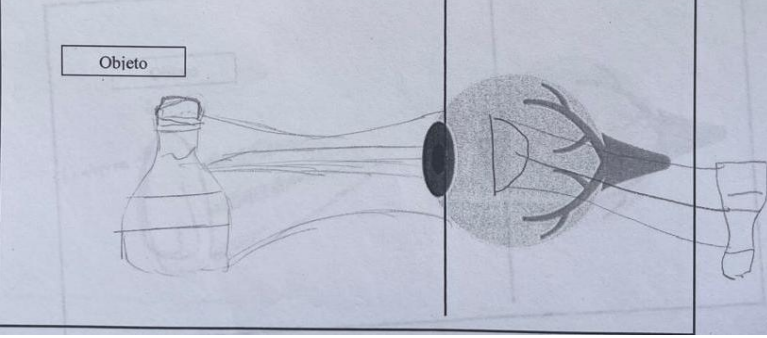
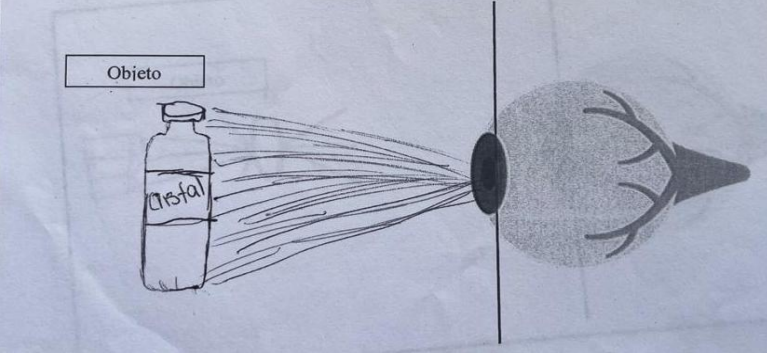
	<p>Se traza la dirección de la luz en el lente convergente, por otro lado en la lente divergente solo se muestra un semicírculo que indica el camino de la luz</p>
	<p>En el lente convergente se distingue el punto de llegada de los rayos, aunque en el lente biconvexo mantiene un camino recto, también se evidencia un prisma que emite arcoíris.</p>
	<p>Se menciona y se describe la lente biconvexa, además de agregar la lente divergente donde se muestra que la luz como camino final se dispersa.</p>

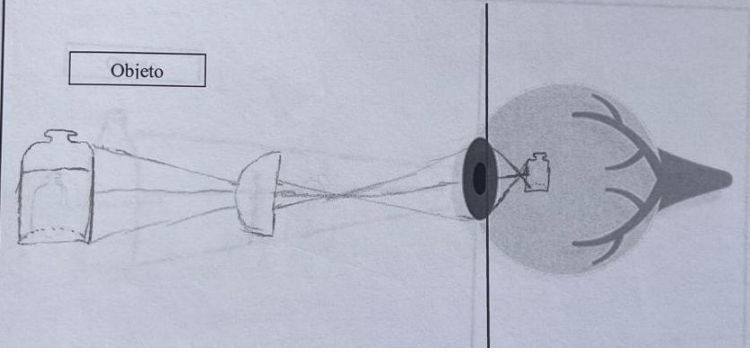
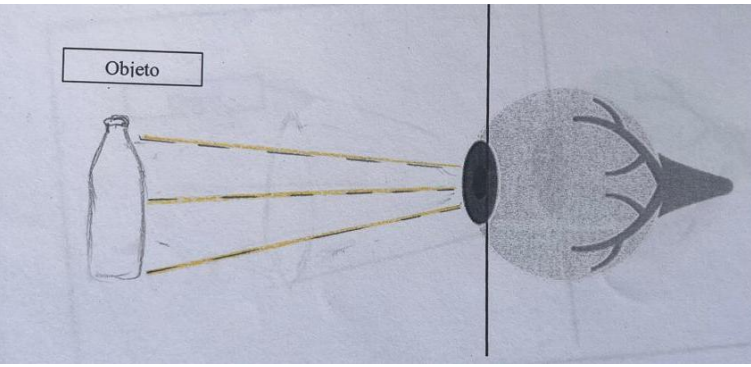
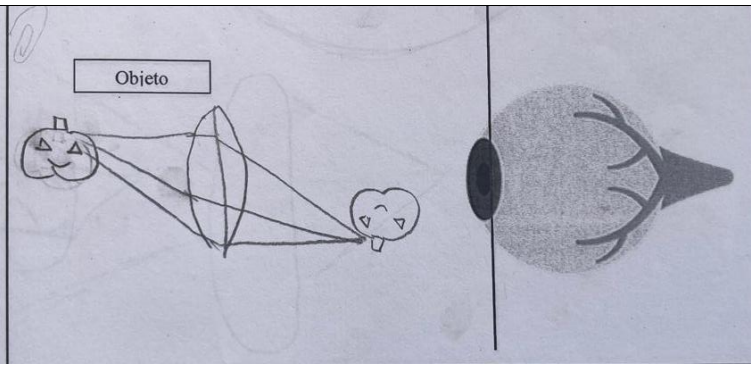
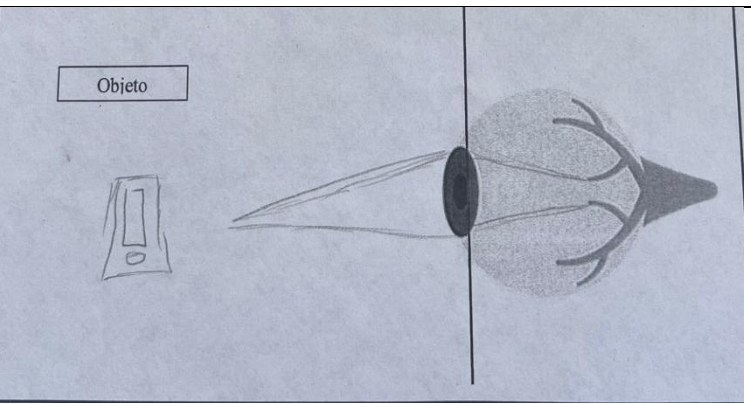
	<p>En este diagrama es un intento de evidenciar la dirección de los rayos cuando paso por una lente biconvexa y divergente notándose un punto final donde converge la luz luego de pasar por ambos lentes.</p>
	<p>En este caso se denomina como “se distorsiona” en el caso de la lente divergente y se “juntan” en el caso de la lente convergente, no se mencionan los lentes, mas sin embargo se juntan los dos tipos de lentes</p>
 <p>Cuando se brilla al lente este se comporta de la siguiente manera los rayos en vez de seguir derecho se desvían hacia dentro y toman rumbos diferentes</p>	<p>En el diagrama se explica el comportamiento de la luz como si se desvían hacia dentro y toman rumbos diferentes, no se especifica que tipo de lente</p>

