

**NEWTON Y LA TEORÍA DEL COLOR:
A PROPÓSITO DE LA FORMALIZACIÓN DE LOS FENÓMENOS**

**Luis Andrés Ospina Ramírez
Erika Tobón Cardona
Nelson Vidal Marín Henao**

**MEDELLÍN
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
DEPARTAMENTO DE LAS CIENCIAS Y LAS ARTES
FACULTAD DE EDUCACIÓN
2010**

**NEWTON Y LA TEORÍA DEL COLOR:
A PROPÓSITO DE LA FORMALIZACIÓN DE LOS FENÓMENOS**

Luis Andrés Ospina Ramírez

Erika Tobón Cardona

Nelson Vidal Marín Henao

**Trabajo de grado para optar al título de
Licenciado(a) en Matemáticas y Física**

Asesor:

Yirsen Aguilar Mosquera

Licenciado en Matemáticas y Física

Especialista en educación en ciencias experimentales

MEDELLÍN

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

DEPARTAMENTO DE LAS CIENCIAS Y LAS ARTES

FACULTAD DE EDUCACIÓN

2010

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

RESUMEN

Newton y la teoría del color: a propósito de la formalización de los fenómenos constituye una investigación enmarcada en una perspectiva cualitativa, caracterizada por un enfoque histórico-epistemológico de la enseñanza de las ciencias, en la que se analizan los procesos de formalización de la teoría del color y la propagación de la luz llevados a cabo por Newton y tres estudiantes en un contexto social, moral, científico, cultural y pedagógico. Como resultado se tiene una caracterización de estos procesos de formalización destacándose la organización de experiencias, la caracterización y cuantificación, el papel de la experimentación, la matematización, y la socialización. Se contrasta la manera de pensar y formalizar el fenómeno de la luz y el color desarrollada por Newton y los casos, permitiendo así una teorización al respecto que se materializa en los componentes de la formalización de los fenómenos físicos. Finalmente, estos componentes configuran una intervención pedagógica diferente, donde el objetivo no es adquirir un cúmulo de conocimientos científicos sino desarrollar los procesos de formalización en los estudiantes y docentes a partir de acciones concretas como: diseñar métodos de medición, identificar atributos, representar, relacionar variables, confrontar resultados, deducir leyes, confrontar ideas, entre otras.

CONTENIDO

RESUMEN	4
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	11
2.1 Preguntas auxiliares	11
3. OBJETIVO GENERAL	12
3.1 Objetivos específicos	12
4. MARCO METODOLÓGICO	13
4.1 Fases de la investigación	13
4.2 Tipo de investigación	14
4.3 Tipo de caso	16
4.4 Contexto	19
4.5 Casos y Criterios de Selección	20
4.5.1 <i>Natalia</i>	21
4.5.2 <i>Marcela</i>	21
4.5.3 <i>Cristina</i>	22
4.6 Instrumentos	22
4.6.1 <i>Entrevista</i>	24
4.6.2 <i>Cuestionario abierto</i>	26
4.6.3 <i>Actividad experimental: Espectro de colores</i>	27
4.6.4 <i>Actividad experimental: Reflexión y refracción</i>	28
4.6.5 <i>Actividad experimental: El color</i>	30
4.6.6 <i>Conversatorio</i>	31

4.7 Análisis de la información	32
4.7.1 Análisis del clásico	33
4.7.2 Análisis de los instrumentos	36
4.7.3 Sistematización	37
4.7.4 Triangulación de la información	38
5. CAPITULO I: NEWTON Y LA TEORÍA DEL COLOR	41
5.1 Perspectiva histórica epistemológica	42
5.2 Un proceso de formalización de fenómenos	43
5.3 Relación matemática-física en la historia de las ciencias	44
5.4 Formalizando el espectro de colores	45
5.5 Caracterización del proceso de formalización	57
5.5.1 Organización de experiencias	57
5.5.2 Caracterización y cuantificación	57
5.5.3 Experimentación	58
6. PRIMERA FASE DEL ANÁLISIS	60
6.1 Entrevista	60
⊙ Sistematización de la entrevista	69
6.2 Cuestionario abierto	71
⊙ Sistematización del cuestionario abierto	82
6.3 Actividad experimental: Espectro de colores	85
⊙ Sistematización de la actividad experimental: Espectro de colores	100
6.4 Triangulación	105
7. CAPITULO II. A PROPÓSITO DE LA FORMALIZACIÓN: UNA REORGANIZACIÓN CONCEPTUAL A PARTIR DE LA EXPERIENCIA INVESTIGATIVA	109
7.1 Reflexión inicial sobre los hallazgos	109

7.2 Reorganización conceptual de los procesos de formalización de la luz y el color en Newton	112
7.2.1 Organización de experiencias	113
7.2.2 Caracterización y cuantificación	114
7.2.3 Experimentación	115
7.2.4 Matemización	116
7.2.5 Socialización	118
7.3 Acciones asociadas a los procesos de formalización	118
7.4 Los procesos de formalización: un objetivo pedagógico	119
8. SEGUNDA FASE DEL ANÁLISIS	122
8.1 Actividad experimental: Reflexión y refracción	122
⊙ Sistematización de la actividad experimental: Reflexión y refracción	131
8.2 Actividad experimental: El Color	135
⊙ Sistematización de la actividad experimental: El Color	153
8.3 Conversatorio	158
⊙ Sistematización del Conversatorio	161
8.4 Triangulación	162
9. CONCLUSIONES	167
BIBLIOGRAFIA	171
ANEXOS	172
ANEXO 1	172
ANEXO 2	173
ANEXO 3	175
ANEXO 4	183
ANEXO 5	186

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Ciencia, más allá de los posibles significados que las distintas disciplinas le otorguen, es una herramienta humana que ha facilitado la comprensión del mundo, de la naturaleza y de los humanos como intérpretes del universo. Ahora bien, cosa distinta es la enseñanza de las ciencias puesto que viene determinada por múltiples factores como: la noción de ciencia, la selección de contenidos, los objetivos, la cultura, la familia, la interdisciplinariedad, entre otros; éstos parecen desfigurar esa intención del docente de conocerse a través de la investigación¹ y constituyen una idea de ciencia y de hombre de ciencia ajena a toda realidad interpretativa. Como consecuencia han surgido gran variedad de alternativas de enseñanza que normalmente surgen de las situaciones de aprendizaje y no de la comprensión de la enseñanza de las ciencias. Es así, como ser maestro de física se convierte en un reto en el complejo mundo de la enseñanza.

La reflexión anterior ha surgido de la observación de algunas clases de Física en algunos grados undécimos del Centro Formativo de Antioquia CEFA de la ciudad de Medellín, en donde se evidencia, en docentes y alumnos, una tendencia a matematizar la física confundiéndola con la mera aplicación de fórmulas y algoritmos a los conceptos y las teorías físicas, mientras que otros se inclinan por una enseñanza y aprendizaje de los conceptos y teorías físicas que no involucran el uso de formalismos matemáticos. En estas distintas maneras de enseñar subyacen distintos significados de conceptos propios de la enseñanza como ciencia, realidad, aprendizaje y evaluación², es decir, la relación matemática-física

¹ La intención del hombre de conocerse a sí mismo a través de la investigación científica se hace explícita en la investigación cualitativa, puesto que esta atribuye a toda elaboración teórica una carga cultural e histórica en todo aquel que la construye. Lo anterior evidencia en la Ciencia no sólo una forma de predecir los fenómenos sino también una forma de conocer a los científicos y a la cultura en la cual existieron. Esta reflexión es producto de las discusiones adelantadas en el seminario de práctica docente: Integración Didáctica VIII (2009-2) de la Licenciatura en Matemáticas y Física, Universidad de Antioquia.

² Reflexiones adelantadas en el seminario de práctica docente Integración Didáctica VIII (2009-2). Licenciatura en Matemáticas y Física, Universidad de Antioquia.

establecida por estudiantes y docentes obedece a formas particulares de considerar los elementos que intervienen en ella. El estudio de la relación matemática-física permite una aproximación al sistema que conecta los anteriores elementos y que configura la idea de ciencia, concepto que determina las posibles formas de enseñar y aprender la física, formas que a su vez se pueden comprender con la intención de razonar las particulares formas de interpretar el mundo cultural y social.

Ahora bien, la intencionalidad de este trabajo de investigación es caracterizar los procesos de formalización, a partir del estudio del color y la propagación de la luz, e indagar por la relación matemática-física a través de dichos procesos. Además, se pretende analizar las consecuencias pedagógicas del estudio de la formalización de los fenómenos.

¿Por qué la propagación de la luz y la teoría del color? Inadvertidamente podría considerarse que el estudio de cualquier fenómeno podría facilitar la comprensión de los procesos de formalización, no obstante, la luz en todas sus manifestaciones ha resultado un misterio a lo largo de la historia de la ciencia. Para Newton, por ejemplo, fue necesario atribuir una característica formal a la luz, construyendo así el concepto de rayo:

Por rayos de luz entiendo las mínimas partes de ésta, y tanto las sucesivas en la misma línea como simultáneas en líneas distintas. En efecto, es evidente que la luz consta de partes sucesivas y partes simultáneas; porque, en el mismo lugar, puede uno detener la que llega en un instante y dejar paso a la que llega inmediatamente después, y del mismo modo puede uno detenerla en un lugar y dejar que pase en otro. La parte de luz que es detenida no puede ser la misma que la que se deja pasar. A la luz mínima o parte de luz que puede ser detenida sola, sin el resto de la luz, o propagada sola, o que puede hacer o sufrir algo que no haga o sufra el resto de la luz, la llamo rayo de luz.³

En lo anterior se evidencia una parte fundamental del proceso de formalización en Newton: la construcción del concepto de rayo como *forma* de la luz. Actualmente

³ ISAAC NEWTON. Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz. Traducción: Eugenio Días Del Castillo. Editorial Maestros de la Ciencia. 1947 Pág. 19

la forma de la luz es diferente para la ciencia, se ha permeado de la teoría cuántica y ondulatoria para atribuirle características de onda y partícula, a su vez el color viene especificado por el espectro electromagnético y el rango de frecuencias.

Así, un análisis histórico epistemológico de la óptica de Newton conlleva a comprender el proceso de formalización que postuló su obra. Esto viene justificado en la exigencia pedagógica de cada docente y alumno por “mejorar su conocimiento y comprensión de las formas cómo cambian las ideas científicas a través del tiempo y cómo la naturaleza de estas ideas y los usos a que se aplican son afectados por los contextos social, moral, espiritual y cultural, donde se desarrollan”⁴. En este orden de ideas, la problemática en cuestión ha de abordarse desde una perspectiva investigativa de orden cualitativo con un enfoque histórico epistemológico de la enseñanza de las ciencias que permita analizar los procesos de formalización de la teoría del color y la propagación de la luz llevados a cabo por Newton y tres estudiantes en un contexto social, moral, científico, cultural y pedagógico, donde se espera encontrar patrones relacionales en las dos formas de abordar la investigación de aquellos que piensan y formalizan el fenómeno de la luz. Finalmente, se pretende adelantar teorizaciones al respecto que permitan una intervención pedagógica diferente donde un objetivo no sea adquirir un cúmulo de conocimientos científicos sino desarrollar procesos de formalización en los estudiantes y docentes.

⁴ MATTHEWS, M. R. Historia, Filosofía y Enseñanza de las ciencias: La aproximación actual. En: Enseñanza de las Ciencias, 1994, 12 (2), 256-257:

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo las relaciones entre los procesos de formalización del color y la propagación de la luz desarrollados por Newton y tres estudiantes del grado 11 del CEFA, permiten la caracterización de dichos procesos determinando nuevos objetivos pedagógicos para la enseñanza de las ciencias?

2.1 Preguntas auxiliares

- ⊙ ¿Cómo analizar el proceso de formalización desarrollado por Newton en el texto de “*óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*”?
- ⊙ ¿Cómo analizar el proceso de formalización desarrollado por tres estudiantes del grado 11 sobre el color y la propagación de la luz desde la aplicación de instrumentos y su *triangulación*?
- ⊙ ¿Cómo caracterizar el proceso de formalización desarrollado por Newton y tres estudiantes del grado 11 a partir de la contrastación de las distintas maneras de pensar y explicar el fenómeno de la propagación de la luz y el color?
- ⊙ ¿Cómo la anterior caracterización determina nuevos objetivos pedagógicos para la enseñanza de las ciencias?

3. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los distintos procesos de formalización del color y la propagación de la luz desarrollados por Newton y por tres estudiantes del grado 11 del CEFA determinando nuevos objetivos pedagógicos para la enseñanza de las ciencias.

3.1 Objetivos específicos

- ⦿ Analizar el proceso de formalización desarrollado por Newton en el texto de *“óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz”*.
- ⦿ Analizar el proceso de formalización desarrollado por tres estudiantes del grado 11 sobre el color y la propagación de la luz desde la aplicación de instrumentos y su *triangulación*.
- ⦿ Caracterizar el proceso de formalización desarrollado por Newton y tres estudiantes del grado 11 a partir de la contrastación de las distintas maneras de pensar y explicar el fenómeno de la propagación de la luz y el color.
- ⦿ Reconceptualizar los procesos de formalización a partir de los resultados del análisis de la aplicación de los instrumentos y de una nueva lectura del texto *“óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz”*.
- ⦿ Determinar nuevos objetivos pedagógicos para la enseñanza de las ciencias desde la caracterización realizada, de tal modo que se potencien las acciones propias de la formalización de los fenómenos.

4. MARCO METODOLÓGICO

4.1 Fases de la investigación

FASES	COMPONENTES	CARACTERÍSTICAS
Planeación	Exploración del contexto educativo.	Centro Formativo de Antioquia (CEFA).
	Lectura del clásico.	<i>Óptica</i> de Newton.
	Construcción del marco metodológico y conceptual.	Investigación cualitativa y estudio de casos. Enfoque histórico epistemológico de la enseñanza de la Física. <i>Óptica</i> de Newton: Formalización de los fenómenos.
	Diseño de instrumentos.	Entrevistas, cuestionarios, prácticas experimentales.
Aplicación	Selección de casos.	Categorías para la selección de los casos y elección de los mismos. Solicitudes y permisos: Garantizar accesibilidad a la información ofrecida por los casos.
	Aplicación de instrumentos.	Recolección de la información ofrecida por los casos.
	Reconstrucción del marco metodológico y conceptual.	Investigación cualitativa y estudio de casos. <i>Óptica</i> de Newton: Procesos de formalización.
	Reelaboración de instrumentos.	¿Existen suficientes instrumentos para triangular? ¿Los instrumentos diseñados responden a los objetivos de la investigación?
Análisis e interpretación	Análisis de la información.	Elaboración de asertos y triangulación de instrumentos.
	Reconstrucción del marco conceptual.	<i>Óptica</i> de Newton: Procesos de formalización
	Significación pedagógica	Consecuencias pedagógicas de la caracterización de los procesos de formalización en la enseñanza de la física.

4.2 Tipo de investigación

¿Cómo se realiza el proceso investigativo?

Para responder a la pregunta de investigación y hacer frente a los diferentes objetivos planteados, el trabajo de investigación comienza con un proceso de identificación y de análisis de contextos, entendiendo con ello el contenido del clásico (obra científica cuyo contenido pertenece a una época y cuyos conceptos tienen una significación exclusiva: la óptica de Newton para el caso) y el contexto escolar en donde los estudiantes se desenvuelven (Centro Formativo de Antioquia, CEFA). Se dedica un gran interés a la particularidad de ambas cosas, se valora y da prioridad en éste trabajo a las formas únicas cómo Newton y las estudiantes piensan algunos asuntos de la luz como su propagación y los colores, que obedecen a concepciones individuales de ver, comprender y explicar el mundo.

Las anteriores preocupaciones obedecen a las intenciones que como investigadores se tienen de comprender y generar descripciones, interpretaciones y construcciones de significados, más que de producir explicaciones del tipo causa-efecto o realizar mediciones como sumas de datos clasificados que conduzcan a una covariancia sustancial. La prioridad no es la de formular alguna generalización sino *asertos* sobre los procesos de formalización con un fin pedagógico. Interesa *comprender* y tener un conocimiento sobre algunas formas particulares de apreciar el mundo. Es por lo anterior que la investigación o el tipo de investigación que se aborda aquí, se conoce como investigación cualitativa con estudio de caso.

La investigación cualitativa trabaja con episodios de relación única para formar una historia o una descripción única del caso (Stake, R., 1998, pág. 62)

Es importante agregar que la investigación centra su interés en la indagación de un caso particular dentro de la investigación en física, convirtiéndose así la

investigación cualitativa en un estudio instrumental de caso⁵; se busca pues, resolver el problema expuesto anteriormente mediante la comprensión de las formas explicativas que Newton y tres estudiantes establecen para dar forma al fenómeno de la propagación de la luz y el color. Con lo antepuesto se quiere indicar que no será objeto de estudio la vida misma de Newton y las estudiantes, no buscamos comprenderlos de manera intrínseca sino instrumental. Importa comprender cómo Newton y las estudiantes pueden ser ese *punte* o ese *medio* para dar respuesta a la pregunta de investigación, es decir que, los sujetos así considerados y el fenómeno en cuestión, se convierten en un instrumento de mediación para comprender los procesos de formalización.

¿A qué se debe la necesidad de seleccionar diversos casos o informantes?

La importancia viene dada por la necesidad de identificar y reconocer otras realidades, ya que cada caso comprende de una manera particular lo que significa el color, la luz y su propagación.

El estudio cualitativo está mediado por la interpretación y teorización, estos componentes son posibles dado que esta metodología de investigación es flexible, a su vez permite organizar el proceso en el transcurso del tiempo con el objetivo de resolver el problema que más inquieta: la pregunta de investigación.

Un aspecto importante a tener en cuenta dentro de la investigación cualitativa es el establecimiento de las categorías, ya que permiten delimitar el estudio. Al respecto, se hará más claridad en la sección de **análisis del clásico** sobre las categorías a tener presentes en el estudio.

⁵STAKE, R. E. Paradigmas cualitativos y cuantitativos. En: Investigación con estudio de casos. Madrid. Ediciones Morata. 1998. Pág. 17

4.3 Tipo de caso

Según la clasificación que establece Stake⁶, el tipo de caso a considerar en ésta investigación se define como un estudio colectivo e instrumental de caso. Es colectivo ya que se analizan a varias personas con características diferentes, y es instrumental puesto que se busca comprender el problema sobre la formalización de la propagación de la luz y el color, y no a los informantes en sí mismos, éstos constituyen un instrumento para los objetivos de comprensión sobre dicho problema.

Se ha tenido en cuenta para el estudio de caso los siguientes aspectos:

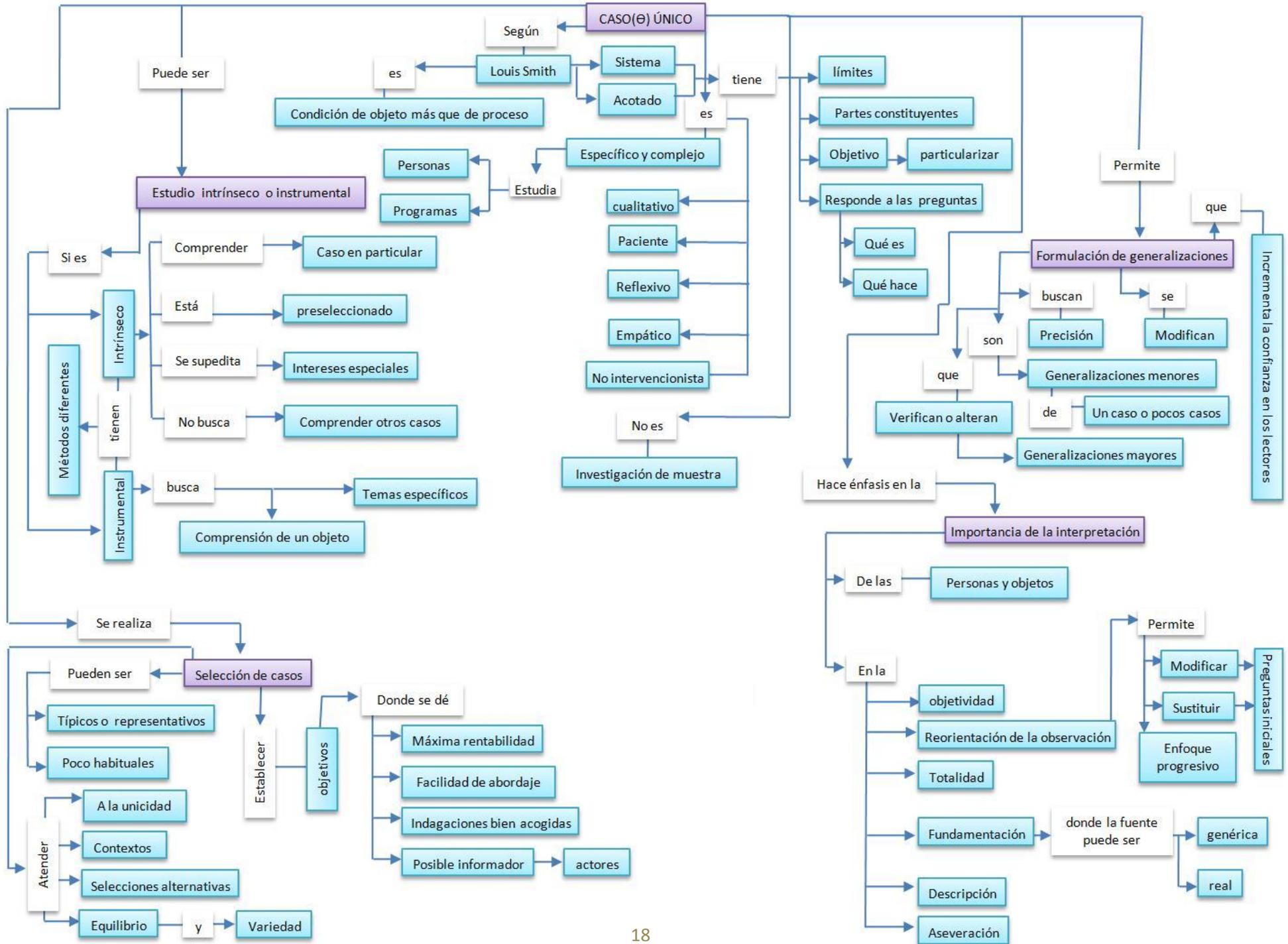
- ⊙ Establecer los objetivos.
- ⊙ Atención a la unicidad y los contextos de las selecciones alternativas.
- ⊙ Seleccionar casos o informantes que sean típicos o representativos: Se busca equilibrio y variedad en las características. ¿Qué casos pueden llevarnos a la comprensión, a los asertos, quizá incluso a la modificación de las generalidades?
- ⊙ Analizar cada uno de los casos, para ello es importante:
 - ✓ Atender a la facilidad de acceso e indagaciones bien acogidas por las personas estudiadas.
 - ✓ Hacer valoración del progreso en los primeros momentos para analizar si conviene abandonar un caso y elegir otro.
- ⊙ No confinar la interpretación al desarrollo de instrumentos con anterioridad a la recogida de datos (lectura del clásico y selección de los casos).
- ⊙ Observación discreta y revisión de lo recogido: examinar los significados para precisar o sustanciar esos significados. Al respecto se utiliza lo consignado en los instrumentos (entendiéndose éstos como las distintas actividades que se realizan con las estudiantes, en las que se hace uso de diferentes herramientas de indagación y experimentación) como fuente de información valiosa.

⁶ Ibíd. Pág. 41 – 48.

- ⦿ Interpretación fundamentada: Concluimos aspectos relevantes a partir de las observaciones y de otros datos. Erickson las llamó asertos (assertions), una forma de generalización.
- ⦿ Si las primeras preguntas no funcionan, si aparecen temas nuevos, se cambia el diseño (enfoque progresivo).
- ⦿ Paciencia, reflexión y disposición a considerar otras versiones del caso. La ética de la precaución no está reñida con la ética de la interpretación.
- ⦿ Intentar preservar las realidades múltiples, las visiones diferentes e incluso contradictorias de lo que sucede.

A continuación se muestra un esquema sobre el caso único, en el se aprecia cuatro ejes fundamentales: clasificación del estudio de caso, sea de carácter intrínseco o instrumental; selección de casos; formulación de generalizaciones, donde es importante aclarar que en ésta investigación se utiliza la palabra asertos para indicar generalizaciones que sólo se enmarcan dentro del límite del caso que estudiamos, también conocida con el nombre de generalizaciones menores⁷; y finalmente, sobre la importancia de la interpretación.

⁷ Es posible que no se consideren generalizaciones las que se hacen sobre un caso o unos pocos casos, y sea necesario denominarlas *generalizaciones menores*, pero son generalizaciones que se producen con regularidad durante el proceso del estudio de casos. (Stake. 1998, Pág. 20)



4.4 Contexto



La investigación se llevó a cabo en el Centro Formativo de Antioquia (CEFA), institución de carácter público, ubicada en la calle 50 # 41-55 del municipio de Medellín. Esta institución cuenta con los siguientes espacios que permiten el desarrollo integral de la mujer: 31 Aulas de clase, 11 Aulas especializadas, 2 Laboratorios para física, 2 Laboratorios para química, 1 Laboratorio para biología, 1 Laboratorio para salud, Coliseo, Biblioteca en dos niveles, Espacios recreativos, Espacios lúdicos: piscina, zona húmeda, 2 Patios. Área construida: 9.800 metros, área sin construir 1.870 metros. Presta el servicio educativo para la población femenina entre 14 y 18 años de edad que haya terminado la educación básica secundaria en Medellín y demás municipios del departamento de Antioquia.

Su misión consiste en formar a la mujer en el nivel de Educación Media Académica y Media Técnica fundamentada en la cultura ciudadana que la prepara para la iniciación básica laboral y el ingreso a la educación superior. La filosofía de la institución busca llevar a la mujer a las aulas de clase, brindándole conocimientos que eleven su dignidad humana, la de su familia y la de la sociedad, con el desarrollo de conocimientos científicos, investigativos, creativos, críticos e innovadores. En general las estudiantes son muy respetuosas, organizadas, comprometidas con la misión y visión de la institución y activas en las diferentes labores que realizan, lo cual se debe en parte a la buena organización administrativa y el gran trabajo que desempeñan los coordinadores y los docentes de las diferentes áreas.

La investigación inicia en el año 2009 y finaliza en el 2010 con un grupo de la modalidad salud cinco, jornada de la tarde, desde el grado décimo a undécimo, con una intensidad de dos horas semanales en el área de física. Los lugares de aplicación de los diversos instrumentos, objeto de análisis, fueron: laboratorio de física, biblioteca y azotea del colegio.

4.5 Casos y Criterios de Selección

En los años 2009-2010, en los distintos escenarios del CEFA, se tuvo la oportunidad de compartir con las estudiantes del grupo de la modalidad salud cinco, logrando un acercamiento académico y personal, permitiendo distinguir y seleccionar los casos o informantes que cumplen con unas características específicas que viabilizaban el trabajo de investigación. Un factor clave, para la selección de los casos, es el aporte significativo de los docentes cooperadores del área de física: Jorge Eliecer Gaitán y Nohelia Ospina, quienes se mostraron muy colaborativos en el proceso de investigación. Con el docente Jorge se logra un primer acercamiento con las estudiantes en el grado décimo, se llevaron a cabo intervenciones e implementaciones de actividades experimentales; hubo un acompañamiento en la elaboración de talleres y elaboración de guías escritas para la comprensión de algunos fenómenos físicos. Con la docente Nohelia se obtiene un trabajo de enseñanza más elaborado y autónomo⁸, en el sentido que los investigadores se encargan de preparar, diseñar e implementar las diferentes actividades, lo que permite en el proceso identificar los casos o las informantes cuyas características mostraremos a continuación.

⁸ La docente cooperadora siempre estuvo presente en el aula de clase y su observación sobre el proceso de investigación fue decisivo para la selección de los casos, si bien la intervención realizada por los investigadores tenía un carácter más autónomo, la docente siempre se preocupó de hacer seguimiento a las estudiantes (participación, evaluaciones escritas y revisión de talleres y tareas).

4.5.1 Natalia⁹

Para la selección de la estudiante Natalia se tuvo en cuenta su proceso educativo durante el grado décimo y undécimo; en este tiempo se pudo apreciar su interés por comprender mejor la física, solucionar los problemas que eran propuestos por el docente para la clase, el orden y el cuidado para tomar nota en su cuaderno y la disciplina en cuanto a la presentación de talleres, laboratorios, ejercicios o problemas de física que se dejaban como tarea para el hogar. Su participación en las discusiones dentro del aula de clase fue pobre, sin embargo, el rendimiento¹⁰ en el área de la física durante el grado décimo fue bastante bueno. En el grado once, hasta el mes de junio, su rendimiento fue menor. Es una joven algo tímida pero supera su timidez asumiendo una actitud colaborativa cuando se le solicita su participación en la ejecución de los diferentes instrumentos.

4.5.2 Marcela

Para la selección de la estudiante Marcela, se analiza su participación en las clases de física en los grados décimo y once. Se evidencia una disposición menos activa y crítica en último grado de bachillerato, además, su rendimiento académico refleja cierta apatía en la solución de talleres y otros trabajos propuestos por el docente. Sin embargo, sus buenas contribuciones al momento de dar explicaciones físicas en el grado anterior, resultan ser un aspecto valioso para nuestro trabajo de investigación; esto nos brinda la oportunidad de contrastar el desempeño de la estudiante tanto en la parte discursiva como en el trabajo de escritura al momento de dar explicaciones a un fenómeno físico. Por otro lado, al proponerle a Marcela si quería hacer parte de la investigación se nota algo

⁹ Por respeto a las estudiantes y siguiendo el voto de confianza brindado por ellas, se hace reserva de sus identidades. Los nombres que aquí aparecen son ficticios, esto se hace con el fin de diferenciar los casos en esta investigación y hacer que el análisis este referido a personas.

¹⁰ Aquí nos referimos a las notas acumuladas durante el periodo, estas aluden por lo general a la presentación de talleres, laboratorios, ejercicios o problemas dejados para la casa que son objeto de revisión, además de los exámenes realizados en clase, propuestos por el docente. En este año la forma de calificar a las estudiantes consiste en asignar un valor numérico entre 1 y 5, siendo 5 la nota más alta.

inquieta, siendo la primera en preguntar el por qué su elección, aún así, se mostró colaborativa e interesada.

4.5.3 Cristina

Para la selección de la estudiante Cristina se necesitaba una persona que combinara tanto la responsabilidad al resolver las diferentes tareas dejadas para la casa, así como su prestancia a discutir en clase algunos asuntos físicos. De acuerdo a la observación realizada por la profesora cooperadora y constatada por la de los investigadores, es una estudiante ejemplar en el aula de clase. Por otro lado, su actitud en el momento de su selección fue bastante positiva, manifestando un gran interés en el trabajo de investigación, al punto de no preocuparle si la información suministrada por ella (cuando le comunicamos la reserva de los datos personales) se hacía pública.

Atendiendo a lo anterior, los criterios de selección son:

1. Prestancia para elaborar trabajos escritos o discursivos.
2. Rendimiento académico.
3. Facilidad de acceso.
4. Actitud positiva frente a la participación en la investigación.

4.6 Instrumentos

Después de la definición del problema, la formulación de la pregunta de investigación, el análisis de la fuente de datos (lectura del clásico)¹¹ y la identificación de las informantes, se procede a la elaboración y aplicación de los instrumentos que derivan de la lectura de la obra de Newton y los objetivos de la

¹¹ Ver análisis del clásico: sección 5

investigación. Con los diferentes instrumentos se busca, además de indagar y contrastar los procesos de formalización, que las estudiantes:

- Generen explicaciones desde sus conocimientos para comunicar físicamente sus ideas cuando se le formula una serie de problemas referentes a fenómenos cotidianos de la luz.
- Reflexionen sobre ciertas imágenes o representaciones de los fenómenos lumínicos.
- Experimenten con materiales de trabajo, reflexionen sobre las relaciones entre éstos objetos y establezcan condiciones para la comprensión del fenómeno de la luz.
- Construyan y refinen continuamente sus conceptos relacionados con la luz.

Dentro de cada punto mencionando se abre un abanico de posibilidades a la estudiante para explicar un fenómeno, lo que permite a cada sujeto construir diferentes procesos de formalización. La claridad anterior se hace con la finalidad de que el lector no piense que se está imponiendo, con la aplicación de los instrumentos, una forma de pensar o actuar específica, sino que se permite con ellos la multiplicidad de las funciones de los procesos del pensamiento.

De esta manera se tiene un primer instrumento que consiste en una entrevista semi-estructurada¹² en la que se formulan preguntas referentes a fenómenos cotidianos de la luz y donde las estudiantes responden desde sus experiencias. El segundo instrumento consta de un formato escrito en el que se exponen imágenes y se formulan preguntas asociadas sobre el fenómeno de la luz; aquí las estudiantes deben consignar sus explicaciones y/o aportes teóricos. Con este instrumento se busca que las estudiantes asocien y signifiquen sus conceptos relacionados con el fenómeno de la luz cuando observan las imágenes. Un tercer instrumento consiste en una actividad experimental sobre el espectro de colores donde las estudiantes, desde la manipulación, la representación y el

¹² Una entrevista *semi-estructurada* es aquella en la que contamos con una guía de preguntas preestablecidas, pero que durante su realización el orden y la forma en que se aplican estas preguntas puede variar según los entrevistados o las respuestas que obtenemos de estos.

establecimiento de relaciones, analizan y dan forma al espectro de colores. Un cuarto instrumento radica en una actividad experimental en la que se indaga sobre las propiedades de la luz: reflexión y refracción. Se hace un trabajo grupal entre estudiantes e investigadores sobre el fenómeno en cuestión. En esta actividad las estudiantes tienen la oportunidad de escoger la forma de ordenar los materiales de trabajo para comprender la refracción y reflexión de la luz. Se tiene un quinto instrumento que está diseñado en tres momentos, cada uno con una actividad experimental que los identifica: la primera relacionada con los colores de los objetos y los colores de la luz; la segunda sobre formación de los colores cuando se combinan objetos; y la tercera sobre la formación del arcoíris. Se busca con éste instrumento que las estudiantes diferencien los colores de los objetos de los colores de la luz y expliquen los mismos. Finalmente, se aplica un sexto instrumento que consiste en una socialización en mesa redonda o conversatorio, donde se exponen las explicaciones, argumentos o ideas que las estudiantes construyeron acerca de la propagación de la luz y la formación de los colores durante todo el proceso de aplicación de los instrumentos.

En general, se aplican seis instrumentos, los primeros tres de indagación, observación y experimentación en donde las estudiantes formulan explicaciones e inquietudes físicas, también se contrastan los procesos de formalización que llevaron a cabo. Los tres últimos son de indagación, observación, experimentación y discusión, se busca contrastar las acciones asociadas a los procesos de formalización sobre el fenómeno de la propagación de la luz y la formación de los colores con un sentido pedagógico. Así pues, se da respuesta a la pregunta de investigación, contribuyendo de esta manera a la resignificación de los procesos de formalización.

4.6.1 Entrevista

En la obra de Newton se evidencia que los conceptos han tenido una génesis, un proceso de construcción histórico que ha permitido al autor explicar la

descomposición de la luz, es el caso de la refracción y reflexión de la luz. En este análisis se puede inferir que el proceso de construcción del conocimiento no parte de la nada, sino de ideas o conceptos previos que el sujeto tiene y que son fruto de las diferentes relaciones que establece con medios académicos, sociales, culturales, etc. Es así como Newton logra utilizar el conocimiento de la época sobre la luz para comprender el espectro de colores, a la vez que le permitió abandonar la concepción de luz inmutable a una luz compuesta por colores.

Consecuente con la observación anterior, se diseña una entrevista (ver anexo 1) con la finalidad de conocer las herramientas conceptuales previas que poseen las estudiantes para dar explicación a ciertos fenómenos, específicamente al fenómeno de la propagación de la luz y la formación de los colores. Se busca contrastar dichas ideas en la aplicación de los demás instrumentos como una oportunidad de analizar la evolución de los conceptos, experiencias, ideas, argumentos, entre otros, de las estudiantes.

Para el diseño y aplicación de la entrevista se tuvo en cuenta varios aspectos considerados en la obra de Beverly Bell, Roger Osborne y Ross Tasker, autores del artículo "Averiguar lo que piensan los niños". Dichos aspectos se pueden resumir en lo siguiente:

1. Conseguir que los alumnos expresen sus ideas con sus propias palabras.
2. Formular preguntas fáciles de responder más que difíciles, neutrales más que dirigidas, pero por otra parte profundas, más que superficiales.
3. Buscar equilibrio entre las preguntas cerradas y abiertas, sencillas y difíciles, superficiales y profundas, indefinidas y muy concretas.
4. No sugerir una respuesta concreta.
5. No es desarrollar un nuevo concepto en el alumno, son los conceptos del niño los que tratamos de introducir en la cabeza del entrevistador.

6. Evitar parecer la entrevista un examen oral.
7. Realizar preguntas de seguimiento.
8. Las respuestas iniciales pueden ser examinadas incluyendo preguntas suplementarias y de sondeo.
9. Atender las respuestas dadas y seguirlas hasta tener una mejor comprensión de la respuesta.

Además de seguir lo expuesto, una herramienta que resulta útil en la realización de la entrevista, es la grabadora de audio, en la cual se registra y se almacena la información. También se toman apuntes claves en el cuaderno de notas durante la entrevista, luego se realiza una transcripción o registro facsímil y el comentario interpretativo en formato digital.

La utilidad que tiene la entrevista es que mucho de lo que no se puede apreciar u observar en una intervención directa, puede conocerse dando participación a los casos. De esta manera y según el enfoque cualitativo de esta investigación, la entrevista permite una aproximación a las realidades múltiples de las estudiantes.