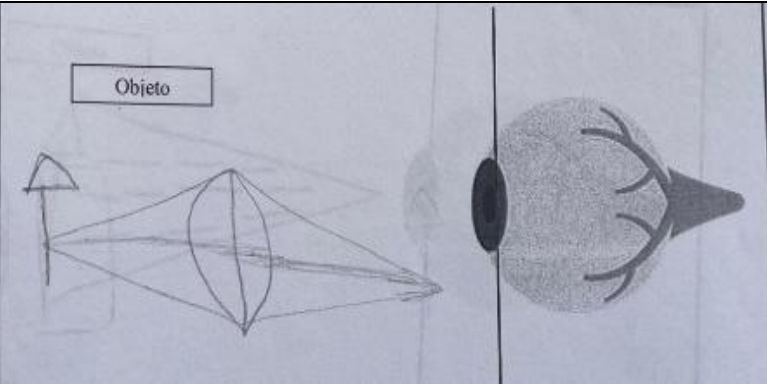
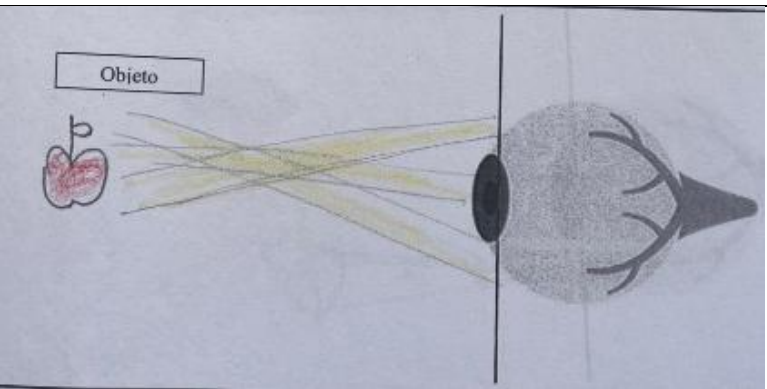


De la misma manera se les pidió a los estudiantes reconocer el lente del cristalino y tratar de formar la imagen de un objeto en el fondo de nuestro ojo



	<p>se evidencia el objeto y los rayos provenientes de este pero no entran en el ojo</p>
	<p>En este caso se escoge una flecha como objeto se describen los tres rayos principales y la entrada en el ojo, marcando la dirección de cada uno de ellos formando la imagen invertida de la flecha.</p>
	<p>Se observan los rayos reflejados por el objeto, se muestra un lente convergente generando la inversión de la imagen, está lente se encuentra a la mitad del globo ocular</p>
	<p>Se muestra una cantidad considerable de rayos provenientes del objeto</p>

	<p>En este caso da la impresión que el estudiante quiere evidenciar el comportamiento de los rayos cuando primero pasan por una lente convergente y después entran en el ojo no invirtiendo la imagen si no formando la imagen derecha</p>
	<p>Se muestran tres rayos saliendo del objeto</p>
	<p>Se ve la formación de la imagen invertida de una lente biconvexa pero no dentro del ojo</p>
	<p>Se describen dos rayos que salen del objeto, entran en el ojo y están próximos a encontrarse dentro del ojo</p>

 <p>Objeto</p>	<p>Al igual que diagramas anteriores la lente biconvexa desvía los rayos encargados de formar la imagen de una flecha</p>
 <p>Objeto</p>	<p>Se muestran 3 haces mucho más anchos, convergiendo antes de llegar al ojo, pero no se muestra ningún lente.</p>

en los diagramas realizados por los estudiantes se aprecia un esfuerzo por representar la trayectoria de la luz al atravesar distintos tipos de lentes, principalmente convergentes y divergentes. En muchos casos, los esquemas muestran ambos tipos de lentes dispuestos uno tras otro, evidenciando la intención de comparar sus efectos sobre el recorrido de los rayos luminosos. La mayoría identifica correctamente la dirección de la fuente de luz, reconociendo su procedencia y el modo en que interactúa con cada superficie óptica.

Se observa que algunos estudiantes logran diferenciar visualmente el comportamiento de los rayos en las lentes convergentes que “concentran” la luz hacia un punto focal y en las lentes divergentes, que la “dispersan” en distintas direcciones. Este reconocimiento sugiere una comprensión inicial de las propiedades geométricas de cada lente y de su efecto sobre la propagación de la luz.

En ciertos esquemas se nota un intento de explicar la distancia focal o el punto de convergencia de los rayos, aunque en ocasiones se confunde con un fenómeno de reflexión. Estas representaciones muestran un pensamiento en desarrollo, donde el estudiante intenta trasladar la observación empírica al lenguaje de los diagramas, pero aún mezcla conceptos entre reflexión y refracción.

Algunas producciones incluyen una clasificación más amplia de los elementos ópticos, incorporando no solo lentes convergentes y divergentes, sino también biconvexas, prismas o lentes trapezoidales. Este tipo de diagramas revela una curiosidad por explorar más allá del

fenómeno observado, integrando diferentes figuras geométricas para comprender la desviación o concentración de la luz. En estos casos, se aprecia la intención de construir modelos explicativos más completos.

En otros esquemas, el recorrido de los rayos se muestra de forma incompleta o confusa; algunos solo indican la trayectoria en uno de los lentes, mientras que en otros se emplean figuras poco precisas, como semicírculos o líneas rectas que no reflejan la refracción. Sin embargo, incluso en estos casos se mantiene la noción de que la luz cambia de dirección al atravesar distintos medios, lo cual indica una apropiación parcial del fenómeno.

También se destacan producciones que utilizan términos cualitativos como “concentra” para los lentes convergentes y “dispersa” para los divergentes. Este uso del lenguaje, aunque no siempre acompañado de una representación gráfica exacta, demuestra que los estudiantes han identificado el sentido general del comportamiento de la luz en cada tipo de lente.

En conjunto, los diagramas muestran una evolución progresiva en la comprensión de la óptica geométrica: desde la mera observación del montaje y la dirección de la luz, hasta la elaboración de explicaciones más estructuradas que integran conceptos como distancia focal, convergencia, dispersión y desviación. Este tránsito evidencia cómo los estudiantes transforman la experiencia visual en un razonamiento conceptual, utilizando el dibujo como una herramienta para representar, comparar y formalizar el comportamiento de la luz en diferentes sistemas ópticos.

También se evidencia en la segunda parte de la actividad que los diagramas realizados por los estudiantes se evidencia un esfuerzo por representar el proceso de formación de la imagen a través de una lente específica, particularmente la lente biconvexa o convergente, y su relación con el ojo humano como sistema óptico. La mayoría de los esquemas incorpora elementos como el objeto (generalmente una flecha), los rayos principales y, en algunos casos, la formación de la imagen dentro o fuera del ojo.

Algunos diagramas logran representar con mayor precisión los tres rayos principales que parten del objeto y atraviesan la lente, mostrando su convergencia en una zona cercana a las primeras estructuras del ojo. Este tipo de representación sugiere una comprensión más clara del papel de la lente en la inversión de la imagen y del trayecto que sigue la luz hasta formar la imagen visual. En particular, los esquemas donde se indica la dirección de los rayos y la inversión de la imagen de la flecha muestran una aproximación más elaborada al modelo geométrico de la visión.

Sin embargo, en otros casos los estudiantes solo representan parte del proceso óptico, ya sea el objeto con los rayos emitidos o la lente sin conexión clara con el ojo. En estos diagramas se percibe una comprensión fragmentada del fenómeno: se reconoce la existencia de rayos luminosos y de la lente, pero no se logra integrar ambos elementos en un mismo sistema óptico que explique la formación de la imagen.

Algunas producciones ubican la lente biconvexa dentro del ojo, sugiriendo la intención de asociar directamente la lente con el cristalino, aunque sin representar con exactitud su función o la localización del punto de enfoque. En estos casos, se observa la noción intuitiva de que el ojo funciona como una lente convergente que invierte la imagen, aunque el concepto aún no está completamente formalizado.

También aparecen representaciones donde los rayos se muestran convergiendo antes de llegar al ojo o donde la imagen se forma derecha, lo que indica confusiones sobre el orden y la posición de los elementos ópticos. Estas representaciones son valiosas, ya que evidencian el proceso de transición desde una comprensión empírica, basada en la observación directa del experimento, hacia una conceptualización más abstracta y geométrica.

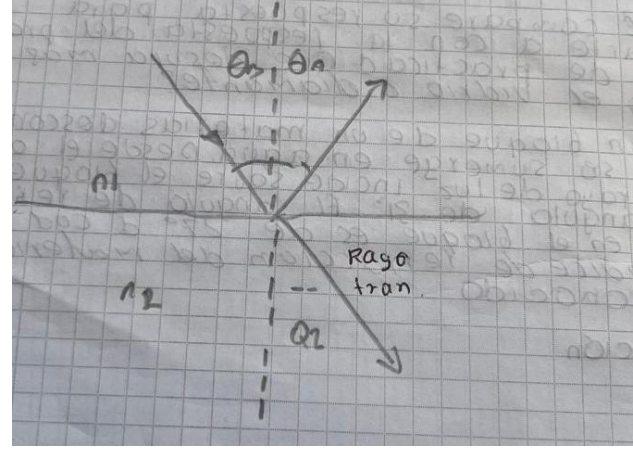
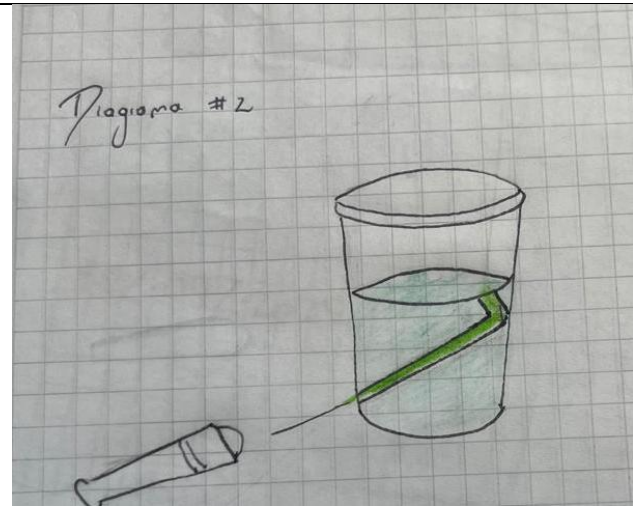
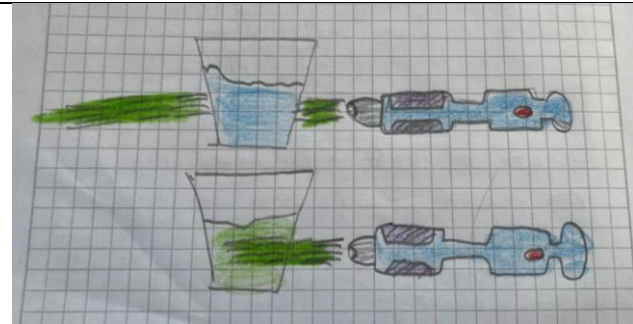
Por otro lado, algunos diagramas se caracterizan por la abundancia de rayos luminosos o por el trazo de haces amplios y poco definidos. Aunque en estos casos se pierde la precisión geométrica, se mantiene la idea de que la luz viaja desde el objeto y se transforma al pasar por la lente, lo cual muestra una apropiación parcial pero significativa del fenómeno óptico.

En conjunto, los diagramas reflejan diferentes niveles de comprensión del proceso de formación de la imagen: desde la simple observación de la dirección de los rayos hasta la elaboración de modelos más elaborados que articulan la función de la lente, la inversión de la imagen y la relación con el ojo humano. Este avance evidencia que los estudiantes comienzan a comprender la luz no solo como un fenómeno visible, sino como un sistema ordenado de trayectorias que permite explicar geoméricamente la formación de la imagen

### 9.6 Sexta actividad: Ley de Snell y rayos de luz

En esta actividad los estudiantes después de haber creado su propio láser, trabajarían con algunas superficies que afectan al láser y de qué manera se podría ver el láser, cabe resaltar que justo en esta actividad se notó poca participación y entusiasmo de los estudiantes:

De los pocos estudiantes que participaron se recogieron los siguientes diagramas:

	<p>En este diagrama se evidencia un caso que se visualiza la refracción, quizás de la observación esquematizaron el fenómeno utilizando el rayo incidente y el rayo refractante</p>
<p>Diagrama #2</p> 	<p>Se hace un diagrama explicando como el rayo entra a la superficie y de qué manera este sale.</p>
	<p>Este esquema se evidencia la primera parte de a la actividad de la visualización del rayo láser en el agua con el tinte del resaltador.</p>

	<p>De igual manera que anterior diagrama se presenta la descripción del fenómeno observado pero esta vez se hace un esfuerzo por añadirle más descripciones, como por ejemplo rayo incidente, rayo reflejado y “rayo transmitido”</p>
	<p>En este diagrama se describe desde dos perspectivas: una vista frontal y una vista de lado, de igual manera es descubriendo el rastro del laser</p>
	<p>En este diagrama suceden dos cosas curiosas: la primera es que se trata de como las longitudes de onda se refractan para así poder ver cierta longitud de onda, la otra curiosidad es que esta en inglés, quizás sacaron el diagrama de internet.</p>
	<p>En este diagrama no hace un esfuerzo por explicar el fenómeno, únicamente expresa los rayos presentes como en un intento de convergencia, pero solo eso</p>
	<p>Esquema casi igual que los anteriores que nombra la ley de snell, quizás los estudiantes estuvieron en la misma mesa.</p>

En los diagramas elaborados por los estudiantes acerca de la refracción de la luz se evidencian distintos niveles de comprensión y representación del fenómeno. Algunos logran esquematizar correctamente la trayectoria del rayo incidente y el rayo refractado, mostrando

una relación entre la observación experimental y la explicación geométrica del cambio de dirección de la luz.

Otros diagramas se centran en representar cómo la luz atraviesa la superficie, describiendo la entrada y salida del rayo al cambiar de medio. Estas producciones evidencian un avance conceptual, pues los estudiantes intentan explicar el comportamiento angular de la luz y no se limitan a una simple observación.

También aparecen representaciones que refieren directamente al experimento del rayo láser en agua con tinte fluorescente, en las cuales se visualiza la intención de capturar el recorrido del haz de luz dentro del medio. Se presenta el rayo desde diferentes perspectivas o planos de observación mostrando esfuerzos por detallar la observación del estudiante

De manera particular, se identifican producciones que intentan relacionar la refracción con otros fenómenos ópticos, como la dispersión de la luz según su longitud de onda. Aunque estas interpretaciones a veces provienen de fuentes externas, muestran curiosidad y deseo de profundizar en el tema.

Por otro lado, se observan esquemas con menor nivel explicativo, que se limitan a dibujar rayos convergentes o divergentes sin justificación, o repiten patrones similares entre compañeros. Esto podría sugerir influencias del trabajo colaborativo pero considero que es más una copia de trabajo por salir rápido del compromiso.