4.6.2 Cuestionario abierto

Newton, en 1665, adquiere un prisma para repetir el “célebre fenómeno de los colores”, un fenómeno ya observado por físicos antecesores y contemporáneos a él. En el contacto visual con el fenómeno, Newton se cuestiona sobre la particular forma en que se distribuyen los colores, una forma particular que le remite a pensar en imágenes geométricas y con las cuales establece un serie de relaciones entre ellas en un proceso que se refina con la experimentación hasta demostrar que la luz blanca estaba compuesta por *rayos* de otros colores.

Es así, que las imágenes que una persona proyecta en su mente y que parten del contacto visual con ciertos fenómenos, son un componente esencial para iniciar un

trabajo de comprensión de los mismos. Por esta razón, se diseña un cuestionario abierto con imágenes relacionadas con el fenómeno de la luz en el que las estudiantes deben argumentar sus observaciones.

Para el diseño y aplicación del cuestionario abierto se parte de las siguientes preguntas:

- ¿Qué tipo de imágenes emplear?
- ¿Cuáles sirven a los propósitos del trabajo de investigación?

En este orden de ideas se elabora el cuestionario abierto con la siguiente estructura: en una primera parte se muestran cinco imágenes relacionadas con el fenómeno de la luz: un arcoíris, el sol en el atardecer, un Cd en donde se observa el espectro de colores, un prisma que muestra la descomposición de la luz y unas manos iluminadas, esta última imagen fue seleccionada con la intención de explorar otras posibilidades de pensar y hablar sobre la luz. Con dichas imágenes la estudiante, y de acuerdo a su experiencia, da explicaciones físicas en un pequeño texto argumentativo. En un segundo punto se plantea una situación problema en relación con la dispersión de la luz en un Cd, donde la estudiante, mediante explicaciones físicas, debe ayudar a un amigo hipotético en la solución de su inquietud. En tercer y último lugar se presentan dos situaciones con tres imágenes, se busca que la estudiante de explicaciones acerca del cambio de dirección de la luz y su propagación (si se da en forma instantánea o no).

4.6.3 Actividad experimental: Espectro de colores

En el clásico de la óptica de Newton se detalla que los experimentos son fundamentales para comprender la descomposición de la luz, estos fueron pensados, diseñados y aplicados obedeciendo a unas formas particulares de razonar del sujeto. Newton hace uso del experimento como herramienta de credibilidad, además de construcción del conocimiento. Por esta razón, se diseña una actividad experimental que busca reproducir el célebre experimento del

espectro de colores, pero sin acudir, como condición esencial en su aplicación, a las observaciones detalladas por Newton. Lo que se hace es presentar el fenómeno de la forma más sencilla posible, permitiendo que las estudiantes observen y analicen el fenómeno y, a partir de una serie de preguntas, hagan uso de las diversas herramientas allí presentes para deducir las relaciones entre los efectos y las causas del espectro de colores.

Es importante anotar que en la descripción que hace Newton de este experimento, se ve la necesidad de disponer de un prisma, una habitación oscura con un pequeño orificio en una ventana y un rayo de luz del sol que lo atravesase para dar cuenta del espectro de colores. Pensando en las condiciones de iluminación del colegio, se opta por realizar un montaje sencillo con materiales fáciles de conseguir, simulando así un cuarto oscuro con un prisma en su interior. Con este montaje las estudiantes pueden controlar los diferentes objetos (caja, prisma, luz) para establecer condiciones y/o relaciones que permitan explicar el espectro de colores.

Para el diseño y la aplicación de la actividad, se pensó también en la formulación de preguntas que permitieran la descripción, representación, argumentación, establecimiento de relaciones y la formulación de inquietudes en las estudiantes sobre el espectro de colores. En este sentido se elaboran ocho preguntas relacionadas con el color; distribución de los mismos en el espectro; relación entre la distribución de los colores y la posición del prisma; forma del espectro; imagen de una lupa y relación entre la imagen de la lupa y el espectro.

4.6.4 Actividad experimental: Reflexión y refracción

Para Newton entender la distribución de los colores en el espectro, le fue necesario comprender la refracción y reflexión de la luz con una forma de representación de su viaje. Utiliza su conocimiento sobre estas propiedades de la luz para establecer una relación entre los grados de reflexibilidad y refrangibilidad

de los rayos de luz, asociando a cada color un grado de refrangibilidad y reflexividad en los diferentes experimentos.

Es así, que las representaciones y la experimentación se enriquecen con la adquisición de otros conocimientos, pues Newton se vale de lo que conocía de la reflexión y refracción de la luz para darle otro sentido a su propagación.

Partiendo del hecho de la importancia de conocer otras explicaciones o argumentos válidos dentro de un contexto determinado, se diseña una actividad que tenga como fin enriquecer la experiencia de las estudiantes mediante dos experimentos donde se ponen en juego la noción de refracción y reflexión de la luz. ¿Cómo lograr lo anterior? Considerando los siguientes aspectos:

- Conduciendo a los estudiantes al manejo de materiales como el láser, espejo, compás, entre otros, para desarrollar un montaje experimental donde se aprecie la reflexión de la luz.
- Suscitando reflexiones, análisis, interpretaciones y representaciones en los estudiantes a partir de cuestionamientos en torno a la reflexión de la luz.
- Guiando a los estudiantes al manejo de instrumentos tales como el láser, probeta, cartón, agua, entre otros, para desarrollar un montaje experimental sobre la refracción de la luz.
- Originando reflexiones, análisis, interpretaciones y representaciones en los estudiantes a partir de inquietudes sobre la refracción de la luz.

El instrumento contiene un dibujo referido a un montaje experimental que permite a las estudiantes representar el viaje de la luz en diferentes medios. El láser que se utiliza en los distintos experimentos se acomoda a la intención de entender la luz como un rayo que viaja en línea recta.

4.6.5 Actividad experimental: El color

Uno de los propósitos de Newton era atribuir al color un sentido diferente en una época en el que no era considerado físicamente. En un esfuerzo por estudiarlo piensa en el color de las cosas y el color de la luz al pasar por un prisma. Considera luces de color que pueden ser homogéneas (todos los rayos que son igualmente refrangibles) o heterogéneas (rayos que son diferentemente refrangibles) para representar el rango de colores del espectro a través de formas geométricas. Con los diferentes experimentos logra demostrar que la luz blanca está compuesta por diferentes colores y que cada color tiene ciertas características físicas debido a su asociación con un rayo de luz que posee un grado de refrangibilidad que lo identifica, es así que el color deja de ser una simple cualidad de los objetos para acondicionarse al de las mediciones físicas.

Atendiendo a lo anterior, se ve la importancia de realizar una actividad que explore algunos de los aspectos más sencillos del color y de las luces de color como la visualización de imágenes con luz blanca artificial o natural, la combinación de luces de color, combinación de colores de ciertos objetos, etc. que permitan la construcción de relaciones conceptuales sobre el color en un trabajo de experimentación que lo facilite. Para tal fin se diseña y aplica tres experimentos sobre el color:

- Experimento 1: Las estudiantes manipulan los colores primarios de la luz para proyectarlos sobre una fotografía. Se busca que comparen y caractericen las luces de color y los colores de la fotografía, y que comprendan la función de la combinación de las luces de color para observar una fotografía o una hoja de block blanca.
- Experimento 2: Se trabaja con colores primarios de los objetos. Los colores se pueden combinar para obtener otros que son objeto de caracterización y comparación. Se busca enriquecer la experiencia de las estudiantes mediante la contrastación de los resultados obtenidos en el primer experimento.

- Experimento 3: Recrear un arcoíris que permita a las estudiantes identificar los elementos necesarios para su aparición: forma dada y colores resultantes. Se busca que caractericen y representen el arcoíris como posibilidad de establecer relaciones entre los diferentes componentes que le dan origen, además de enriquecer la experiencia sobre el papel que desempeña la refracción y la reflexión de la luz.

4.6.6 Conversatorio

Como uno de los instrumentos de esta investigación, se considera la creación de un espacio donde las estudiantes argumenten sus ideas para ser confrontadas con sus pares, de igual manera como Newton pudo publicar sus teorías para luego ser reformuladas por otros científicos.

Se discute la formación de los colores en el arcoíris entre estudiantes e investigadores. El propósito del conversatorio es indagar por las acciones asociadas a la argumentación de ideas que son construidas por las estudiantes durante todo el proceso de la aplicación de los instrumentos. Para el conversatorio se tienen en cuenta los siguientes pasos:

- Iniciar con una breve introducción del tema; expresar los objetivos que se pretenden lograr. A continuación, formular algunas preguntas que motiven la reflexión.
- Incentivar la participación de todas, pero tratando de que no se sientan presionadas; realizar interrupciones cuando sea preciso.
- Tratar de que las intervenciones no se alejen de los objetivos que se plantearon.
- Hacer uso de la palabra con soltura, utilizando un tono de voz adecuado; tratar de ser claros en los conceptos y realizar recapitulaciones parciales y una final. La duración de la charla varía entre 15 y 30 minutos.
- Elaborar una síntesis de los aspectos fundamentales.

4.7 Análisis de la información

Para llevar a cabo el proceso de interpretación que permita la caracterización de los procesos de la formalización en el clásico *Óptica* de Newton se consideran algunos aspectos metodológicos que, desde la perspectiva histórico epistemológica de la física, permiten el logro de algunos de los objetivos que se postulan a la hora de leer textos originales como la recontextualización de saberes y la resignificación de conceptos. Estos son: adquisición, ayudas tecnológicas y elaboración de tablas analíticas.

Para la interpretación de los instrumentos se trabaja un método de análisis que consiste en lecturas línea por línea, párrafo por párrafo y documento entero de la información suministrada por las estudiantes. Posteriormente, al análisis de la lectura de cada instrumento, se elabora una tabla de sistematización en la que se consignan las categorías y los aspectos relevantes que surgen del análisis anterior sobre los procesos de formalización (Primera fase del análisis) y de las acciones asociadas a dichos procesos (Segunda fase del análisis).

Las categorías, objeto de estudio en la primera fase del análisis, son:

- Organización de experiencias
- Caracterización y cuantificación
- Experimentación

Las categorías, objeto de estudio en la segunda fase del análisis, son:

- Manipular
- Diseñar métodos de medición
- Medir
- Observar
- Describir
- Identificar atributos
- Representar

- Relacionar variables
- Confrontar resultados
- Deducir leyes
- Reflexionar
- Confrontar ideas

El análisis del clásico y los instrumentos se divide en dos momentos:

- I. Identificación y caracterización de los procesos de formalización que surgen de la lectura del clásico y contrastación de estos procesos en la aplicación de tres instrumentos. (Primera fase del análisis)
- II. Relectura del clásico para ahondar en otros componentes de la formalización y elaboración de otros tres instrumentos que permiten orientar dichos procesos en mira de las acciones asociadas y sus consecuencias pedagógicas. (Segunda fase del análisis)

4.7.1 Análisis del clásico

Para la lectura del clásico *Óptica* de Newton se consideraron algunos aspectos metodológicos que, desde la perspectiva histórica epistemológica de la Física, permiten el logro de algunos de los objetivos que se postulan a la hora de leer textos originales, como la recontextualización de saberes y la resignificación de conceptos.

Adquisición: Se ha insistido en las ventajas de analizar los textos originales en los que se plasman los procesos de construcción del conocimiento científico, no obstante, el acceso a estos no es sencillo. Frente a lo anterior es fundamental persistir en la consecución de los mismos a través de bibliotecas y otras instituciones. De ser necesario, es preferible traducir desde otros idiomas puesto que la opción de analizar escritos que se refieren al texto original se tiene en último lugar. Al respecto puede mencionarse que el libro de *Óptica* de Newton se

consultó en la base bibliográfica de la biblioteca central de la Universidad de Antioquia de la colección *patrimonio*, de lectura interna, en la edición en español.

Ayudas tecnológicas: Los avances tecnológicos en cuanto al diseño de software educativo (Word, Corel, Paint, Cámara, entre otros), ofrecen una gran variedad de herramientas que pueden utilizarse al servicio de los objetivos pretendidos al leer textos históricos; por lo anterior se sugiere digitar el texto o transcribirlo a formato digital para su manipulación. Para el caso del clásico *Óptica* de Newton fue necesario tomar fotografías sin flash (dada las sugerencias de los bibliotecarios encargados del cuidado de la obra) de cada página del libro y transcribirlo en Word. Las diferentes ilustraciones que allí aparecen se mejoraron utilizando los programas Corel y Paint.

Intención: La lectura de cualquier texto está supeditada a los objetivos que se trace el lector. Estos son tan importantes que determinan su interpretación, de igual manera el análisis de las ideas postuladas por el autor pueden llegar a ser tan fuertes que modifiquen los objetivos planteados. Es decir, toda lectura viene determinada por unos objetivos pero la interpretación misma de un escrito puede cambiar los objetivos iniciales, como lectores es fundamental estar atentos a los aspectos del texto que pueden modificar la intención del lector. Al respecto, puede mencionarse que al principio de este trabajo de investigación se pretendía justificar la naturaleza corpuscular de la luz planteada en el texto *Óptica* de Newton, sin embargo, la lectura del texto modificó a tal punto el objetivo que se desechó completamente la idea primera de la naturaleza de la luz, ya que no se encontró clara en éste.

Elaboración de un paralelo: Normalmente abordamos la lectura de un texto con unos supuestos sobre lo que el autor “dice” o “teoriza”, estos vienen dados por la lectura de las interpretaciones que otros han hecho de estos textos y generalmente vienen explícitos en los textos utilizados para la enseñanza de las ciencias. Sin embargo, el análisis directo de un clásico arroja otro tipo de conclusiones. Por lo anterior se recomienda la elaboración de un paralelo entre lo

que se espera encontrar y lo encontrado. Allí pueden organizarse los significados previos de los conceptos importantes y la resignificación obtenida luego de la lectura. Puede también diferenciarse una supuesta intención previa del autor y una intención deducida de la lectura. De acuerdo a esto, se elabora y utiliza la siguiente tabla en la que cada investigador hace una lectura del clásico, contrastando experimento y teoría para caracterizar los procesos de formalización, posteriormente, se realiza una discusión grupal entre el equipo investigativo para llegar a un mutuo acuerdo sobre dichos procesos.

TEXTO:		AUTOR:	
		LECTOR:	
INTENCIÓN			
<i>Lector</i>		<i>Autor</i>	
PARALELO			
<i>Lo que se espera encontrar</i>		<i>Lo encontrado</i>	
EXPERIMENTO	TEORÍA	CONTRASTE	

Luego, de la aplicación de los tres primeros instrumentos, se realiza una relectura del clásico y otras fuentes de información para comprender y ampliar las categorías sobre los procesos de formalización en la obra Óptica de Newton.

4.7.2 Análisis de los instrumentos

El análisis de los instrumentos se divide en dos momentos:

- I. Contrastación de los procesos de formalización (Primera fase del análisis).
- II. Observación de las acciones asociadas a los procesos de formalización (Segunda fase del análisis).

En el primer momento se llevan a cabo interpretaciones para contrastar la información consignada por las estudiantes, en los tres primeros instrumentos, sobre las distintas categorías que resultan del análisis del clásico en relación a la caracterización de los procesos de formalización. Se lleva a cabo un trabajo de comprensión en el que se hace uso de *procedimientos de análisis comparativo y uso de herramientas analíticas para descomponer los datos y escarbar bajo la superficie*¹³. Se pretende agrupar bajo un orden abstracto más elevado los *conceptos* relacionados con la caracterización de los procesos de la formalización del fenómeno de la propagación de la luz y el color.

Una de las herramientas analíticas usadas para descomponer los datos consiste en realizar una lectura *línea por línea, párrafo por párrafo y documento entero*¹⁴ de lo consignado en los instrumentos, haciendo así un examen minucioso de sus contenidos. Esto es especialmente importante al comprender las formas explicativas que los sujetos de interés tienen sobre un fenómeno, pues nos permite generar categorías y construir significados sobre las distintas maneras como proceden al momento de formalizar el color y la propagación de la luz.

En el segundo momento se analiza otros tres instrumentos aplicando el método de lectura *línea por línea, párrafo por párrafo y documento entero*, para analizar las

¹³ STRAUSS, A. Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada.

¹⁴ *Ibíd.* Pág. 131-132

acciones relacionadas con los procesos de formalización. Dichas acciones resultan en el proceso de la formulación de asertos en la primera fase del análisis.

4.7.3 Sistematización

Con la sistematización se busca organizar la información de los instrumentos, además de procesarla y hacerla más significativa a la hora de formular asertos. Por lo anterior, se organiza la información de cada instrumento en matrices de doble entrada en las que aparecen correspondencias entre casos-categorías y casos-acciones relacionadas con los procesos de formalización, además de ello, se formulan y se ubican los asertos, razonados desde el análisis y las descripciones narrativas, en cada columna (casos-categorías) y en cada fila (casos-acciones). Es importante mencionar que los asertos se elaboran a partir de una discusión conjunta entre los investigadores sobre las interpretaciones de las características y acciones relacionadas con los procesos de formalización presentes en lo consignado por los diferentes casos.

Es pertinente agregar que en el contenido de las primeras tres matrices en la primera fase del análisis aparecen unos números, algunos de ellos seguidos de un concepto u oración, estos números se refieren a los numerales de las preguntas que se hicieron a las estudiantes en los instrumentos (ver anexo 1, 2 y 3). Para hacer una observación del contenido de estas matrices es importante realizar una lectura horizontal para cada número que allí aparece y contrastar dicha lectura con la interpretación y análisis que se hace de la información suministrada para cada caso en el relato anterior a la exposición de las matrices.

En las matrices relacionadas con la segunda fase del análisis, la forma de lectura se hace similar, en esta ocasión no aparecen numerales. Con las matrices asociadas a los instrumentos: Actividad experimental reflexión y refracción y actividad experimental el color (Ver anexo 4 y 5), las tonalidades del color verde

indican el análisis de un experimento en específico contenido en los instrumentos anteriores, así:

- ✓ El verde claro se relaciona con el experimento número uno.
- ✓ El verde intermedio con el experimento número dos.
- ✓ El verde oscuro con el experimento número tres.

En la matriz relacionada con el conversatorio de la segunda fase del análisis, no se hace discriminación entre colores, aquí se debe hacer una lectura de su contenido contrastándola con el relato que se expone anterior a esta.

Después del análisis de las tres matrices, tanto en la primera como segunda fase del análisis, se elabora una tabla que triangula los asertos contenidos en cada uno de los instrumentos.

4.7.4 Triangulación de la información

En nuestra búsqueda de precisión y de explicaciones alternativas, necesitamos disciplina, necesitamos estrategias que no dependan de la simple intuición y de las buenas intenciones de “hacerlo bien”. En la investigación cualitativa, esas estrategias se denominan “triangulación” (Stake.1998)

El término triangulación proviene de un método utilizado en la navegación celeste, éste consistía en hacer varias observaciones del cielo nocturno para alinear cierta cantidad de estrellas y así encontrar un punto de referencia que permitiera indicar la posición del barco en un lugar determinado del océano, a la vez que posibilitaba ajustar la dirección del viaje. El punto en cuestión era una estrella que quedaba al interior de las alineaciones de distintas estrellas que dibujaban un triángulo en el espacio, y con esta observación se decía que la posición estaba triangulada.