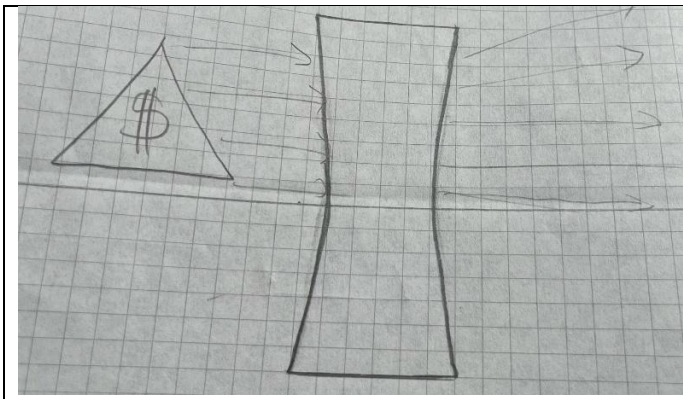
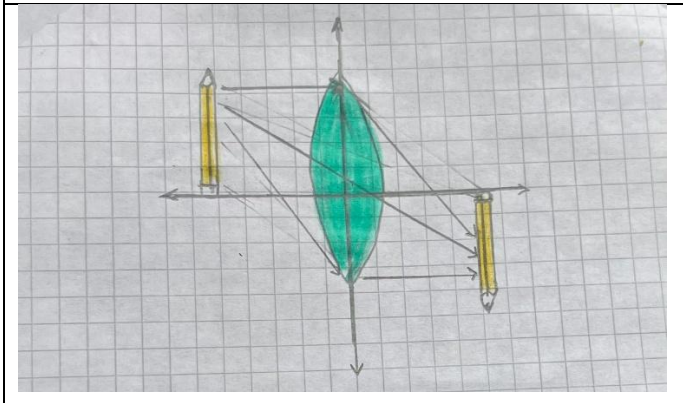
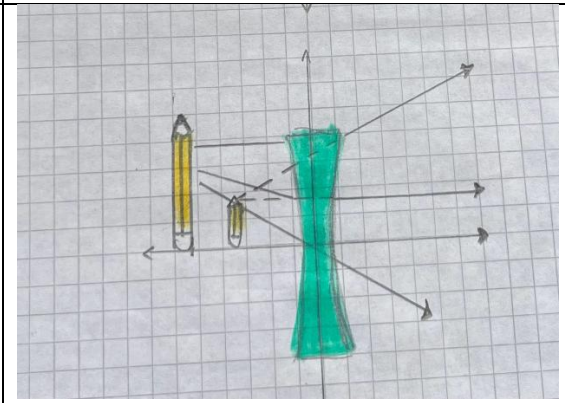
En conjunto, los diagramas revelan una diversidad de niveles cognitivos: desde descripciones empíricas hasta intentos de formalización con vocabulario técnico. Este conjunto de representaciones refleja cómo los estudiantes transitan desde la observación concreta hacia formas más abstractas de explicar la refracción, utilizando el dibujo como medio de exploración conceptual, también es importante mencionar que los estudiantes reconocían la ley de snell, más sin embargo creo que la poca colaboración de los estudiantes no se debe a esto si no más a un aspecto de actitud por parte de ellos.

Para poder darle cierre a la actividad se menciona como la ley de snell es importante en la formación de la imagen debido a que los rayos de luz se desvían por las superficies ocasionando redireccionar los haces de luz introduciendo los tipos de lentes que se trabajaran en la próxima sesión.

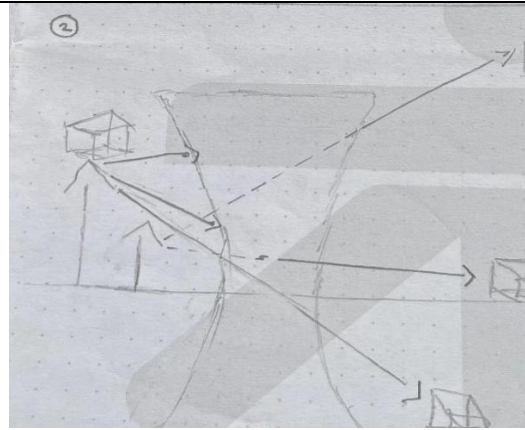
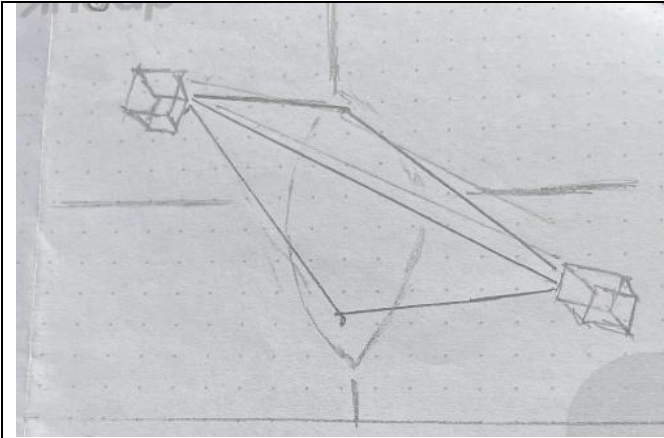
### 9.7 Análisis séptima actividad: formación de la imagen usando el trazado de rayos

Para este punto de la secuencia se abrió la actividad con una presentación, cuyo propósito era explicar el comportamiento de la luz con los lentes que habían experimentado en la sesión pasada

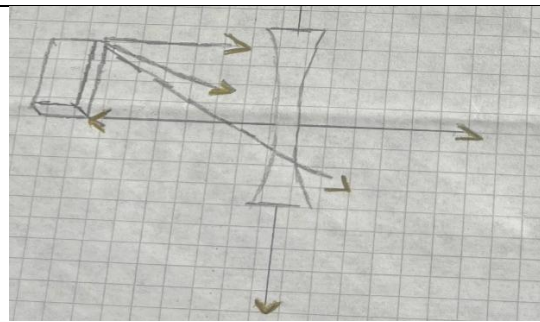
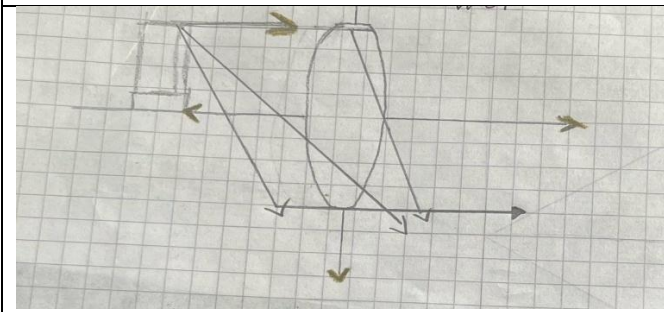
Una vez finalizada la presentación se les pedía a los estudiantes que escogieran un objeto cualquiera y trataran de hacer el trazado de rayos y la formación de la imagen utilizando una lente convergente y divergente, y que hicieran un diagrama de esto, los resultados obtenidos se muestran a continuación

	<p>No presenta diagrama del lente divergente</p>	<p>En el diagrama se observan los tres rayos pasando por la lente divergente, pero se observan más rayos saliendo de este sin formarse la imagen.</p>
		<p>Se observa la lente convergente y divergente y como usando los tres rayos se representa la imagen ya sea invertida o derecha, generando así el foco virtual o derecho</p>