La triangulación de la que hablamos en este trabajo de investigación guarda cierta relación con la significación anterior, sólo que en este caso no buscamos triangular una posición, lo que se quiere triangular son las explicaciones de carácter conceptual y experimental de las estudiantes en los diferentes instrumentos cuando interpretamos el contenidos de estos. Lo que se busca con la triangulación es formular asertos sobre los procesos de formalización en cada instrumento y en cada grupo de instrumentos (tres primeros y tres últimos).

Es importante agregar que la triangulación por instrumentos viene mediada a su vez por la triangulación entre investigadores al momento de interpretar las explicaciones que consignan los distintos casos en los instrumentos. De esta manera y en la medida en que están los investigadores de acuerdo sobre un significado, la interpretación está triangulada. Para distinguir aquella información de otra que requiere ser triangulada se reconocerá mediante un símbolo que la identifique, a propósito utilizaremos el símbolo Δ que indica que dicho dato requiere ser triangulado en el proceso.

Es pertinente aclarar que con la triangulación no se pretende generalizar, sin embargo, es importante elaborar una serie de asertos que puedan transferirse a otros contextos, en especial a otros fenómenos. Estos asertos tienen un fin pedagógico y pueden resultar de gran utilidad para los docentes en el área de las ciencias, además poseen una importancia epistemológica pues dan pautas sobre la manera como el hombre accede al conocimiento científico. Los asertos son fruto de la triangulación y corresponden a la identificación de ideas o respuestas de los casos. También los asertos pueden resultar de inquietudes encontradas en el análisis, inquietudes generadas por contrastar el logro de los objetivos planteados para cada instrumento y los resultados obtenidos en el mismo. La suma categórica¹⁵ sustenta la elaboración de asertos pues es el método según el cual se elaboran ciertas conclusiones (asertos) a partir de la recurrencia de ideas en las categorías utilizadas para el análisis. No obstante, los asertos con posibilidad de

¹⁵ Los utilizadores utilizan esta estrategia para alcanzar los significados de los casos utilizando la suma de ejemplos hasta que se pueda decir algo sobre ellos como conjunto o clase.

transferencia son mediados por la consecución de los objetivos, así pues, son estos últimos los que determinan la elaboración de asertos al contrastarse con el análisis de la información obtenida

5. CAPITULO I: NEWTON Y LA TEORÍA DEL COLOR

La educación se ha forjado en la actualidad como una alternativa de solución a distintas problemáticas sociales como la guerra, el desempleo, la pobreza y demás. Por tal motivo, es fundamental repensar los procesos educativos ¿Qué debemos corregir? ¿Qué podemos mejorar? ¿Estas reflexiones podrán solucionar las anteriores problemáticas?

La solución a las anteriores preguntas no se encuentra en nuevas investigaciones educativas, ya existen; es necesario retomar los planteamientos de siempre y hacerlos una realidad. Para el caso de la enseñanza de las ciencias experimentales se tiene que desde hace cuatro décadas o más, se propone la realización de prácticas experimentales en el aula para acercar a los estudiantes a la vida científica, existen extensas y variadas justificaciones para ello, sin embargo, dichas propuestas no han trascendido en un aprendizaje adecuado, es necesario que cada docente reflexione sobre su praxis y además ejecute el producto de esta reflexión. No se trata entonces de crear nuevas teorías sino de retomar lo hecho, reflexionar sobre ello y convertirlo en una realidad educativa.

Con lo anterior puede concluirse que el trabajo por hacer es inaplazable:

Los docentes son el componente decisorio, pues son ellos los que deben estar convencidos que se necesita de su innovación, de su creación y de su actitud hacia el cambio, para responder no sólo a los planteamientos y propósitos que se fijan en las propuestas didácticas, sino también, para satisfacer a las exigencias de los contextos que envuelven a los educandos como sujetos sociales, históricos y culturales. (RUIZ, F. 2007)

Para el caso de la enseñanza de la física, hay que procurar que los estudiantes no se desencanten de la ciencia, una ciencia que normalmente se muestra acultural y perfecta. El estudio histórico y epistemológico de la ciencia permite adelantar reflexiones que desembocan en alternativas de solución en la enseñanza, pues son reflexiones sobre escritos del pasado resignificados en un contexto actual.

5.1 Perspectiva histórica epistemológica

El análisis histórico y epistemológico de la ciencia permite mostrar el proceso de construcción y consolidación de los fenómenos físicos. En el horizonte de esta perspectiva se encuentra lo que puede denominarse el sentido del sujeto, pues la ciencia es una actividad desarrollada por hombres que desembocan en diferentes relatos y explicaciones que constituyen o fundamentan el sentido de los sujetos que *conocen*. En este orden de ideas Ángel Romero afirma:

La historia y la epistemología de las ciencias dejan de ser referentes externos para convertirse en disciplinas que contribuyen sustancialmente a la hora de dilucidar la naturaleza y estructura de las narraciones que llamamos científicas.¹⁶

En consonancia con esta idea, es factible resaltar que un enfoque histórico epistemológico permite “ver cómo los diferentes modos de significar la física están ligados a contextos particulares y problemas propios de este contexto, lo que posibilita significar la física como una disciplina históricamente constituida”¹⁷ es precisamente aquí donde cobra importancia hablar de la recontextualización de saberes¹⁸, ya que posiblemente esto genere un contexto académico particular que parte de los intereses del educador y de los estudiantes, al tiempo que determina las formas de actuar y relacionarse con la dinámica científica.

Así pues, la perspectiva histórica epistemológica conlleva a que

[...] los procesos de significación y construcción de sentidos, que pueden ser generados en el diálogo establecido con el pasado, contengan análisis históricos-críticos que

¹⁶ ROMERO, A. E. La historia la epistemología y la enseñanza de la física: un enfoque cultural. Este texto fue presentado en la X Conferencia Interamericana de Educación en Física celebrado en julio del 2009 en Carmen de Viboral, Colombia.

¹⁷ AYALA, M. *et ál.* (2008). Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos. Editorial Universidad de Antioquia. Pág. 11.

¹⁸ Según Berstein (1975) la recontextualización de saberes es una actividad de producción de significados cuya intención es situar un conocimiento de manera significativa en un contexto diferente al que dicho conocimiento se originó.

pueden resultar especialmente pertinentes, adquiriendo particular importancia el análisis y uso de textos originales¹⁹.

Es por ello que para alcanzar el objetivo de comprender el fenómeno de la luz en la teoría newtoniana desde una postura cultural, es importante analizar los textos originales y establecer un diálogo a través de sus escritos con miras a construir una estructuración particular de dicho fenómeno y una nueva mirada que permita ver los viejos problemas con “nuevos ojos”.

Consecuente con lo anterior se busca, desde el análisis histórico epistemológico de la obra de Newton, aportar en la construcción de rutas alternativas en la enseñanza de la óptica en contextos y problemas particulares. De esta manera se expone el interés por comprender un fenómeno de carácter científico con una mirada socio-cultural.

5.2 Un proceso de formalización de fenómenos

Se ha llegado a considerar e implementar en la enseñanza de las ciencias, especialmente en la enseñanza de la física, sólo los productos finales de la refinación de las teorías que pretenden explicar los fenómenos²⁰. La obra de Newton sobre la óptica no escapa a esto; hoy día la enseñanza de su teoría está alejada de los mismos postulados que formuló²¹. Acaso ¿más allá de utilizar las expresiones matemáticas que describen la propagación de la luz y la formación

¹⁹ ROMERO, A. E. Óp. Cit. Pág. 4.

²⁰ Kuhn adelantó reflexiones en virtud de una enseñanza conformista que buscaba dogmatizar la ciencia, haciéndose con el fin de que el aprendiz se sienta parte de una tradición de búsqueda exitosa de la verdad, y esto se ha visto reflejado en los libros de texto los cuales comienzan así por truncar el sentido del científico sobre la historia de su disciplina. En historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual, un artículo publicado por Matthews se puede encontrar reflexiones que él ha hecho de Kuhn sobre la enseñanza de las ciencias.

²¹ Es común ver en los textos escolares afirmaciones referentes al fenómeno de la luz como pensado y considerado por Newton una teoría corpuscular, pero no se muestran otras posibilidades de sus explicaciones sin hacer alusión a la *naturaleza* de la luz como aquella compuesta por partículas. Tan solo este detalle muestra la tendencia de los textos escolares por mostrar las últimas consideraciones de algunos teóricos sin hacer una reflexión de los caminos o de las verdaderas intenciones de éstos: Ver la unidad “naturaleza y propagación de la luz” en Física Universitaria de Francis Sears; también la unidad “Naturaleza de la luz y leyes de óptica geométrica” en Física para Ciencia e Ingenierías de Raymond Serway.

del color no es importante razonar sobre el proceso de formalización que dio paso a estas expresiones? ¿Cómo pensar en darle *forma* a la propagación de la luz y dar pie a descripciones matemáticas? Considérese la relación matemática-física en la historia de la formalización de la propagación de la luz y el color.

5.3 Relación matemática-física en la historia de las ciencias

Analizando el papel que ha desempeñado la matemática en las ciencias, en especial la física, es correcto afirmar que el carácter matemático que permeó la física posibilitó su progreso. Sin embargo, no puede pensarse que primero está la matemática y luego la física, puesto que en algunos estudios físicos se ha visto la necesidad de construir un ente matemático para la comprensión de un fenómeno como el concepto de *función*²², por ejemplo. No se trata por lo tanto de establecer un orden entre las ciencias que interviene en el conocimiento físico, ya que en su construcción no se distinguen fronteras estáticas sino un límite móvil entre ellas, un límite que cambia de lugar según las experiencias y necesidades que posee un sujeto.

Las formas explicativas físico-matemáticas de los fenómenos dependen de los conocimientos adquiridos por el sujeto durante su proceso de formación, un proceso tan distinto y variado que particulariza las formas de entender el mundo. Para comprender un fenómeno se requiere que el sujeto desarrolle un

[...] *proceso del pensamiento a través del cual se da forma a los propios modos "internos" de reconocer y elaborar el mundo y a los aspectos "externos" según los cuales el acaecer del mundo puede ser reconocido*²³

²² Galileo fue el primero en empezar a entender el concepto de función cuando analizó la relación entre el tiempo y el espacio recorrido para una esfera al deslizarse sobre un plano inclinado. Sus estudios sobre el movimiento contienen la clara comprensión de una relación entre variables.

²³ GUIDONI, P. *et ál.*, 1987. Citado en AYALA, M. *et ál.* (2008). Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos. Editorial Universidad de Antioquia. Pág. 107

de tal modo que algunas de estas formas de comprender el mundo pueden expresarse en descripciones matemáticas, donde las magnitudes involucradas son susceptibles de ser cuantificables.

Para que una teoría física pueda exponerse mediante un encadenamiento de cálculos algebraicos, hace falta que todas las nociones utilizadas puedan ser representadas por números. Esto nos obliga a plantearnos una cuestión: ¿Qué condición requiere un atributo físico para poder ser representado por un símbolo numérico?²⁴

Más que símbolo numérico considérese un objeto matemático²⁵. Para Aristóteles²⁶ *es necesario que este atributo sea una magnitud, que pertenezca a la categoría cantidad y no cualidad, pero esto no es del todo cierto, no todas las magnitudes son cantidades, en ocasiones una magnitud puede ser una cualidad susceptible de ser cuantificable como la densidad. Según Ángel Romero, indagar si una propiedad es o no una magnitud implica preguntarse si tal propiedad es susceptible de ser medida, hecho que a su vez implica cuestionarse por la estructura que se le está asignando a tal propiedad*²⁷. Esta estructura viene determinada por la forma que con antelación se le está dando al fenómeno y a sus características; para el caso del color estudiando en la obra de Newton este adquiere un sentido matemático susceptible de ser cuantificado.

5.4 Formalizando el espectro de colores

¿Cómo Newton hizo para que algunas de las nociones de su teoría del color fueran cuantificables? ¿Qué forma o estructura le otorgó a las características de la propagación de la luz para posibilitar su experimentación y cuantificación?

²⁴ PIERRE, D. Cantidad y cualidad. Pág. 138

²⁵ Por objeto matemático entendemos algún elemento de los distintos conjuntos que intervienen en la formulación de las matemáticas, por ejemplo: cuerpo geométrico, número, polígono, proposición, etc.

²⁶ PIERRE, D. Óp. Cit. Pág. 139

²⁷ ROMERO, A. E. *et ál.* El concepto magnitud como fundamento del proceso de medición. La cuantificación de los estados de movimiento y sus cambios en Revista Educación y Pedagogía N° 43 Vol. 17. Universidad de Antioquia. Facultad de Educación.

Es necesario destacar, inicialmente, que para Newton las conclusiones sólo derivan de los resultados arrojados por los experimentos y son poco valoradas las hipótesis que no tuvieran la posibilidad de demostrarse bajo la experimentación o la adecuación de una descripción que permitiera explicaciones en todas las manifestaciones del fenómeno a considerar.

Su primera preocupación no es cómo es la luz, sino cómo se comporta.

Definición I: Por rayos de luz entiendo las mínimas partes de ésta, y tanto las sucesivas en la misma línea como simultáneas en líneas distintas. En efecto, es evidente que la luz consta de partes sucesivas y partes simultáneas; porque, en el mismo lugar, puede uno detener la que llega en un instante y dejar paso a la que llega inmediatamente después, y del mismo modo puede uno detenerla en un lugar y dejar que pase en otro. La parte de luz que es detenida no puede ser la misma que la que se deja pasar. A la luz mínima o parte de luz que puede ser detenida sola, sin el resto de la luz, o propagada sola, o que puede hacer o sufrir algo que no haga o sufra el resto de la luz, la llamo rayo de luz.²⁸

En lo anterior, se evidencia una parte fundamental del proceso de formalización llevado a cabo por Newton: la construcción del concepto de rayo como *forma* de la luz²⁹.

Newton le otorga una entidad matemática como la recta a una noción física como el rayo; a través de este concepto logra configurar toda su teoría del color explicando además el fenómeno de la dispersión de la luz a través de un prisma³⁰.

²⁸ NEWTON, I. Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz. Traducción: Eugenio Días Del Castillo. Editorial Maestros de la Ciencia. 1945. Pág. 19

²⁹ Actualmente la luz es diferente para la ciencia, se ha permeado de la teoría cuántica y ondulatoria de la luz para atribuirle a ésta características de onda y partícula, a su vez, el color viene especificado por el espectro electromagnético y el rango de frecuencias.

³⁰ Un experimento que ha sido frecuentado durante décadas y que es anterior al nacimiento de Newton, consiste en obtener de la luz del sol los diferentes colores del espectro, para lo cual ha resultado apropiado, desde tiempos remotos, emplear un prisma, una pieza translúcida de vidrio u otro material similar en la que la luz del sol es refractada. Observaciones de la descomposición del espectro aparecen ya señaladas por Séneca y Witelo, mientras que los prácticos jesuitas utilizaban prismas en el siglo XVII para embaucar a los chinos en las transacciones mercantiles. Descartes, Boyle y Hooke estaban bien familiarizados con el fenómeno. Este experimento era muy conocido cuando Newton, en 1665, se hace con un prisma para repetir el “célebre fenómeno de los colores”, pero a diferencia de los demás curiosos, fue él quien se interesó en explicarlo detalladamente, publicando así sus primeros descubrimientos ante la Royal Society en

Los científicos anteriores a Newton se preguntaban ¿Por qué se producen colores cuando un haz de luz blanca pasa por el prisma? A esta pregunta ellos formulaban una serie de hipótesis que suponían la producción de colores debido a las propiedades del prisma y no a la luz blanca. La dificultad de estas hipótesis radicaba en el hecho de que éstas no ofrecían la posibilidad de una contrastación empírica. Newton inició su investigación y pretendió responder mejor el asunto sobre la forma en que se dispersaban los colores y no del *por qué* de los mismos. Este ejemplo prueba que el fenómeno no está dado completamente, es elaborado por el observador: la dispersión de la luz es distinta para Descartes³¹, Hooke y Newton.

Revisando la obra de Newton “*Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*” en lo consignado en el *libro I*, queda claro que aquello que atrajo la atención de Newton en dicho fenómeno, aparte de la seductora gama de colores, fue la forma particularmente extraña que los contenía, una forma que lo conlleva a estudiar y a realizar una serie de experimentos para tratar de explicarla. Para la época de 1665 Newton conocía detalladamente un compendio de formulaciones relacionadas con la óptica geométrica, como los principios de reflexión y refracción de la luz cuando esta incidía sobre espejos o superficies transparentes y la ley de Snell³² que establecía que *el seno de incidencia está exacta o muy aproximadamente en una determinada relación con*

una carta dirigida a esta organización en el año de 1672, en la cual revelaba sus adelantos sobre la descomposición de la luz. Haciendo mejoras conceptuales y procedimentales, publica su obra “*Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*” en los años de 1704, 1713, 1717 y 1721.

³¹ En el continente Europeo, bajo la influencia de Descartes, había una amplia aceptación de la exigencia de explicaciones mecánicas por medio de corpúsculos y acción por contacto. Puesto que estas explicaciones involucraban movimientos invisibles de corpúsculos invisibles, necesariamente involucraban explicaciones hipotéticas. Véase *La “filosofía experimental” de newton* Por: Alan E. Shapiro.

³² Actualmente se considera la ley de Snell aquella que establece la relación entre los índices de refracción (n_1 , n_2) y los senos de los ángulos de incidencia y refracción (θ_1 y θ_2) con respecto a la normal: $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$, sin embargo dicha relación es una ampliación llevada a cabo por Huyghens del descubrimiento de Snell, Snell establece, concretamente, que la luz que se refracta al pasar de un medio 1 a un medio 2 cumple con la relación: $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \text{constante}$. Es importante tener presente que el descubrimiento de Snell se remonta al año de 1620 y sólo se divulgó ampliamente a través de la obra *Dióptrica*, publicada en 1703 por el físico, también holandés, C. Huyghens.

*el seno de refracción*³³; todo este conocimiento, además de su experiencia con la manipulación de lentes, fue un factor decisivo que le permitió a Newton ver algo que resultaba para el resto de las personas inadvertido al momento de contemplar dicho fenómeno.

La primera pregunta que se formuló Newton y que lo conduciría a construir una teoría del color se relaciona con la forma en que estos colores se proyectaban sobre una superficie, descubriendo así una forma que no resultaba *ovalada* sino *oblonga*, contraria a lo esperado en las leyes de la óptica de la época. Dispuestas las condiciones de los diferentes elementos con los cuales pretendía esclarecer el asunto, como el agujero realizado en el postigo de la ventana de su casa, prismas de distintas dimensiones, ubicación de estos con respecto al rayo de luz que se adentraba a la habitación por el orificio y la forma en cómo el rayo de luz hacía contacto con el prisma, además de la distancia y la disposición entre el prisma y la pared donde caía el espectro de colores, le permitió a Newton analizar algunas de las variables que daban origen al fenómeno, procediendo así a realizar una serie de observaciones, descripciones, mediciones y representaciones de los diferentes elemento puestos en juego a la vez que dicho trabajo le permitió establecer el camino para la cuantificación del color.