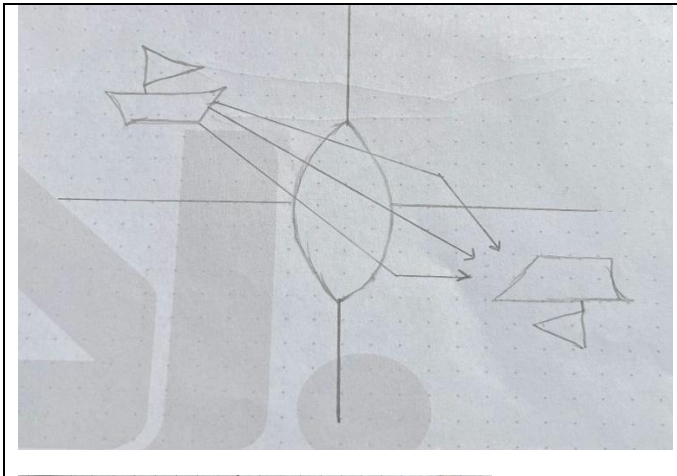
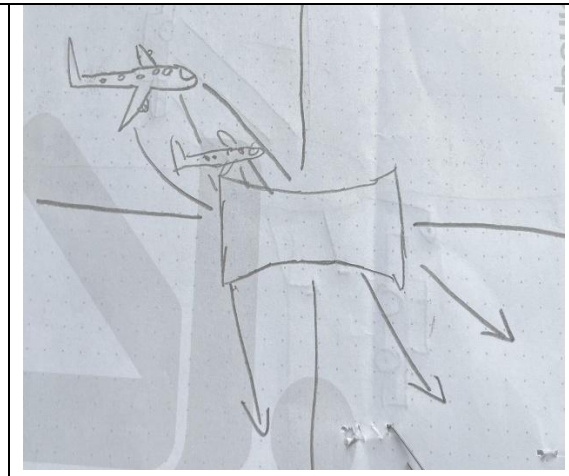
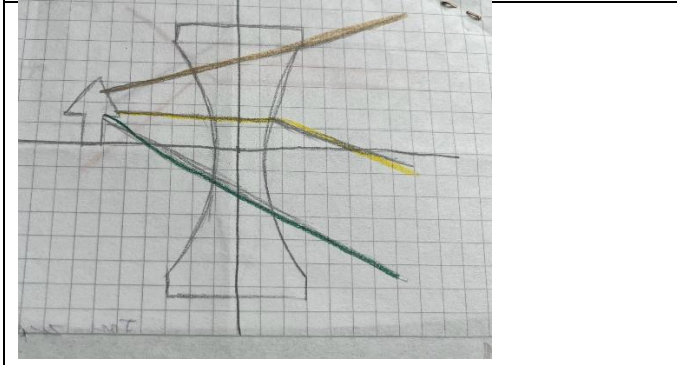
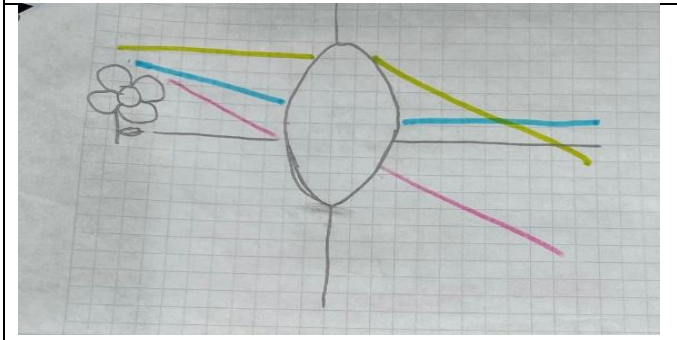
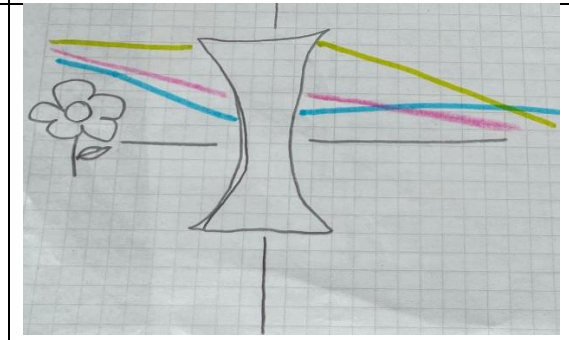
		<p>Aunque la forma de la lente sea un poco similar los rayos tienen una desviación diferente en cada caso, solo en lo que parece ser en la lente divergente se genera la imagen, mientras que en la otra no.</p>
	<p>No presenta diagrama del lente divergente</p>	<p>El diagrama muestra lo que parece ser el comportamiento de una lente convergente, más sin embargo no se muestra la forma de la lente, se utilizan dos rayos y se menciona que la imagen es real</p>
		<p>Se observa la formación de la imagen de una lente convergente y una lente divergente, en el caso de la lente convergente se traza correctamente los rayos, en cambio en la lente divergente se posiciona el objeto después de la lente, más sin embargo se forma correctamente la imagen de la lente</p>

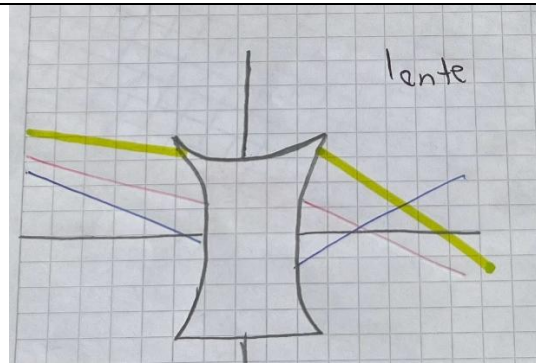
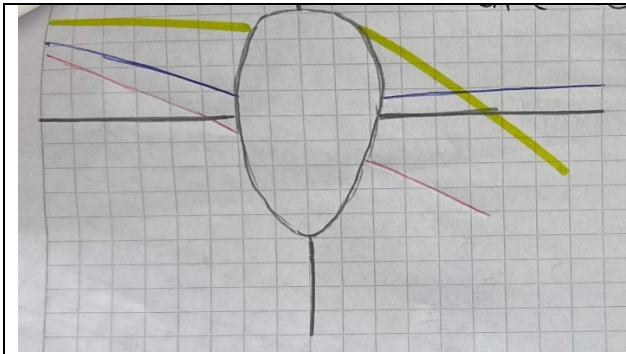


Se forma correctamente la imagen de la lente convergente y por otro lado la lente divergente se alcanza a observar que la imagen se forma en cada rayo que sale de la lente, también se aprecia que hay un intento de formar la imagen de una flecha con el foco virtual

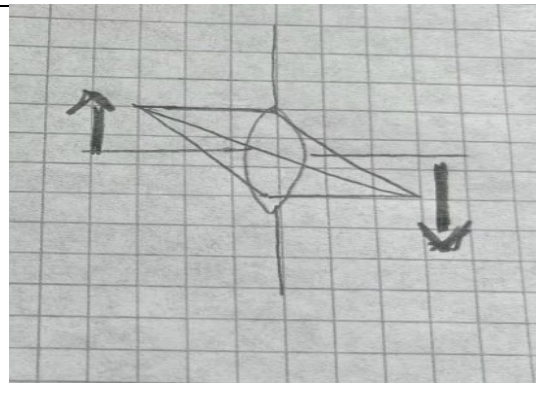
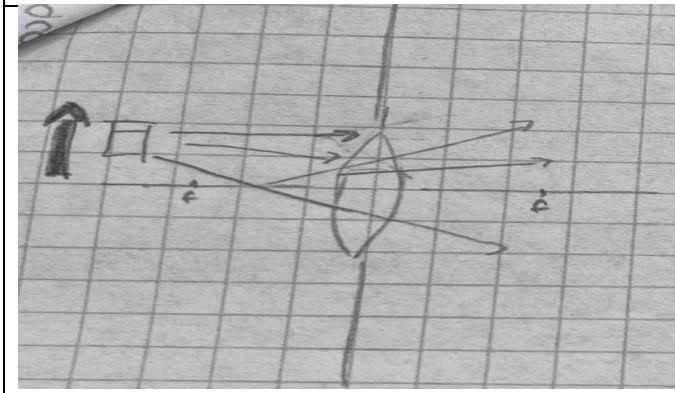


se observa el trazado de rayos de la lente convergente pero no se forma ninguna imagen, en la lente divergente solo un rayo procedente del objeto pasa por la lente