Algo interesante en su obra es el planteamiento inicial de ocho definiciones que le sirven como base para orientar sus observaciones y ocho axiomas que no pueden ser considerados proposiciones *a priori* de una disciplina formal, pues son a lo sumo históricamente *a priori* en el sentido que representan una suma de conocimientos previos y que el mismo autor expresa al final de la exposición de estos: *he dado en los precedentes axiomas y en las explicaciones sobre los mismos un resumen de lo que hasta el presente se ha tratado en Óptica*. De esta manera se plasma un trabajo de conceptualización de otros descubrimientos sobre la óptica geométrica que le permitieron establecer el lenguaje físico para comprender el espectro de colores.

³³ ISAAC NEWTON. Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz. Traducción: Eugenio Días Del Castillo. Editorial Maestros de la Ciencia. Año 1945: Pág. 23

La obra de Newton se divide en varios *libros*, el *libro I* plantea dieciocho proposiciones en total, divididas en dos *partes*, todas ellas sobre la luz y los colores relacionados con el espectro de colores y comprobadas mediante la experimentación. La *primera parte* plantea ocho proposiciones sobre los colores del espectro dados por el prisma, siendo la última referida al “acortamiento de los telescopios”. En la *segunda parte* se encuentran once proposiciones en las que, a groso modo, explican mediante la experimentación la formación de las luces homogéneas y heterogéneas en diferentes fenómenos como burbujas de jabón, la mezcla de los colores en un círculo pintado y el arcoíris. En los *libros II y III* se busca disipar cualquier duda acerca de la existencia de las propiedades de los rayos para después utilizar los rayos como instrumento para estudiar la estructura de la materia y las fuerzas que se le asocian. Las distintas proposiciones expuestas en el *libro I* pueden ser consideradas hipótesis, pero de acuerdo a la metodología de Newton dichas hipótesis no tienen sentido si no se demuestran mediante los experimentos mismos.

Para el análisis de los procesos de formalización, que dan paso a la comprensión del espectro de colores, interesa solo la lectura del *libro I* y la *primera parte*. En la explicación de los primeros dos experimentos se manejan conceptos como grados de refrangibilidad de los rayos de luz para comprender el por qué un color se observa por encima o debajo, más cerca o alejado de otro color cuando su luz se ve a través de un prisma o se refracta con una lente biconvexa respectivamente. El concepto de refrangibilidad es claramente expuesto en la definición II: “*Refrangibilidad de los rayos de luz es su aptitud para ser refractados o desviados de su trayectoria al pasar de un cuerpo o medio transparente a otro. Y una mayor o menor refrangibilidad de los rayos es su aptitud para desviarse más o menos de su trayectoria [...]*”. Es en el experimento tres que se comienza a dilucidar el fenómeno sobre el espectro de colores y donde claramente se observa un esfuerzo por representar los grados de refrangibilidad de los rayos de luz, demostrando no solo que “*las luces que difieren en color difieren también en el*

grado de refrangibilidad” (primera proposición), sino que “la luz del sol se compone de rayos diferentemente refrangibles” (segunda proposición).

Experimento 3. -En una habitación muy oscura coloqué, sobre un agujero de un diámetro como del tercio de una pulgada hecho en una contraventana, un prisma de vidrio por el cual el haz³⁴ de la luz del sol que entraba por dicho agujero pudiera ser refractado hacia arriba, en dirección a la pared opuesta de la habitación, y formar en dicha pared una imagen coloreada del sol. El eje del prisma (es decir, la línea que pasa por el centro del prisma, atravesándolo de una base a otra, paralela a la arista del ángulo refractante) se encontraba, en éste y en los siguientes experimentos, en posición perpendicular a los rayos incidentes. Hice girar lentamente el prisma alrededor de dicho eje, y vi que la luz refractada, o la imagen coloreada del sol en la pared, descendía primero, y luego ascendía. Entre el ascenso y el descenso, en un momento en que la imagen parecía estacionaria, dejé de mover el prisma y lo mantuve fijo en tal posición, porque en ella las refracciones de la luz en las dos caras del ángulo refractante, es decir, a la entrada de los rayos en el prisma y a su salida, eran iguales. [...] Estando el prisma así colocado, hice que el rayo refractado cayese perpendicularmente sobre una hoja de papel blanco en la pared opuesta de la habitación, y observé la figura y dimensiones de la imagen solar formada en el papel por dicha luz. Esta imagen era oblonga y no oval, pero estaba limitada por dos lados rectilíneos y paralelos y dos extremos semicirculares. En sus bordes estaba delimitada muy distintamente, pero en sus extremos muy confusa e indistintamente, menguado y desvaneciéndose allí gradualmente la luz. La anchura de esta imagen correspondía al diámetro del sol, y medía alrededor de dos pulgadas y un octavo, incluyendo la penumbra. [...] Pero la longitud de la imagen era como de diez pulgadas y un cuarto, y la de sus lados rectilíneos de unas ocho pulgadas. [...] Si se hacía girar el prisma sobre su eje, de modo que los rayos emergieran más oblicuamente de la segunda superficie refractante del prisma, la imagen aumentaba en longitud una, dos o más pulgadas. Y si se hacía girar el prisma en sentido contrario, de modo que los rayos cayeran más oblicuamente sobre la primera superficie refractante, la imagen pronto se acortaba en una o dos pulgadas. Por este motivo al realizar dicho experimento puse el mayor cuidado en colocar el prisma, según la regla arriba mencionada, exactamente en una posición tal que los ángulos de refracción de los rayos al salir del prisma fuesen iguales a los de incidencia sobre el mismo. Este prisma poseía algunas vetas que corrían por el interior del vidrio, de un extremo a otro, las cuales dispersaban una parte de la luz solar irregularmente, pero no ejercían

³⁴ Se ha traducido generalmente beam por haz y ray por rayo. (N. del T.)

ningún efecto sensible de aumentar la longitud del espectro coloreado, ya que realicé el mismo experimento con otros prismas obteniendo el mismo resultado. [...] Ahora bien, la diferente magnitud del agujero de la contraventana, el diferente espesor del prisma a través del cual pasaban los rayos y las diferentes inclinaciones del prisma respecto del horizonte no produjeron cambios apreciables en la longitud de la imagen, así como tampoco la diversa materia de los prismas. En efecto, en un recipiente hecho con láminas de cristal pegadas entre sí en forma de prisma y lleno de agua, el experimento da el mismo resultado, teniendo en cuenta la magnitud de la refracción. Hay que indicar, además, que los rayos iban en línea recta desde el prisma a la imagen, y, por lo tanto, que a la misma salida del prisma tenían entre sí toda la inclinación de la que procedía la longitud de la imagen, es decir, la inclinación de más de dos grados y medio. Sin embargo, de acuerdo con las leyes de la Óptica, comúnmente admitidas no sería posible que estuviesen tan inclinados entre sí.

En el resultado del experimento 3 se distingue una imagen oblonga que Newton cuestiona, y trata de explicar si el alargamiento se debe a deformidades del material del prisma. Realiza otra serie de experimentos similares con otros prismas permitiéndole llegar a la conclusión parcial de la independencia de la forma del espectro con las irregularidades del objeto óptico. Posteriormente, comienza un trabajo de representación del fenómeno para explicar la contrariedad con las leyes de la Óptica que comúnmente eran admitidas y que no permitían explicar que los rayos estuviesen tan inclinados entre sí en la formación del espectro.

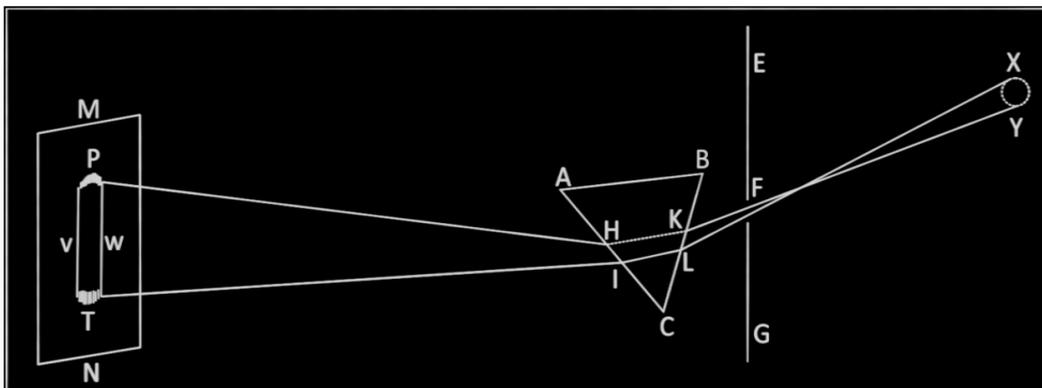
En efecto, representemos (Fig. 13) por **E G** la contraventana, por **F** el agujero hecho en la misma a través del cual penetra en la habitación oscura un haz de la luz del sol, y por **A B C** un plano triangular imaginario que se supone es el corte transversal del prisma por el medio de la luz. O, si se quiere, representemos por **A B C** el propio prisma, con una de sus bases dirigida directamente hacia el ojo del espectador. Sea **X Y** el sol, **M N** el papel en que se proyecta el espectro o imagen solar, y **P T** la propia imagen, cuyos lados **v** y **w** son rectilíneos y paralelos y cuyos extremos **P** y **T** son semicirculares. **Y K H P** y **X L I T** son dos rayos, el primero de los cuales va desde la parte más baja del sol a la parte más alta de la imagen y es refractado en el prisma en **K** y **H**, y el segundo desde la parte más alta del sol a la parte más baja de la imagen y es refractado en **L** y en **I**. Como las refracciones en ambas caras del prisma son iguales entre sí, es decir, la refracción en **K** es igual a la refracción en **I** y la

refracción en L igual a la refracción en H, de suerte que la suma de las refracciones de los rayos incidentes en K y L es igual a la suma de las refracciones de los rayos emergentes en H e I, resulta, sumando cosas iguales con cosas iguales, que la suma de las refracciones en K y H es igual a la suma de las refracciones en I y L; por consiguiente, estando los dos rayos igualmente refractados, tienen entre sí, después de la refracción, la misma inclinación que tenían antes, es decir, la inclinación de medio grado correspondiente al diámetro del sol, pues tal era la inclinación de los rayos entre sí, antes de la refracción. Por tanto, la longitud de la imagen P T debería subtender, en virtud de las leyes de la Óptica vulgar, un ángulo de medio grado en el prisma y, por consiguiente, ser igual a la anchura v w, de modo que la imagen fuera redonda. Esto ocurriría si fuesen igualmente refrangibles los dos rayos X L I T y Y K H P y todo el resto de los que forman la imagen P w T v. Pero como la experiencia nos muestra que la imagen no es redonda, sino cinco veces más larga que ancha, los rayos que van al extremo superior P de la imagen y sufren la mayor refracción deben ser más refrangibles que los rayos que van al extremo inferior T, a menos que la desigualdad de refracción sea accidental.

Esta imagen o espectro P T era coloreada: roja en su extremo menos refractado T, violeta en su extremo más refractado P y amarilla, verde y azul en los espacios intermedios. Lo que está de acuerdo con la primera proposición³⁵, es decir, que las luces que difieren en color difieren también en refrangibilidad. La longitud de la imagen en los precedentes experimentos la medí desde el rojo más débil y exterior de un extremo al azul más débil y exterior del otro, exceptuando sólo una pequeña penumbra, cuya latitud apenas excedía de un cuarto de pulgada, como dijimos más arriba.

³⁵ En la primera proposición Newton explica mediante dos experimentos, en los que se muestra la refrangibilidad de los colores naturales, que un papel coloreado visto a través de un prisma, siendo el papel iluminado por luz procedente de la ventana, que el color azul es más refrangible o refractable que el rojo. De igual forma se comprueba esta observación mediante la disposición de este papel rodeándolo de un fino hilo de seda negro e iluminándolo con la luz de una vela, y al hacer converger esta imagen a través de una lente biconvexa se mostraba que acercando la imagen o alejándola de un papel blanco se veía que el color azul se refractaba más que el rojo cuando se observaba la mayor nitidez del hilo.

Figura 13



En un esfuerzo por refinar las explicaciones, Newton hace uso de conocimientos geométricos sobre la propagación de la luz para establecer una relación entre los grados de refrangibilidad de los rayos homogéneos³⁶ y la formación del espectro en la pared con su forma oblonga particular. Sus experimentos también fueron más allá, al punto de permitirle observar que la luz blanca se componía de los diferentes colores del espectro en lo que se puede observar en el siguiente experimento y que es considerado por la comunidad científica como el experimento *crucis*³⁷.

Experimento 6. –En medio de cada una de dos tablas delgadas hice un agujero de un diámetro de un tercio de pulgada, y uno mucho más ancho en la contraventana, en forma que permitiese entrar en mi habitación oscurecida un amplio haz de la luz del sol. Coloqué un prisma detrás de dicha contraventana, de suerte que el rayo fuese refractado hacia la pared opuesta, e inmediatamente detrás del prisma puse una de las tablas, en tal forma que la parte central de la luz refractada pasase a través del agujero hecho en ella, quedando el resto interceptado por la misma. Luego, y a una distancia como de doce pies de la primera tabla, coloqué la segunda, en tal forma que la parte media de la luz refractada que llegaba a través del agujero de la primera tabla y caía sobre la pared opuesta pasase a través del agujero de esta otra tabla, y el resto, interceptado por la misma, proyectase sobre ella el espectro coloreado del sol. Inmediatamente detrás de esta tabla coloqué otro prisma para que refractase la luz

³⁶ Este es un término que aparece en las definiciones y está relacionado con rayos que tienen igual grado de refrangibilidad y que permiten identificar los colores de las luces homogéneas.

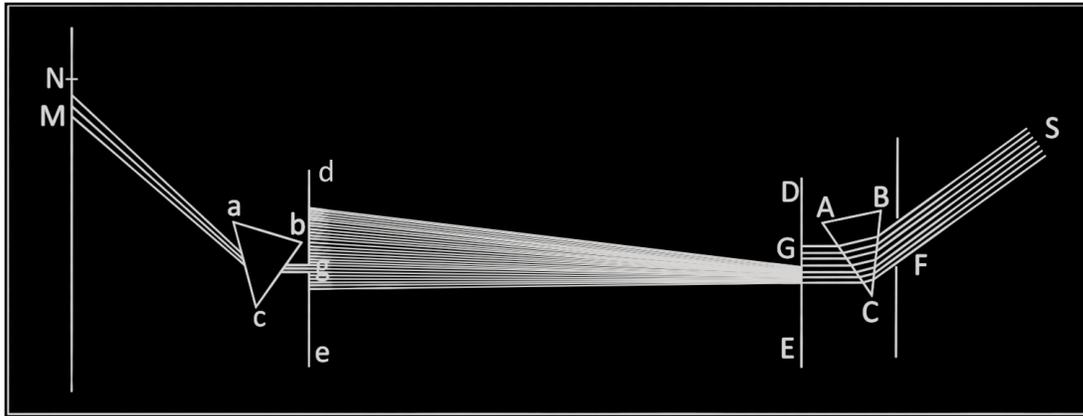
³⁷ Prefijo latino cuyo significado es *crucial*.

que llegaba a través del agujero. Luego volví rápidamente al primer prisma, y, haciéndolo girar lentamente de un lado a otro sobre su eje, hice que la imagen proyectada sobre la segunda tabla se moviese de arriba abajo sobre la misma, de suerte que todas sus partes pasasen sucesivamente a través del agujero de aquella tabla y cayeran sobre el prisma situado detrás de ella. Al mismo tiempo, tomé nota de los lugares de la pared adonde llegaba aquella luz después de su refracción en el segundo prisma. Por la diferencia de lugares, encontré que la luz que siendo más refractada en el primer prisma formaba al extremo azul de la imagen era de nuevo más refractada en el segundo prisma que la luz que llegaba el extremo rojo de dicha imagen, lo que prueba tanto la primera proposición como la segunda. Esto sucedía tanto si los ejes de los dos prismas eran paralelos como si eran oblicuos entre sí y con respecto al horizonte, formando cualquier ángulo.

Demostración gráfica. –Sea **F** (Fig. 18) el agujero grande de la contraventana, a través del cual ilumina el sol el primer prisma **A B C** permitiendo que la luz refractada caiga en medio de la tabla **D E**, y la parte media de dicha luz sobre el agujero **G** hecho en el centro de la tabla. Hagamos que esa parte de la luz que pasa por el agujero caiga nuevamente sobre el centro de la segunda tabla **d e**, dibujando allí una imagen oblonga y coloreada del sol, tal como fue descrita en el tercer experimento. Haciendo girar el prisma **A B C** lentamente de un lado a otro sobre su eje, dicha imagen se moverá de arriba abajo en la tabla **d e**, y por este medio podrá hacerse que todas sus partes, de un extremo a otro, pasen sucesivamente a través del agujero **g** hecho en el centro de dicha tabla. Hay que colocar además otro prisma **a b c**, inmediatamente detrás de dicho agujero **g**, para refractar por segunda vez la luz que atraviesa la tabla. Dispuestas así las cosas, señalé los lugares **M** y **N** de la pared en donde se proyectaba la luz refractada, y encontré que permaneciendo fijos las dos tablas y el segundo prisma, dichos lugares cambiaban constantemente al hacer girar el primer prisma sobre su eje. Cuando la parte inferior de la luz que caía sobre la segunda tabla **d e** era proyectada a través del agujero **g**, esa luz se dirigía a un lugar inferior **M** de la pared; cuando la parte superior de dicha luz era proyectada a través del mismo agujero **g**, se dirigía a un lugar inferior **N** de la pared, y, cuando una parte intermedia de la luz era proyectada a través del mencionado agujero, se dirigía a un lugar de la pared situado entre **M** y **N**. La posición invariable de los agujeros de las tablas hacía que la incidencia de los rayos sobre el segundo prisma fuese la misma en todos los casos. Sin embargo, con esta incidencia igual, unos rayos eran refractados más y otros menos. Y eran más refractados en este prisma los que por una mayor refracción en el primero estaban más desviados de la trayectoria; en

consecuencia, por su constancia en ser más refractados puede justificadamente llamárselos más refrangibles.

Figura 18



En el anterior experimento, Newton aísla un haz de luz de rayos heterogéneos (diferente refrangibilidad y color) utilizando una primera tabla que separa rayos que no poseen demasiada diferencia en los grados de refrangibilidad. Luego, el haz aislado atraviesa un segundo agujero que minimiza los grados de refrangibilidad entre los rayos, estos pasan por un segundo prisma para ser refractados nuevamente. Con este método busca aislar, en lo posible, un haz de rayos homogéneos (igual refrangibilidad y color). Como resultado, no obtiene un nuevo espectro de colores sino un rayo de luz invariante (mismo color) que se aleja más o menos del centro del espectro (como se observa en el experimento 3 en cuanto a la separación de los colores azul y rojo) dependiendo de la refrangibilidad que este posea. Se puede variar el color del haz de luz que pasa por la segunda tabla girando el primer prisma. Así, el haz azul, que es más refrangible que el haz rojo, se puede obtener en una posición específica del prisma, y en una posición diferente se obtendría el rojo. El haz azul se va a ubicar en una parte superior al haz rojo y los dos no aparecen simultáneamente. Ahora bien, esto demuestra que las luces del espectro de colores no se deben al prisma mismo sino a la diferente refrangibilidad de los rayos que están contenidos en la luz blanca.