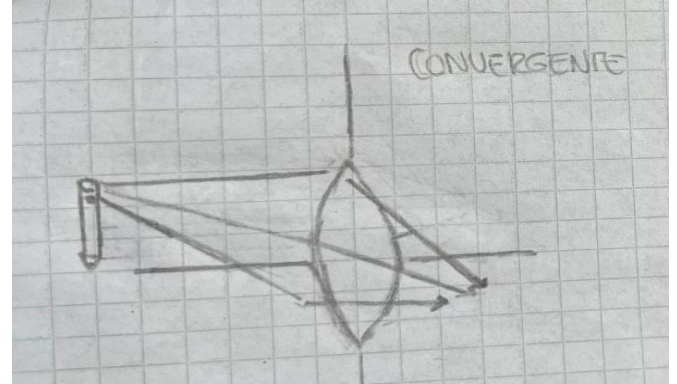
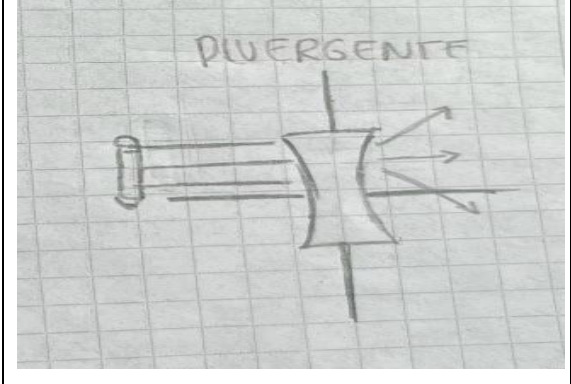
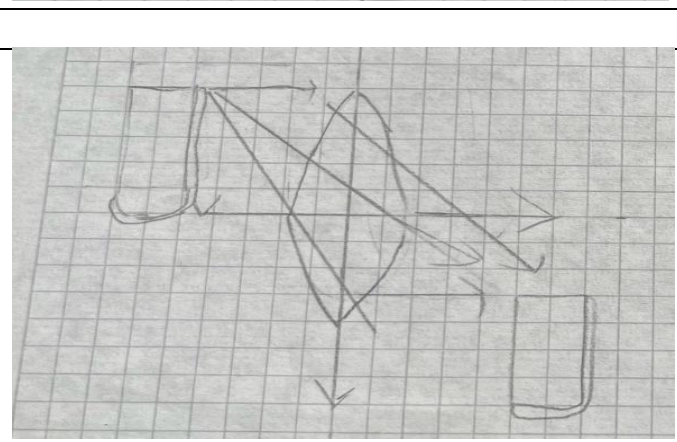
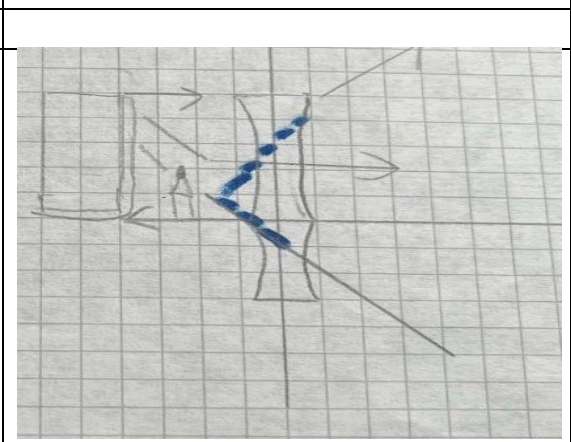
		<p>En la lente convergente se forma correctamente la imagen y en la lente divergente se ve formándose la imagen de avión</p>
	<p>No presenta diagrama de la lente divergente</p>	<p>Solo se ve el tazado de rayos divergentes de la lente y el rayo central cambia de dirección</p>
		<p>se observa una lente convergente y divergente pero no se observa ninguna formación de la imagen, se observa un comportamiento de los rayos como si estuvieran invertido con su comportamiento de la lente</p>

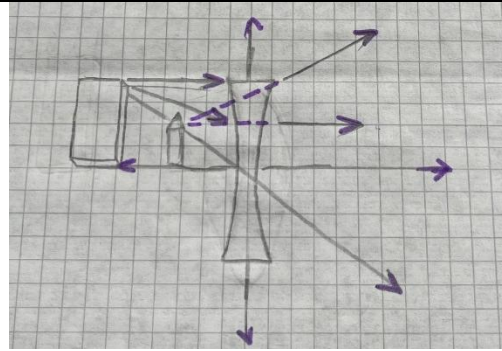
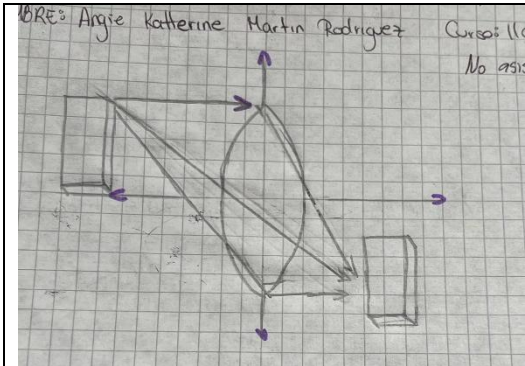


De igual manera se ve un comportamiento curioso de los rayos, en el caso del rayo inferior esta invertido dependiendo la lente y el central cambia de dirección

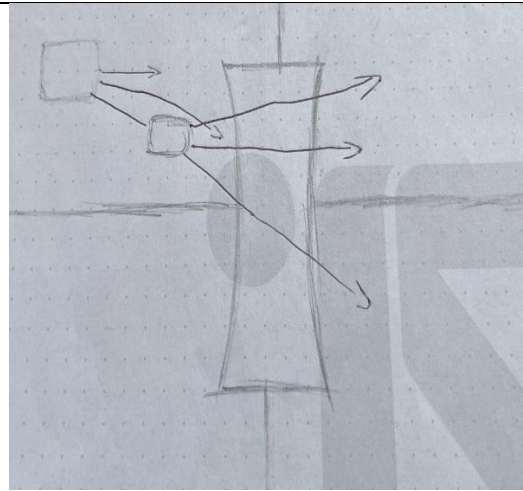
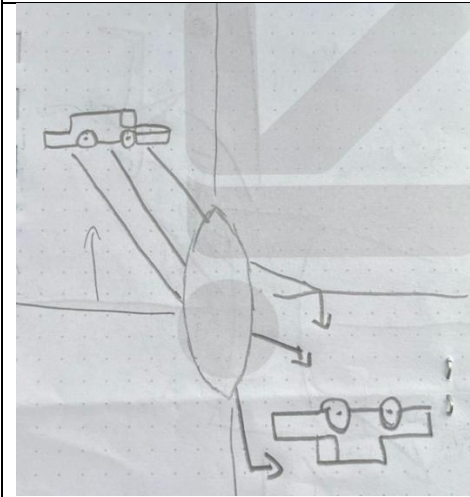


Se observan dos lentes convergentes donde en un caso si cumple con el comportamiento de una lente convergente y en el otro pareciera ser el comportamiento de los rayos de una lente divergente

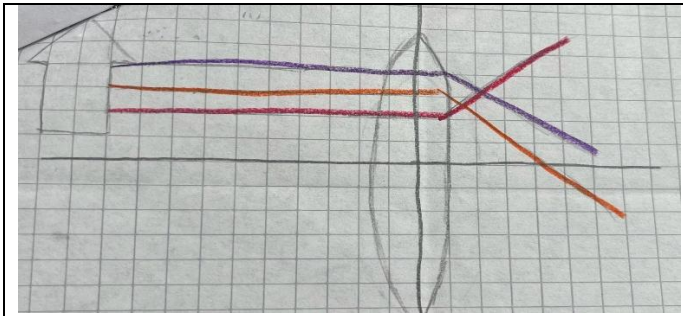
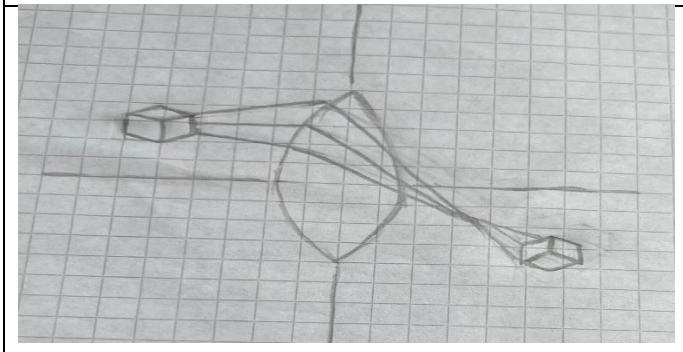
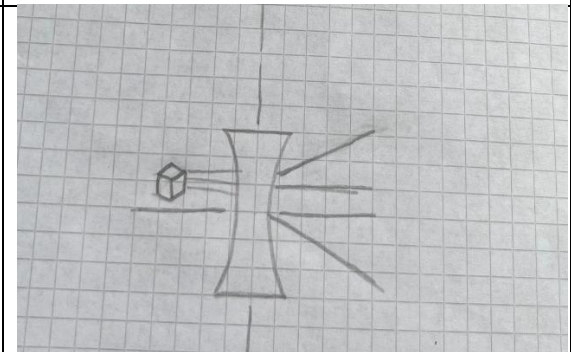
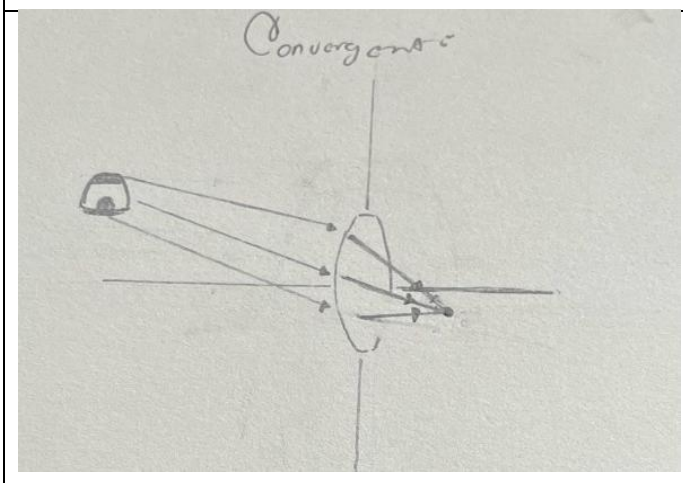
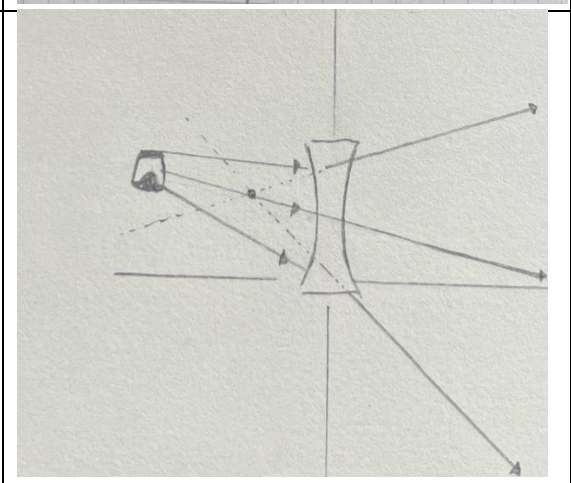
		<p>Se observa una lente converge y divergente pero en ninguna se observa la formación de la imagen solo el trayecto de los rayos</p>
		<p>se observa un lente convergente con la formación de la imagen y una lente divergente formando la imagen con dos rayos resaltados</p>



Tanto como en la lente convergente y divergente se observan los trazados de rayos con su comportamiento correspondiente y la formación de la imagen en cada caso



Se observa que en la formación de la imagen en la lente convergente se ve unos cambios de dirección para poder llegar a la ubicación del objeto, por otro lado con la lente divergente se observa que de la imagen del objeto sale un rayo superior

	<p>No presenta diagrama del lente divergente</p>	<p>Se observa que el comportamiento de los rayos es pensado en que en alguna posición logren converger, más sin embargo se piensa la formación de la imagen en la posición con respecto al objeto</p>
		<p>Se observa una convergencia antes de llegar a la imagen invertida y no se observa la imagen en la lente divergente</p>
<p>Convergencia</p> 		<p>Se observa una buena representación de los rayos pero no se forma la imagen si no que se deja expresado que es el punto donde se forma la imagen</p>

		<p>Se observa la forma de dos lentes divergentes en un caso de los tres rayos que salen del objeto solo sale el central y forma la imagen invertida de la linterna, en el otro caso ese mismo rayo central forma la imagen de unos lentes al derecho</p>
		<p>En el diagrama que se menciona la lente convergente los rayos de luz tienen dirección de una lente convergente y se forma una lente derecha, en el otro diagrama no se muestra el lente pero parece ser una lente convergente, no se muestra la formación de la imagen.</p>

A través de los diagramas se evidencia un tránsito conceptual significativo: desde la simple reproducción de trayectorias hasta la comprensión del comportamiento geométrico de la luz y su relación con la formación de la imagen.

En términos generales, los esquemas muestran distintos niveles de comprensión. En algunos casos se percibe una atención inicial en el trazado de los rayos, sin lograr aún integrar la idea de imagen o foco. Estas representaciones revelan un pensamiento aún centrado en la observación directa del fenómeno, donde la lente funciona más como un objeto físico que como un elemento óptico funcional. Sin embargo, esta primera aproximación es importante, pues marca el punto de partida desde el cual los estudiantes comienzan a atribuir sentido al recorrido de la luz.

A medida que se avanza en las producciones, se empieza a reconocer una diferenciación clara entre el comportamiento de las lentes convergentes y divergentes. Los estudiantes comienzan a asociar la forma de la lente con la dirección de los rayos, mostrando que comprenden la función geométrica de cada tipo. En este nivel, la representación se vuelve más interpretativa: los rayos ya no son simples líneas, sino herramientas que expresan una dirección y una regularidad del fenómeno.

En otras producciones, la noción de foco emerge como elemento organizador del razonamiento. Algunos diagramas indican que los estudiantes logran comprender que, pese a la desviación de los rayos, existe una regularidad o punto de referencia donde estos tienden a converger o divergir. Esta comprensión representa un avance hacia una abstracción geométrica del comportamiento luminoso, lo cual sugiere que los aprendizajes construidos en actividades previas, como la exploración de la direccionalidad y la propagación de la luz, se integran en una estructura conceptual más formal.

No obstante, persisten ciertos indicios de confusiones conceptuales o inversiones en la dirección de los rayos, lo que denota que algunos estudiantes aún se apoyan en la intuición perceptiva más que en la formalización óptica. Estas dificultades, lejos de ser errores, son manifestaciones de una etapa intermedia de conceptualización, donde el estudiante ensaya distintas formas de reconciliar lo que observa con las leyes que intenta representar.