Se puede observar que Newton hace de una propiedad estrictamente cualitativa como el color algo cuantificable al asociar a cada color un rayo y además un grado de refrangibilidad. Así, si la refrangibilidad de un rayo es igual a la de otro rayo para las mismas condiciones entonces se trata del mismo color. Newton además asigna un orden a la propiedad de refrangibilidad al indicar cuando un rayo es más o menos refrangible que otro, es claro que el podía medir ángulos por esto se posibilitó esta clasificación. Ángulos, senos de los ángulos, reflexibilidad y refrangibilidad son de algún modo fáciles de cuantificar puesto que su creación lo dispuso así al considerar la luz como rayo. Todo el asunto se torna geométrico y de algún modo conocido, las magnitudes se vuelven cuantificables y los experimentos así planteados arrojan las relaciones entre estas magnitudes. Es interesante analizar la asignación de la luz como rayo y el color como cualidad. El color no es medible, sin embargo Newton lo hace medible, y lo identifica como algo característico de un rayo simple u homogéneo.

Las propiedades, atributos o cualidades son las que configuran un objeto, que algunas de estas propiedades sean cuantificables o no es otro asunto; puede decirse que medir es otorgar medidas, pero cuantificar incluye crear la posibilidad de ser medido, es decir, de establecer un isomorfismo con algún conjunto de orden matemático. Newton hizo de una propiedad no medible, algo medible, aunque no directamente, lo hizo comparando el color con un grado de refrangibilidad.

A modo de resumen, Newton le otorga a la luz y a su manifestación en diferentes colores una forma de rayo, a partir de allí logra consolidar una teoría del color coherente y que explica gran variedad de resultados experimentales. Inicialmente retoma todo lo planteado por anteriores científicos: viaje rectilíneo de la luz, instantaneidad de la luz, forma rectilínea de la luz; y conjuga los anteriores planteamientos con la noción de rayo, concepto que recoge la forma de la luz como recta y el viaje mismo. Luego, identifica³⁸ algunas nociones claves:

³⁸ Más que identificar, es crear las mismas nociones y otorgarles la posibilidad de ser cuantificadas o reconocidas por algún medio sensible.

refracción, reflexión, color, ángulos de reflexión y refracción, entre otras. Finalmente, documenta todos los experimentos realizados y cómo las nociones creadas junto con la idea de rayo pueden explicar los resultados de los experimentos, entre ellos la formación del espectro de colores a través de un prisma de vidrio. Lo anterior obedece a un proceso entramado en forma de red, puesto que los aspectos mencionados se relacionan en forma interdependiente, por ejemplo, a partir de la experimentación se pueden crear nociones o también la creación de nociones permite el diseño de experimentos y su explicación.

5.5 Caracterización del proceso de formalización

Con base a la lectura anterior podrían considerarse los siguientes componentes de un proceso de formalización:

5.5.1 Organización de experiencias

Se compilan las experiencias frente a lo conocido del fenómeno, es decir, se recogen todos los conocimientos adquiridos hasta el momento para ser utilizados en la explicación de un fenómeno. Se observa en los primeros axiomas de lo que se conocía de la propagación de la luz.

5.5.2 Caracterización y cuantificación

En esta parte a los atributos o cualidades del fenómeno les es otorgada una forma cualitativa o cuantitativa. Así pues, se crea la posibilidad de cuantificar algunas de las características, atributos o cualidades identificadas a través de la experiencia. Hasta antes de Newton, al atributo *color*, identificado en el comportamiento de la

luz, se le consideraba de naturaleza cualitativa, pues los valores que asumía la variable color eran amarillo, azul, rojo, etc., lo que hace Newton es identificar no solo cualidades, sino también algunas cantidades como el largo y el ancho del espectro de colores, la refrangibilidad de los rayos, las dimensiones del agujero en la contraventana, entre otras características que le permiten cuantificar el fenómeno de la descomposición de la luz, y el color.

5.5.3 Experimentación

La experimentación es entendida como todo proceso intelectual y tangible en el cual se pone en juego el comportamiento de las características, atributos o cualidades de un fenómeno. En este punto, el objetivo no es solo hallar relaciones matemáticas entre las características cuantificables sino poner en juego la relación de dependencia de estos atributos, esta descripción puede ser estrictamente cualitativa. Se pone de manifiesto en aspectos concretos y conscientes en la búsqueda de la dependencia entre los rayos homogéneos y sus grados de refrangibilidad y de la independencia de la composición del espectro con respecto al medio (prisma). Por otro lado, Newton establece una posible relación entre los rayos, su grado de refrangibilidad y los colores que aparecen, construye la posibilidad de cuantificar el color cuando a cada rayo de luz le asigna un color que viene determinado por el ángulo (de orden cuantitativo) de desviación de cada uno.

Es de esta manera que Newton logra formalizar el color y el fenómeno de la propagación de la luz, creando la posibilidad de hacer cuantificables los diversos colores del espectro, acudiendo para ello a una serie de experiencias adquiridas en el tiempo donde se ponen de relieve diferentes nociones geométricas.

El anterior proceso no sólo se da en la creación del conocimiento científico sino en toda forma de entender los fenómenos físicos por parte de los sujetos. Se considera hipotéticamente que todo proceso de formalización debe contener estos

componentes, en cambio, la construcción del conocimiento científico posee un componente más: difusión y socialización de las organizaciones conceptuales.

6. PRIMERA FASE DEL ANÁLISIS

A continuación se analizan las respuestas de las estudiantes dadas en las diferentes preguntas de los instrumentos bajo las tres categorías que han resultado del análisis del clásico, posteriormente, se realiza una descripción resumida en las matrices de sistematización.

6.1 Entrevista

Natalia:

Pregunta 1: Gran parte de la luz del día proviene del sol, también sabemos que el sol se encuentra muy lejos de la Tierra ¿Qué opinas del hecho de que la luz del sol se perciba acá en la Tierra?

La estudiante asocia a la luz del sol una cantidad lumínica “[...] *el planeta está muy lejos del sol, la luz es muy grande, es mucha la luz y esta alcanza a alumbrar la Tierra*”. Cuando se le pregunta cómo se imagina esa cantidad de luz, se observa un esfuerzo por organizar la experiencia, ya que no responde la pregunta inmediatamente sino que se toma su tiempo “*Buena pregunta... no se...*” luego concluye “[...] *entre más grande es el sol más irradia luz*” es así que la estudiante comienza a caracterizar la luz del sol con el tamaño de éste, es decir que, la cantidad de luz que se percibe en la Tierra puede depender del tamaño del sol. En lo anterior subyace una proporcionalidad directa entre el tamaño del sol y la cantidad de luz, indicándonos una relación entre los atributos mencionados y que puede ser objeto de cuantificación. Con la intención de indagar por la propagación de la luz se pregunta cómo llega la luz del sol a la Tierra, a lo que responde: “*se demora, como en una lámpara, voz la prendes y se demora muy poquito para llegar a un lugar*”. Es claro que caracteriza la propagación de la luz en términos del tiempo, distinguiendo un viaje que no es instantáneo; además describe una situación *vivida* como encender una lámpara para explicar la relación entre el tiempo y la distancia recorrida por la luz del sol. Identifica características como:

cantidad de luz, tiempo que tarda la luz en llegar a un lugar, distancia recorrida por la luz y tamaño del sol, indicando que éste último es independiente del tiempo que tarda la luz en llegar a la Tierra, puesto que a la pregunta por la relación entre tamaño del sol y tiempo de viaje de la luz, responde: “*Se demora lo mismo, no importa si el sol es más grande o más pequeño*”. Se observa que la estudiante establece relaciones entre características, sin embargo, no se puede considerar un trabajo experimental, ya que las repuestas dadas no ponen en juego la construcción de experiencias novedosas que le sorprendan y la dejen con el ánimo de investigar más a fondo, es decir, no hay un esfuerzo por plantear interrogantes que requieran para su solución la consideración de otras relaciones entre las características. Según las respuestas dadas estas seguramente fueron objeto de reflexión en otro momento.

Pregunta 2: En la cotidianidad en ausencia de luz no se percibe el color de los objetos ¿cómo explicas lo anterior?

En la respuesta inicial no se hace clara una organización de la experiencia, pues no utiliza otros elementos de alguna experiencia vivida, lo que hace es afirmar la pregunta. En una intención por caracterizar la relación entre la luz y el color se plantea el siguiente interrogante: *¿Los objetos pierden su color en ausencia de luz?* La estudiante alude a una experiencia anterior para validar la idea según la cual el color es una propiedad de los objetos, siempre presente en ellos a pesar de que no se perciben “*No, simplemente que nosotros no los podríamos ver. Si tuviéramos una cámara que sirva en la oscuridad se vería igualmente los colores*”. Se puede observar la organización de la experiencia desde el conocimiento que tiene de un instrumento de visión nocturna y la visualización de los colores de los objetos con este artefacto, para caracterizar el color como propiedad de los objetos y establecer una relación de independencia entre luz y color.

Pregunta 3: Durante un día lluvioso y soleado es muy común ver un arcoíris ¿Cómo explicas la aparición de los colores en el arco iris? ¿Qué papel cumple la lluvia en este caso? ¿Cómo explicas el orden de los colores?

Para hablar del arcoíris la estudiante le da importancia a factores como la lluvia y el sol, a partir de los cuales trata de organizar su conocimiento frente al fenómeno. Para responder a la pregunta la estudiante acude al concepto de reflejo: *“Los colores se ven porque hay un reflejo, es como si el sol se reflejara en el agua. Aunque me parece raro porque cuando cae una gota de aceite en el agua uno ve los colores, entonces sí sería cierto que si el sol se reflejara en el agua se podría formar los colores”* La estudiante explica la aparición de los colores en el arcoíris remitiéndose a otros materiales como el aceite y el vidrio, aclarando que la forma de los colores que aparecen es diferente al del arcoíris, es decir, los colores se reflejan pero no siempre en forma de arco: *“¡No sé si el vidrio tendría características similares a la del agua! porque uno también ve los colores cuando el sol da contra el vidrio. Cuando uno va en un carro y el sol le da adelante en el vidrio creo que se ven los colores. No se forma un arcoíris pero si se reflejan colores”*. Lo anterior corresponde a una organización de la experiencia donde utiliza conocimientos cotidianos para argumentar sus respuestas. Se evidencia la importancia del medio como aquel que permite reflejar la luz del sol y formar o visualizar los colores; el agua, el aceite y el vidrio son medios que reflejan la luz en ciertas formas. Haciendo un análisis frente a las respuestas dadas en el numeral dos queda la inquietud si la estudiante sigue considerando los colores como contenidos en el agua o si son producto de la reflexión, pues cuando se remite a la experiencia del aceite en el agua, parece que el aceite es otra forma de hacer visible los colores contenidos en el agua, no es claro si el aceite es un elemento esencial para producir los colores. Esta inquietud tampoco se aclara frente a la pregunta referida al orden de los colores, donde atribuye al agua una propiedad intrínseca: *“El agua tiene determinada el orden de los colores a reflejar”*

Pregunta 4: ¿Cómo explicas que una moneda se vea diferente debajo del agua o a través de una lupa?

En la respuesta se observa que un objeto visto a través de un medio como el agua modifica la imagen del objeto más no el objeto mismo “*El agua hace que la moneda se vea más grande, aumenta de tamaño, aunque en realidad no la aumenta, parece*”. Es importante resaltar que un efecto determinado, como la formación de imágenes, es atribuido a una propiedad del medio mismo “*Debe ser algo especial de la lupa*”.

Marcela:

Pregunta 1: Gran parte de la luz del día proviene del sol, también sabemos que el sol se encuentra muy lejos de la Tierra ¿Qué opinas del hecho de que la luz del sol se perciba acá en la Tierra?

La intensidad de la luz es una de las características que se identifican en la propagación de la misma “*La intensidad de la luz del sol al ser tan grande hace que se refleje (reflejo=llegada) acá en la Tierra*”. Aquí se encuentran algunos elementos que apelan a la experiencia frente a lo conocido de la luz del sol como la intensidad y posición relativa de la Tierra con respecto al sol; esto último se aclara cuando se pregunta ¿si el sol cambiara su tamaño, qué pasaría con la luz que percibiríamos acá en la Tierra? A lo que responde: “*No importa lo lejos o lo cerca que esté de la Tierra, es la forma en cómo se refleja en la Tierra*”, es decir, frente a lo que implica el día y la noche, ya que en la noche no se percibe la luz del sol, además, cuando se pregunta ¿Cómo te imaginas ese reflejo de la luz del sol en la Tierra? responde: “*No sé... desde la parte que le ilumina al llegar acá en la Tierra, esa parte... mire que por ejemplo en las noches, la luz del sol solo se refleja en ciertas partes, llega directamente*” Queda claro que la estudiante utiliza el término reflejo como luz que llega a la Tierra para explicar la interacción entre la luz del sol y la Tierra. La palabra reflejo no se encasilla al de formación de imágenes. Lo novedoso de esta respuesta se encuentra en el hecho de atribuir un

papel importante al observador y su posición en la Tierra, de tal modo que no sólo es necesario que la luz del sol sea intensa sino que el observador se encuentre en la cara de la Tierra que está de frente al sol. Por otro lado, al preguntar cómo llega la luz del sol a la tierra, si llega instantáneamente o realiza un viaje, se confirma que llegar es sinónimo de hacer un recorrido, y ese recorrido de la luz se da en forma de líneas diagonales, aunque esto último lo dice con inseguridad.

Pregunta 2: En la cotidianidad en ausencia de luz no se percibe el color de los objetos ¿cómo explicas lo anterior?

Esta respuesta sólo tiene sentido si se analiza rigurosamente la anterior. Cuando se refiere a la palabra *reflejo* indica una interacción entre la luz y los objetos de tal modo que el resultado es el color, entendido como luz que llega al observador en forma de color: *“No se reflejan los objetos, lo que hace que los objetos se vean es el color, la luz reflejada en color”*. Es decir, los objetos no se perciben si la luz no está presente, en caso de estarlo, la luz llega al observador en forma de color.

Pregunta 3: Durante un día lluvioso y soleado es muy común ver un arcoíris ¿Cómo explicas la aparición de los colores en el arco iris? ¿Qué papel cumple la lluvia en este caso? ¿Cómo explicas el orden de los colores?

Se puede apreciar que el arco iris es el resultado de la interacción entre el sol y partículas de agua. Los colores son el producto del reflejo, como luz del sol que llega al agua y que luego llega del agua a nosotros en luz de color: *“[...] yo pienso que algunas partículas (de agua) al ser atravesada por la luz, el reflejo del agua hace que aparezcan los colores”* En esta respuesta se considera que la luz atraviesa un medio (agua) y sale de este de manera diferente en una luz de color. Lo que no queda claro es cómo o de qué manera la luz entra en el medio y sale de éste para llegar al observador, de tal manera que se de otra posibilidad de considerar el significado del concepto reflejo. Por otro lado, el agua tiene determinado el orden de los colores como consecuencia de que ésta no es uniforme en su naturaleza tonal, así explica la estudiante que, el orden en que aparecen los colores depende *“de los diferentes descoloramientos del agua que*

se reflejan”. En este sentido se podría pensar que el agua contiene los colores y que son visibles al observador cuando la luz del sol la atraviesa, sin embargo, considerar el color como luz de color ya no sería tan apreciable en este punto.

Pregunta 4: ¿Cómo explicas que una moneda se vea diferente debajo del agua o a través de una lupa?

Se detalla la descripción de una situación vivida: *“Si observamos por debajo del agua, la moneda se ve igual, por encima la moneda se ve como distorsionada ya sea que el agua esté en movimiento o quieta”*. Es importante decir que las estudiantes asisten a clases de natación cada semana y una experiencia común es observar objetos dentro y fuera del agua, con este conocimiento se organiza la experiencia para caracterizar y establecer relaciones entre el tamaño y forma de la moneda dependiendo de la ubicación del observador.

Cristina:

Pregunta 1: Gran parte de la luz del día proviene del sol, también sabemos que el sol se encuentra muy lejos de la Tierra ¿Qué opinas del hecho de que la luz del sol se perciba acá en la Tierra?

Inicialmente distingue ciertas características de la propagación de la luz como distancia y tamaño del sol: *“Porque el sol es muy grande, la luz llega a la Tierra y la distancia que hay apenas es para que la luz llegue aquí”*. Se ejemplifica el significado de la llegada de la luz a la Tierra con otra respuesta, queriendo decir que la Tierra se encuentra en el punto exacto para recibir la cantidad de luz adecuada del sol: *“El sol tiene que estar a determinada distancia de la Tierra porque si se corre un poco hacia nosotros nos puede quemar y si está más lejos la luz sería más reducida, más poquitica”*. En lo anterior se puede apreciar una relación de proporcionalidad inversa entre cantidad de luz y distancia al sol. Por otro lado, la estudiante considera que la luz viaja, pero cuando se le pregunta si la luz requerirá cierto tiempo para ir de un lugar a otro, responde *“Yo creo que*

siempre ha habido luz. Tal vez en un tiempo hubo oscuridad pero desde entonces siempre ha habido luz” posteriormente, al preguntar cómo viaja la luz responde: *“Rápido, muy rápido y es constante”*. Se pregunta adicionalmente si la luz del sol se tarda un tiempo para llegar a la tierra, respondiendo: *“sí, mientras se acomodaba todo”*. Es así que frente a las respuestas dadas, la estudiante parece considerar dos estado de la luz: un primer momento en que la luz viaja de manera rápida y constante ante la oscuridad, y un segundo en donde la luz, al llegar a un lugar, permanece en ese estado, es decir, dejaría ser objeto de discusión su viaje, pues la luz permanece como retenida en dicho lugar. Cuando acude a una experiencia vivida referida al uso de un bombillo, caracteriza la luz como rayos que se propagan sin dirección determinada: *“Si uno prende un bombillo, uno ve la luz ahí mismo, sería una luz demasiado grande. Como rayos que se van expandiendo, abriendo, rayos no como ondas sino más directos”*.

Pregunta 2: En la cotidianidad en ausencia de luz no se percibe el color de los objetos ¿cómo explicas lo anterior?

El nuevo elemento que emerge en esta estudiante es la visión: *“La manera como los ojos captan los colores tiene que ver con la luz”*. El color es una propiedad de los objetos: *“El color está ahí, lo que no hay es luz, de pronto es un factor importante para poder visualizar los colores. El color es independiente de la luz. Pero para visualizarlo si depende de la luz”*. Cuando se le pregunta por qué se puede identificar distintos colores, la estudiante establece la independencia entre la existencia del color y la intensidad de la luz: *“Si usted tiene una camisa naranjada y hay poquita luz, yo la sigo viendo naranjada. Tiene relación en identificar qué color es, pero no que le merma o cambie de color”*. Al preguntar qué hace la luz para permitirle a una persona identificar un color, caracteriza el color y la luz como partícula. Una persona puede ver el color de los objetos debido a una reacción entre las partículas: *“hay una reacción también en relacionarse las partículas de color con las partículas de la luz”*.