En conjunto, las producciones muestran un proceso de evolución conceptual sólido y coherente con las actividades experimentales anteriores. El pensamiento de los estudiantes transita desde una comprensión fenomenológica de la luz —centrada en la percepción y la descripción— hacia una visión estructurada basada en principios geométricos, donde se reconocen la direccionalidad, la refracción y la formación de imágenes como propiedades sistemáticas del fenómeno.

la actividad permitió evidenciar un avance significativo en la comprensión del comportamiento de la luz y su interacción con las lentes. A través de la construcción y análisis de los diagramas, los estudiantes lograron pasar de una representación intuitiva de los rayos luminosos a una comprensión más estructurada del fenómeno óptico, identificando

cómo las lentes convergentes y divergentes modifican la trayectoria de la luz para formar imágenes.

Se observó que, aunque algunos estudiantes aún presentan confusiones en la dirección o el punto de convergencia de los rayos, la mayoría logró reconocer la función del foco y el papel de la lente como sistema óptico. Esto demuestra que el uso de la representación gráfica resultó ser una herramienta clave para vincular la experiencia empírica con el razonamiento teórico.

### **9.8 Análisis octava actividad: creación de un holograma**

Para finalizar toda la secuencia se propuso realizar un diagrama don la finalidad es que los estudiantes puedan describir como se forma la imagen visual.

Las respuestas evidencian que los estudiantes lograron movilizar conceptos trabajados a lo largo de la secuencia, articulando de forma cada vez más coherente la idea de reflexión, dirección e interacción de la luz con medios transparentes. Por ejemplo, en formulaciones como *“la imagen se forma gracias a la reflexión de la luz en superficies transparentes en la pantalla del celular por los cuatro lados, las imágenes deben ser exactamente iguales y se proyectan en el centro como si fuera una y estuviera flotando, el ojo humano percibe las imágenes de manera virtual”*, se aprecia una comprensión de la superposición de reflexiones y del papel de la percepción del fenómeno. Aquí la luz ya no es descrita como algo que simplemente “viaja”, sino como un agente que puede manipularse para generar efectos ópticos específicos, integrando así lo experimental y lo representacional.

Del mismo modo, expresiones como *“la pirámide hecha de acetato nos sirve como un medio para que la luz no se disperse hacia afuera sino que se refracte en las paredes”* o *“cada cara proyecta una parte de la imagen y al unirse en el centro nuestros ojos perciben que la figura está formada en el aire”* demuestran una internalización de las nociones de refracción y reflexión. Los estudiantes reconocen la función del material transparente como medio óptico, distinguen entre dirección y dispersión y comprenden que la percepción de tridimensionalidad se debe a la superposición angular de múltiples imágenes reflejadas.

Por otra parte, algunas producciones introducen una explicación más técnica, como en *“el holograma se forma cuando un láser ilumina un objeto y la luz reflejada se combina con un haz de referencia”* o *“la imagen del holograma se puede formar gracias a la interferencia de la luz”*. Aunque estas respuestas sobrepasan el fenómeno observado en la experiencia con el celular, revelan un interés por conectar el fenómeno cotidiano con el conocimiento científico formal, lo cual evidencia una ampliación del marco explicativo y un proceso de abstracción conceptual creciente.

Otras descripciones, como *“la pirámide actúa como un conjunto de pequeños espejos transparentes cada cara refleja una de las imágenes hacia el centro”* o *“el holograma se ve por la luz de la pantalla que rebota en el plástico y llega a nuestros ojos, haciendo que el*

*cerebro lo interprete como una imagen flotando en el aire*”, integran de manera clara el rol del observador y la interpretación perceptiva. En estas formulaciones se distingue una comprensión más refinada de que la imagen no está físicamente en el espacio, sino que se construye en la mente del observador a partir de la percepción visual. Esta distinción entre el fenómeno físico y la percepción visual marca un avance significativo en la comprensión de la óptica geométrica y estructura ocular.

Finalmente, respuestas como *“esta experiencia me enseñó que la luz puede manipularse para crear efectos visuales”* el estudiante comprende la potencialidad de la experimentación como medio para construir conocimiento.

hacia la comprensión de cómo el sistema visual humano interviene en la percepción de la imagen holográfica. Las respuestas muestran un intento de articular el modelo óptico de propagación de la luz con el modelo fisiológico de la visión, lo que supone un avance conceptual significativo respecto a las primeras actividades de la secuencia.

En varios casos se aprecia una coherencia entre la trayectoria de la luz y la función óptica del ojo, por ejemplo: *“la luz del holograma entra en el ojo, pasa por la córnea y el cristalino que lo enfocan en la retina, el cerebro interpreta esos rayos como si vinieran del objeto real y se percibe la imagen en 3D”*. Aquí el estudiante reconoce con claridad el papel refractivo del sistema ocular, el foco en la retina y la intervención del cerebro como instancia interpretativa. Estas formulaciones evidencian una comprensión más integrada de la visión como proceso físico y cognitivo, donde la luz no solo “ilumina” sino que porta información espacial que el cerebro reconstruye.

Otras respuestas, como *“yo creo que la luz que emite la pantalla viaja en línea recta y rebota en las paredes hacia arriba y así forma la imagen y el ojo la interpreta como una imagen tridimensional”*, muestran la persistencia del modelo geométrico aprendido, manteniendo la idea de propagación rectilínea y reflexión, pero ahora vinculada al acto perceptivo. Este tipo de explicaciones, indica un esfuerzo por extender las nociones aprendidas a contextos nuevos.

En enunciados como *“la luz pasa por el plástico que funciona como lentes, se desvían y se cruzan, haciendo que el ojo los vea como si viéramos desde arriba del celular”* o *“la luz del holograma entra al ojo, pasa por los lentes y se enfoca en la retina interpretando una imagen tridimensional”*, aparece una asimilación intuitiva del comportamiento óptico de las lentes. Los estudiantes comienzan a atribuir funciones semejantes entre los materiales de la pirámide y las partes del ojo, reconociendo la analogía entre el sistema óptico artificial y el biológico.

Asimismo, afirmaciones como *“los rayos reflejados que entran en el ojo por la pupila, el cristalino y la córnea refractan esos rayos y enfocan sobre la retina”* demuestran un nivel de descripción estructural preciso, donde se mencionan explícitamente los elementos anatómicos y su rol en la formación de la imagen. Este tipo de respuesta refleja un proceso de formalización conceptual, donde la luz deja de ser un fenómeno difuso para convertirse

en una entidad que puede trazarse, desviarse y enfocarse, siguiendo principios ópticos consistentes.

Por otro lado, respuestas como *“las cuatro imágenes pasan por una de las caras y se dirigen al centro y se juntan las cuatro imágenes, cuando la luz se canaliza al centro llega al ojo como una sola imagen”* mantienen la idea de síntesis visual, comprendiendo que la percepción de unidad surge de la superposición de trayectorias luminosas múltiples. Aunque aún se habla de “imágenes que se juntan”, se evidencia una noción más profunda del rol del observador como integrador de información óptica, idea que había comenzado a emerger en la actividad anterior.

las respuestas muestran que los estudiantes lograron trasladar los modelos de reflexión, refracción y dirección del haz de luz al funcionamiento del ojo humano, estableciendo comparaciones estructurales entre el fenómeno óptico y el fisiológico. Esta articulación indica un avance notable en la comprensión de la visión como un proceso en el que la luz se transforma y reorganiza para construir una representación de la imagen visual.

En conjunto, los enunciados evidencian que las actividades previas, donde se exploró la propagación del haz, su visibilidad, la formación de imágenes y la invariancia direccional, sirvieron como andamiajes conceptuales para comprender el fenómeno holográfico. La luz deja de ser un fenómeno abstracto o puramente visual y se convierte en un sistema representable, manipulable y explicable.