Pregunta 3: Durante un día lluvioso y soleado es muy común ver un arcoíris ¿Cómo explicas la aparición de los colores en el arco iris? ¿Qué papel cumple la lluvia en este caso? ¿Cómo explicas el orden de los colores?

Los colores están en el espacio y el poderlos ver depende de ciertos movimientos de la luz con respecto al observador: *“De pronto en el cielo están los colores y cuando la luz tiene otro movimiento que ilumina más, hace que el arcoíris se vea”*. El arcoíris tiene una existencia propia, no depende de otros factores más su visualización sí *“Que haya un día soleado”* *“Los colores se ven en el espacio, es decir que arriba de nosotros están los colores pero yo no los puedo ver así, yo los puedo ver por una luz, si usted le pone determinada luz eso se va a ver”*. La estudiante es consciente que una característica del arcoíris es la forma de arco. Ante la pregunta por el papel que juega la lluvia en la formación del arcoíris, queda claro que dicho factor no se había puesto en consideración: *“No había pensado en ese factor, para ver el arcoíris se necesita que haya sol, es decir no solamente lluvia sino sol también. ¿Por qué la lluvia ahí...? Espere yo pienso. Para ver un arcoíris tiene que haber llovido y después aparecido el sol”* Es así que parece que la lluvia tiene el papel de despejar el espacio para que la luz, con cierto movimiento, haga aparecer los colores, esto se confirma cuando dice: *“Cuando cesa la lluvia, la lluvia está despejando el espacio para poder que la luz de sol al moverse de cierta manera aparezcan los colores”*. En cuanto al orden de los colores, dice que *“tal vez se da un mismo orden porque la luz siempre está ahí, entonces siempre están en el mismo orden, no tendrían un desplazamiento. El arco iris es como la luna, uno camina y el arcoíris se mueve con uno, entonces el orden sería el mismo... pero ¿por qué ese orden...? yo creo que eso no tendría explicación, tendría que ver el arcoíris y ponerme a ver los colores, no le encuentro otra explicación”* Frente a la respuestas dadas, la idea de que los colores están en el espacio, independiente de si hay luz o no, es constante en ella, además el arcoíris posee un orden de los colores que no cambia frente al movimiento del observador, aunque, al reflexionar más a fondo, se ve en una situación en que cree que no hay una explicación y considera la necesidad de

observar directamente el arcoíris; se observa así un esfuerzo por explicar el fenómeno frente a unos elementos que no habían sido puestos en consideración lo que exige un trabajo de experimentación para analizar el orden de los colores. Ahora ¿qué papel juega la insatisfacción o la pregunta en un proceso de formalización? Tiene un papel importante debido a que da pie a la experimentación, ya que es necesario hallar una nueva explicación más convincente para algo que la experiencia no puede explicar.

Pregunta 4: ¿Cómo explicas que una moneda se vea diferente debajo del agua o a través de una lupa?

El movimiento del agua hace que el objeto se vea como haciendo un movimiento zigzagueante: *“Cuando uno mete un pie al agua, como en un piscina, va causar un efecto diferente, el agua está quieta y usted lo va a meter, entonces estaría haciendo un efecto adverso y posiblemente la moneda se vería moviéndose así (de un lado a otro)” “[...] como culebriado, como cuando uno ve algo a través de un incendio [...]”* Un objeto visto a través de una lupa se ve más grande, pero a través del agua no cambia de tamaño, aunque en un inicio afirma lo contrario cuando considera el agua quieta. Considera varias características de la lupa como aquella que tiene un aumento. El vidrio de la lupa tiene un efecto o una *aptitud* que si se ubica en cierta forma, el objeto se va ver más *amplio*. El tipo de lente (forma y material), y la visión también hacen parte de la caracterización. Cuando se le pregunta si cree que hay otras condiciones para observar una moneda contesta: *“sí, luz, esta permite ver los colores, identificar el objeto. La luz atraviesa la lupa y causa un efecto”* En estas respuesta se puede detallar un trabajo de la estudiante por caracterizar un objeto como la lupa, sin embargo, aunque no llega a establecer una diferencia entre un material traslúcido de uno que no lo es, es claro que la condición necesaria es que la lupa este hecha de un material que permita a la luz atravesarlo. Se conserva la idea de que la luz permite ver los colores de los objetos.

© Sistematización de la entrevista³⁹

Categoría Caso	Organización de experiencias Δ	Caracterización y cuantificación Δ	Experimentación Δ
Natalia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recordar el encendido de una lámpara y lo que sucede con la luz. 2. Distinguir los colores de los objetos con y sin lentes de visión nocturna. 3. Razonar sobre los colores que se forman en el vidrio de los carros o cuando una gota de aceite descansa sobre el agua. 4. Recordar una lupa y pensar en el tamaño de los objetos; razonar cuando en el agua hay objetos inmersos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. PROPAGACION DE LA LUZ: tiempo; distancia; tamaño del sol; cantidad lumínica. Se crea la posibilidad de cuantificar la luz en términos del tiempo y la distancia: <i>La luz del sol se demora muy poco para llegar a un lugar.</i> Se establece una relación directamente proporcional entre el tamaño del sol y la cantidad de luz; se considera el viaje de la luz independiente del tamaño del sol. 2. COLOR: propiedad de los objetos. El color existe independientemente de la presencia de luz. 3. FORMACION DEL ARCOÍRIS: lluvia; sol; reflejo; medio; forma. La luz del sol se refleja en el medio y se forman los colores. 4. FORMACION DE IMÁGENES la lupa y el agua tienen una propiedad intrínseca que determina el tamaño de la imagen. 	
Marcela	<ol style="list-style-type: none"> 1. Considerar que en la noche la luz del sol se refleja en otras partes. 2. Está relacionada con lo anterior: si en la Tierra no llega la luz del sol, como en la noche, los colores de los objetos no se ven. 3. Pensar en partículas de agua atravesadas por la luz del sol. 4. Imaginar una lupa y ver el tamaño de los objetos; analizar objetos ya vistos inmersos en el agua desde afuera o el interior de ésta. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. PROPAGACIÓN DE LA LUZ: intensidad de la luz; posición relativa del observador; reflejo entendido como llegar o hacer un recorrido; líneas diagonales. Según la posición del observador se puede percibir la luz; la intensidad es un factor importante para su visualización; la luz llega a la Tierra haciendo un recorrido en forma de <i>líneas diagonales</i>. 2. COLOR: especie de luz que llega desde los objetos hacia el observador; reflejo como interacción entre el objeto y la luz. 3. FORMACION DEL ARCOÍRIS: luz de color; partículas de agua; luz que atraviesa; reflejo; medio <i>descolorado</i>. La luz del sol se transforma cuando, después de atravesar un medio <i>descolorado</i>, se refleja (llega) al observador como luz de color. 4. FORMACION DE IMÁGENES: medio; posición del observador; distorsión; aumento. La lupa aumenta los objetos. La imagen del objeto depende de la posición del observador; el agua distorsiona los objetos cuando se ven desde afuera y permanecen iguales si se ven desde el interior. 	

³⁹ Para hacer una observación del contenido de estas matrices es importante realizar una lectura horizontal para cada número que allí aparece y contrastar dicha lectura con la interpretación y análisis que se hace de la información suministrada para cada caso en el relato anterior a la exposición de las matrices.

<p style="text-align: center;">Cristina</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conocer los efectos de la luz del sol cuando se encuentra demasiado cerca o lejos de la Tierra. Encender un bombillo. 2. Considerar el papel de la visión; Observar objetos coloridos como una camiseta naranjada en presencia de luz. 3. Prestar atención a un día soleado después de una lluvia; mirar y comparar la luna y el arcoíris cuando se camina. 4. Recordar objetos que han sido vistos dentro de una piscina o a través del aire caliente de un incendio o una lupa. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. PROPAGACION DE LA LUZ: tamaño del sol; distancia; cantidad de luz; rapidez de la luz (muy rápida y constante); dos estados: uno de llegada y otro de permanencia; rayo. La cantidad de luz depende de la distancia a la fuente. La luz viaja muy rápido, de manera constante y en forma de rayo, pero al llegar a un lugar ya no se considera el estado de viaje sino de permanencia. 2. COLOR: visión; propiedad de los objetos; intensidad de la luz, partículas de color y de luz. El color es independiente de la luz pero su visualización depende de esta última. <i>El color de los objetos se percibe debido a una reacción entre partículas de color y de luz.</i> 3. FORMACION DEL ARCOÍRIS: los colores están en el espacio; movimiento de la luz; día soleado; arco; lluvia que despeja. El orden de los colores es constante, no se desplazan, es independiente del observador. El arcoíris está presente en el espacio, pero verlo requiere de un movimiento especial de la luz después de que la lluvia despeje el espacio. 4. FORMACION DE IMÁGENES: agua quieta y en movimiento; imagen zigzagueante; aumento de la imagen con la lupa; efecto o aptitud del vidrio; ubicación, forma y material del lente; visión; luz que atraviesa y permite ver colores y objetos. El agua distorsiona la imagen de un objeto pero sin aumentar la misma. La lupa dejar atravesar la luz y la imagen que se ve a través del lente depende de varios factores del mismo y de la manipulación de la persona al ubicarlo de cierta forma. 	<ol style="list-style-type: none"> 3. FORMACION DEL ARCOÍRIS: se exige analizar el orden de los colores, frente a la insatisfacción de la experiencia adquirida.
<p style="text-align: center;">Asertos Δ</p>	<p>La organización de experiencias sobre la propagación de la luz y el color exige procesos mentales tales como: recordar, relacionar, asociar, imaginar, razonar, distinguir; entre otros. El uso de estos procesos se enmarca en experiencias cotidianas sobre el agua, la luz, los instrumentos ópticos; y también en experiencias no tan cotidianas como la formación del espectro de colores en el vidrio, la situación de oscuridad en alguno de los hemisferios de la Tierra, por ejemplo.</p>	<p>Al considerar los atributos y cualidades de la propagación de la luz se tiene: tiempo, cantidad de luz, intensidad de la luz, posición del observador, reflejo, rapidez de la luz, distancia, tamaño del sol, medio de propagación, partículas de color, entre otros. A pesar de que algunos de estos son comunes en las explicaciones de los casos, difieren en su significado; por ejemplo, el concepto color es entendido como una propiedad de los objetos, una interacción entre luz y objeto, o una propiedad del espacio. Así pues, las formas explicativas obedecen a los atributos y significados otorgados por cada una de las estudiantes.</p>	<p>Se considera la experimentación como una posibilidad de reorganizar la experiencia a partir de una nueva observación y un nuevo conocimiento, en este caso, una nueva visualización del arco iris.</p>

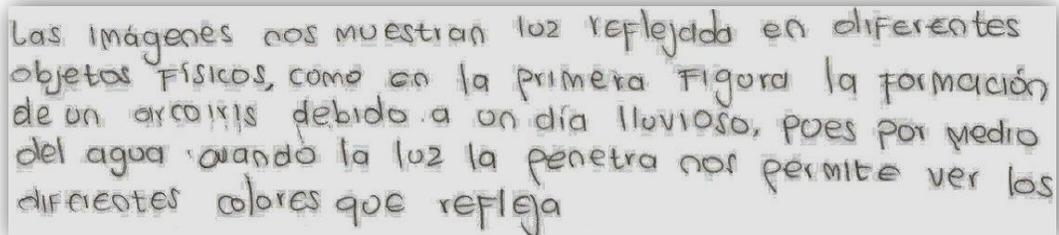
6.2 Cuestionario abierto

Preguntas

1. Realiza un escrito argumentativo de mínimo media página teniendo en cuenta algunas o todas las imágenes relacionadas con el fenómeno de la luz.
2. Juan, en una ocasión sentado en su alcoba, cerca a la ventana, por la cual se adentraba ampliamente la luz del sol, observó detenidamente sus discos compactos (Cd's) y curiosamente se preguntó: "¿Por qué en la superficie de mis discos compactos se pueden ver diferentes colores?". Si Juan es tu amigo y quisieras ayudarlo en su inquietud, ¿Qué le dirías? Argumenta tu respuesta.
3. Analizar las siguientes tres imágenes. (Ver anexo 2)
 - a) ¿Qué sucede en las imágenes 1y 2? ¿Se debe a algún fenómeno físico?
 - b) Si el sol desapareciera del universo por algún fenómeno extraño (ver imagen 3, del anexo 2) ¿Qué crees que pasaría en ese mismo instante con la luz que se percibe en la tierra? Explica y haz un dibujo.

Natalia:

Pregunta 1: El escrito se titula *interacción de la luz con los objetos*. Es posible que con la palabra interacción se refiera al reflejo de la luz en los diferentes objetos; en la imagen del arcoíris la luz penetra en el agua y deja ver los colores que se reflejan; el agua contiene los colores que pueden ser vistos cuando la luz se refleja en ella:



Las imágenes nos muestran luz reflejada en diferentes objetos físicos, como en la primera figura la formación de un arcoíris debido a un día lluvioso, pues por medio del agua cuando la luz la penetra nos permite ver los diferentes colores que refleja

En las imágenes del prisma, el CD y las manos, considera que sólo se trata de reflejos, donde los objetos tienen ciertas propiedades que permiten interactuar con dichos reflejos, haciendo que los colores se desprendan de los objetos:

en cuanto a las imágenes del prisma, el CD y las manos diría que son sólo reflejos de la luz en diferentes objetos que por sus propiedades permiten una interacción con ellos permitiéndonos ver colores que se desprenden de aquel objeto

Según lo anterior, los colores poseen una existencia propia e independiente de la presencia de la luz, los colores están en los objetos, solo que se necesita de la luz para poderlos ver por medio del reflejo que desprende los colores, aquí hay una idea que se mantiene desde la aplicación del primer instrumento: el color como propiedad de los objetos; sin embargo, cuando trata de explicar la imagen del atardecer, diciendo que en el aire hay unos gases concentrados que, al ser penetrados por la luz del sol, reflejan los colores, predominando el naranjado, no se puede afirmar con certeza que los gases contengan dicho color, pues no es explícita en afirmarlo, pero el hecho de diferenciar el aire de unos gases, sí permite intuir que se requiere de éstos para ver el color naranja cuando la luz se refleja en él, es decir, el color dependiendo del objeto:

en el atardecer debido a gases que se concentran en el aire y al ser penetrados por el sol también reflejan colores en este caso predomina el naranjado

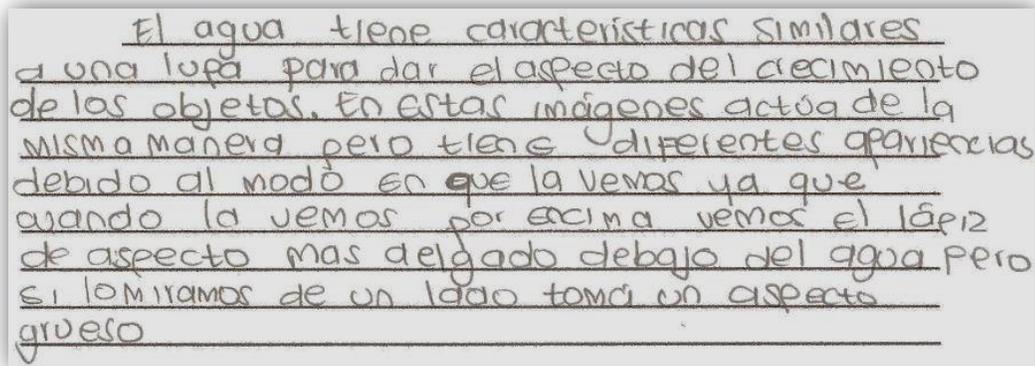
Pregunta 2:

El CD debe tener algunas propiedades relacionadas con lo que están hechos para mostrar estas características al ser tocados con la luz del sol.

En la situación planteada, la estudiante considera un factor importante que el amigo conozca las propiedades de los CD's, refiriéndose para el caso al material con que están hechos, que al ser tocados por la luz del sol permiten ver características como los colores observados. Los colores son considerados una característica de los CD's y no de la luz.

Pregunta 3:

a) Se considera el agua con una propiedad similar a la de una lupa: aumentar la imagen de los objetos. Dependiendo desde donde se observe el lápiz, tendrá una apariencia gruesa o delgada:



El agua tiene características similares a una lupa para dar el aspecto del crecimiento de los objetos. En estas imágenes actúa de la misma manera pero tiene diferentes apariencias debido al modo en que la vemos ya que cuando la vemos por encima vemos el lápiz de aspecto más delgado debajo del agua pero si lo miramos de un lado toma un aspecto grueso.

Es de resaltar el hecho de que en ningún momento se refiere a la quebradura o desviación de la imagen del lápiz.

b) La primera preocupación de la estudiante va referida a la búsqueda de otras fuentes de energía que permitan suministrar luz artificial para observar los objetos, y temperaturas adecuadas para la supervivencia, como el uso de los calefactores. En el instante en que el sol desaparece, la Tierra no se podría ver, con la palabra ver se refiere a los colores de la Tierra que se observarían desde el espacio en presencia de luz. Los demás planetas tampoco se verían y el universo parecería vacío:

Por razones obvias no tendríamos luz natural ya que sólo la obtendríamos de la energía de medios artificiales que ha creado el hombre, también pasaría algo igual con la temperatura porque no nos la regala el sol sino electrodomésticos como calefactores para obtener temperaturas cálidas.

La tierra no le veríamos color alguno puesto que no hay una luz que nos permita verla, ni tampoco otros planetas. El universo se veía ante nuestros ojos totalmente vacío.

- No tendría que dibujar ya que no se vería nada.

Al final, decide no hacer un dibujo porque considera un espacio totalmente oscuro donde los objetos no se lograrían ver. Es importante mencionar que la estudiante no considera el viaje de la luz en el instante en el que el sol desaparece, una caracterización que si tiene en cuenta al momento de responder la entrevista. Aquí, por lo contrario, la luz del sol es instantánea, abarcando todo el espacio al mismo tiempo.

Marcela:

Pregunta 1: El título del escrito es *El reflejo de la luz*. La luz reflejada permite obtener los colores de los objetos:

EN LAS IMAGENES OBSERVAMOS COMO LA LUZ REFLEJADA EN ALGUNOS OBJETOS OBTIENE COLORES.

En cuanto a la imagen del prisma, considera que la luz traspasa el prisma y al interactuar con las partículas de color que hay en su interior la luz blanca se transforma en luz de color, en esta explicación no es claro qué papel desempeña el reflejo, si se considera como transformación o traspasar. Elabora una descripción explicativa de los componentes de la imagen:

CUANDO OBSERVAMOS EL PRISMA, LA LUZ BLANCA LO TRASPASA Y CON LAS PARTICULAS DE COLOR TRANSFORMAN LA LUZ BLANCA EN LUZ DE COLOR.

En el arcoíris los colores salen alineados en un orden específico, si se cambia este orden los colores no se reconocería, aquí el verbo reconocer se refiere a ver:

EN CUANTO A LA IMAGEN EN DONDE APARECE EL ARCOÍRIS. SE VEN LOS COLORES ALINEADOS Y SIEMPRE SALEN EN EL MISMO ORDEN PORQUE SI APARECIERAN DE OTRO ORDEN NO RECONOCERIAMOS DICHS COLORES.

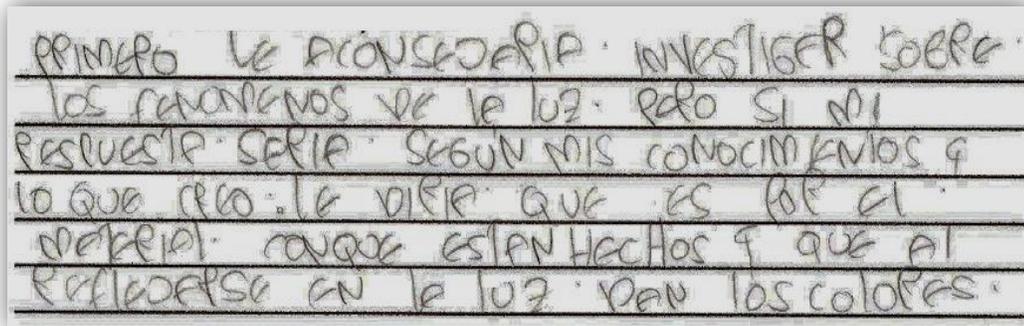
En esta explicación no acude al concepto reflejo, sin embargo, es posible que la estudiante considere que la luz reflejada permite obtener los colores en un orden constante. En la imagen del atardecer el color naranja es producto de una capa de gas concentrada que, al ser traspasada por la luz del sol que se esconde, refleja dicho color:

EN LA IMAGEN DEL ATARDECER VEMOS LUZ NARANJA QUE COMO EN ALGUN MOMENTO DE GASES QUE AL FORMAR ME LO EXPLICARON, SON CONCENTRACIONES HECE TRASPASAR LA LUZ POR DICHA CAPA Y EL SOL AL ESCONDESE COLOR NARANJA.

En la respuesta como tal se evidencia una clara intención de organizar experiencias retomando lo narrado por otros.

La estudiante no da una explicación de la imagen del CD y las manos como hace con el resto de las imágenes, pero, de acuerdo a la idea inicial de su escrito, seguramente considera que es la luz reflejada la que obtiene los colores del CD y las manos.

Pregunta 2:



Se observa que la estudiante piensa en la opción de investigar sobre los fenómenos de la luz. Lo anterior nos indica una sugerencia por organizar experiencias que se remitan a los conocimientos documentados por otros, mostrando la importancia de retomar la opinión de los demás. Conociendo que se trata de una situación en la que no será penalizada por lo que dirá, finalmente muestra su opinión al respecto como una opción de explicar el fenómeno en cuestión y nuevamente se observa cómo la aparición de los colores es explicada a través de características propias del objeto que los refleja, es decir, considera que el material del CD es determinante, este material al reflejarse en la luz muestra los colores, se entiende en este caso que el material posee unos colores que pueden ser vistos cuando son reflejados por la luz, donde la palabra reflejo puede ser sinónimo de obtener. También se puede comprender que los colores del objeto se incorporan en la luz cuando ésta se refleja en el objeto, siendo una condición esencial para ser vistos.

Pregunta 3:

a) Al igual que la estudiante Natalia, la observación de la imagen 1 (lápiz en agua) se concentra en el aumento del lápiz, pero en vez de caracterizar la imagen en grosor y delgadez, Marcela considera las palabras aumento y disminución, entendiendo la disminución como acortamiento del lápiz. Por otro lado, el reflejo de la primera imagen es diferente en el agua que sin ella, en el agua es diferente por su consistencia, en este caso el reflejo en el agua aumenta la imagen; en la imagen

dos caracteriza otro tipo diferente de reflejo, aquí la luz disminuye (acorta) la imagen del lápiz:

La imagen 1 se ve aumentada en la parte en que el lápiz está dentro del agua. qd que es diferente el reflejo ve la luz en el agua que sin ella por su consistencia q en la imagen 2. se observa que qd es el contrario. la imagen del lápiz se ve más disminuida por la forma en que se ve se nota que es diferente el reflejo de la luz.

No es claro si en la segunda imagen la estudiante considera para el análisis el lápiz en conjunto o solo la parte inmersa en el agua para hablar en términos de disminución.

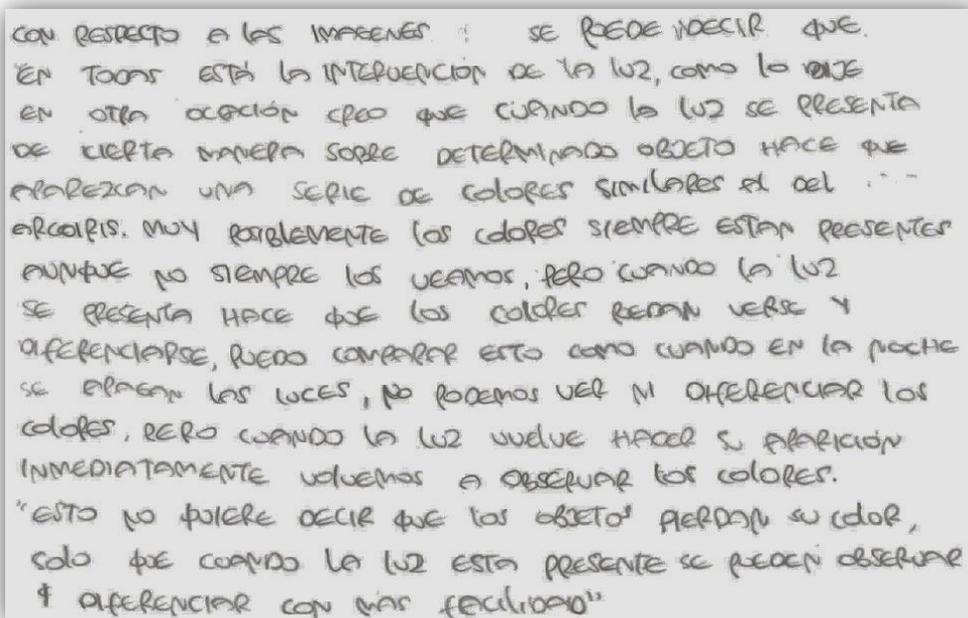
b) Para responder a esta pregunta, la estudiante piensa en términos medio-ambientales, mostrando las consecuencias de la ausencia de la luz natural, en este caso la temperatura de la Tierra cambiaría, las plantas y algunas especies (refiriéndose a los animales) no podrían sobrevivir, además por lo difícil que sería producir luz eléctrica.

La luz natural desaparece.
q: los cambios de día y temperatura, también afecta la energía de los seres vivos y quien sabe si se pueda vivir así.
por la oscuridad y por lo difícil que se se haría al crear usando luz eléctrica.
Además las plantas y diversas especies no pueden sobrevivir en dichas circunstancias.
yo no hago dibujo porque pienso que no se vería la tierra ya que no se reflejaría la luz y no se ven los colores.
(sería todo oscuro).

Cuando explica por qué no hace un dibujo, queda claro que considera la extinción de la luz del sol con efectos instantáneos. No considera el viaje de la luz como aquella que hace un recorrido, una idea que si tuvo en consideración en la entrevista. Por otro lado, para ver la Tierra se requiere del reflejo de la luz y si no se refleja la luz en ella no se ven sus colores. Aquí la respuesta es muy parecida a la de la estudiante Natalia, la idea es la misma pero con palabras distintas, el reflejo o la presencia de la luz como condición para observar los colores, Marcela en este caso considera el reflejo como luz que llega al objeto y sale de él para llegar al observador, aunque no es claro de qué manera.

Cristina:

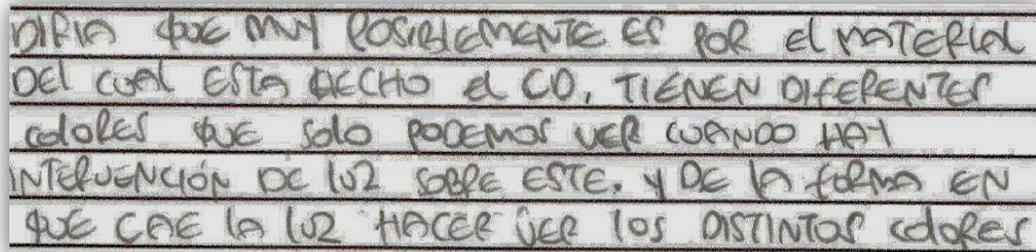
Pregunta 1: El escrito se titula *La intervención de la luz*. Según Cristina, todas las imágenes ponen en evidencia la intervención de la luz. Y así, como en la entrevista, trata de explicar que se debe a la forma en cómo la luz se presenta sobre determinados objetos, lo que permite ver colores como en el arcoíris, en este caso puede que esté considerando el arcoíris un objeto. Los colores siempre están en el espacio y para verlos se requiere de la presencia de la luz. Los colores son también una propiedad de los objetos:



CON RESPECTO A LAS IMÁGENES : SE PUEDE DECIR QUE EN TODAS ESTÁ LA INTERVENCIÓN DE LA LUZ, COMO LO VEJE EN OTRA OCASIÓN CERO QUE CUANDO LA LUZ SE PRESENTA DE CERTA MANERA SOBRE DETERMINADO OBJETO HACE QUE APAREZCAN UNA SERIE DE COLORES SIMILARES AL DEL ARCOÍRIS. MUY ROTUNDAMENTE LOS COLORES SIEMPRE ESTÁN PRESENTES PUNTO NO SIEMPRE LOS VEAMOS, PERO CUANDO LA LUZ SE PRESENTA HACE QUE LOS COLORES PUEAN VERSE Y DIFERENCIARSE, PUEDE COMPARAR ESTO COMO CUANDO EN LA NOCHE SE APAGAN LAS LUCES, NO PODEMOS VER NI DIFERENCIAR LOS COLORES, PERO CUANDO LA LUZ VUELVE HACER SU APARICIÓN INMEDIATAMENTE VUELVAMOS A OBSERVAR LOS COLORES. "ESTO NO PUEDE DECIR QUE LOS OBJETOS PERDAN SU COLOR, SÓLO QUE CUANDO LA LUZ ESTÁ PRESENTE SE PUEEN OBSERVAR Y DIFERENCIAR CON MÁS FACILIDAD"

El elemento adicional en la caracterización de la luz para la identificación de los colores es la diferenciación de los mismos, la luz permite no sólo ver sino distinguirlos. Según esto, los objetos se aprecian gracias a los colores que contienen. Finalmente, la estudiante tiene en cuenta una experiencia vivida para explicar que los objetos no pierden su color en ausencia de luz como encender o apagar la luz (un bombillo, lámpara, etc.) en la noche.

Pregunta 2: La estudiante le diría a Juan que los colores dependen del material del CD, ver los colores solo es posible cuando la luz interviene y dependiendo de la forma en cómo ésta cae sobre el CD se puede ver los distintos colores:



DIRIA QUE MUY POSIBLEMENTE ES POR EL MATERIAL DEL CUAL ESTA HECHO EL CD, TIENEN DIFERENTES COLORES QUE SOLO PODEMOS VER CUANDO HAY INTERVENCIÓN DE LUZ SOBRE ESTE, Y DE LA FORMA EN QUE CAE LA LUZ HACER VER LOS DISTINTOS COLORES

Pregunta 3:

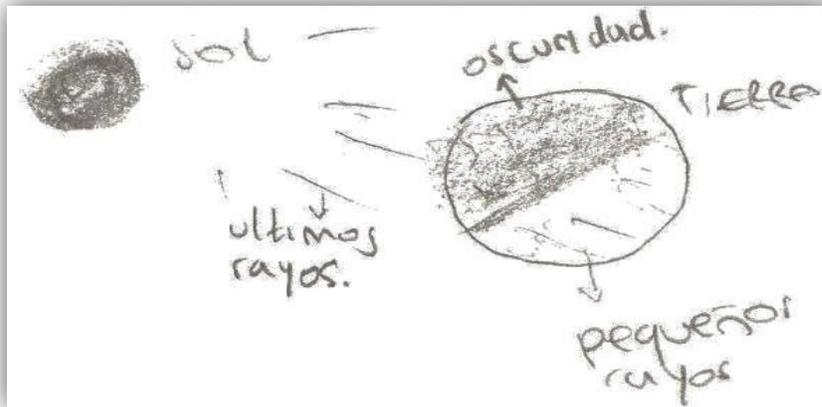
a) Cuando la estudiante observa las imágenes uno y dos, distingue la parte de lápiz que se encuentra sumergido en el agua de la que no lo está. Posteriormente caracteriza esas dos partes del lápiz entre una dimensión delgada y una de mayor tamaño o grueso. El estado de las imágenes depende del material con que está hecho el vaso, la visión y la posición del observador, sin embargo, en esta última caracterización, no hace referencia al líquido contenido en los vasos, es decir, a pesar que menciona en un primer momento la palabra agua para distinguir el lápiz que está sumergido, no le asigna ninguna función en la observación del lápiz cuando caracteriza su imagen:

BUENO EN LA PRIMERA IMAGEN OBSERVAMOS QUE EN LA PARTE DE ARRIBA EL LAPIZ SE VE MAS DELGADO, Y CUANDO ESTA DENTRO DEL AGUA ESTE CAMBIA Y SE VE DE MAYOR TAMAÑO, EN LA SEGUNDA IMAGEN VEMOS TODO LO CONTRARIO "EL LAPIZ ES UN POCO MAS GUESO "ARRIBA Y DELGADO EN EL AGUA. YO DIRIA ANTE ESTO QUE EN LOS DOS TIENE QUE VER EL MATERIAL CON EL QUE ESTA HECHO EL VASO, CON LA MANERA COMO LO CAPTA EL OJO, Y EN LA POSICION EN QUE SE MIRA.

b) A diferencia de las otras dos estudiantes, Cristina sí considera la propagación de la luz del sol como un factor importante, caracterizando la luz como aquella que hace un recorrido y asignando un pequeño instante de tiempo en su viaje antes de desaparecer:

LA LUZ TARARIA UN PEQUEÑO INSTANTE EN DESAPARECER, PERO SERIA CUESTION DE SEGUNDOS, EN UN PEQUEÑO LAPSO DE TIEMPO MIENTRAS QUE LOS RAYOS QUE SE ENCUENTRAN ESTE MOMENTO SE APAGAN, Y DESPUES DE ESTO TODO PUDERIA COMPLETAMENTE OSCURO, O NO SER DE LUZ ARTIFICIAL.

Adicionalmente, considera rayos provenientes del sol que llegan hasta la Tierra, se aprecia así un primer esfuerzo por asignar un tipo de representación al viaje de la luz: forma de rayos. Los últimos rayos del sol que lleguen a la Tierra permitirán ver la luz de éste, estos rayos se apagan después de que pasan por la cara de la Tierra orientada hacia el sol, aunque, según el dibujo, continúan su recorrido transformados en pequeños rayos que permiten otros segundos de claridad. Lo anterior se ejemplifica con una representación de la situación en la que se dibujan los rayos y el viaje que hacen, permitiendo así ilustrar sus palabras:

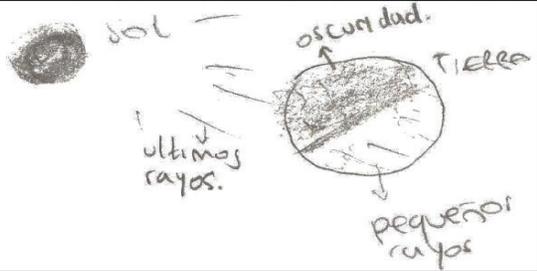


El análisis de esta pregunta se presta para mencionar un aspecto importante en la formalización de un fenómeno, este es, la contradicción entre los argumentos escritos y las representaciones realizadas como una forma de mostrar que al interior de la organización de la experiencia pueden encontrarse relaciones complejas que en ocasiones el mismo sujeto no puede dar a entender claramente.

© Sistematización del cuestionario abierto

Categoría Caso	Organización de experiencias Δ	Caracterización y cuantificación Δ	Experimentación Δ	Socialización Δ
Natalia	<ol style="list-style-type: none"> Relacionar las imágenes con la interacción de la luz y los colores. Visualizar una situación y pensar en las propiedades de los objetos. <ol style="list-style-type: none"> Observar, comparar y distinguir dos situaciones; reflexionar sobre las dimensiones de un objeto. Reflexionar sobre las consecuencias de supervivencia en la Tierra si el sol desaparece; imaginar un espacio en ausencia de luz. 	<ol style="list-style-type: none"> <p>ARCOÍRIS: reflejo; agua; luz; visión; color. La luz <i>penetra</i> en el agua y los colores de ésta se ven mediante el reflejo.</p> <p>ATARDECER: aire; gases; reflejo; luz (sol); color naranja. La luz penetra en los gases y se reflejan los colores de éstos, siendo el color naranja el predominante.</p> <p>PRISMA, CD, MANOS: reflejo; luz; propiedades del objeto; color; interacción; visión. El reflejo de la luz se entiende como una interacción entre ciertas propiedades de los objetos que permiten que la luz desprenda los colores de éstos.</p> COLORES DEL CD: propiedades del objeto (tipo de material); luz. El color se considera una característica del objeto y puede verse cuando la luz del sol los <i>toca</i>. <ol style="list-style-type: none"> LÁPIZ EN UN VASO CON AGUA: crecimiento (aumento); posición del observador (por encima o de lado); lápiz delgado; lápiz grueso. El agua tiene características similares a la de la lupa de aumentar las imágenes. Según la posición del observador se puede ver un lápiz grueso o delgado. SOL Y TIERRA: luz natural; energía para producir luz artificial (uso de artefactos); temperatura; color de la Tierra; espacio vacío; instantaneidad de la luz. La luz de sol se reemplazaría por otro tipo de energía con su consecuente uso en luz artificial que permitiría ver objetos y los calefactores suministrarían temperaturas adecuadas. No se vería los colores de la Tierra y otros planetas en el espacio porque en el mismo instante que el sol desaparece todo el espacio quedaría oscuro y parecería vacío. 		<ol style="list-style-type: none"> COLORES DEL CD b) SOL Y TIERRA
Marcela	<ol style="list-style-type: none"> Relacionar las imágenes con el reflejo de la luz; informarse sobre los gases en la Tierra para explicar los colores del atardecer. 	<ol style="list-style-type: none"> <p>ARCOÍRIS: alineación y orden específico de los colores; visión. Los colores salen alineados en un orden específico, si se cambia este orden los colores no se pueden ver.</p> <p>ATARDECER: concentración y capa de gas; luz que traspasa; sol que se esconde; color naranja. El color naranja es producto de una capa de gas</p> 		<ol style="list-style-type: none"> COLORES DEL CD b) SOL Y TIERRA

	<ol style="list-style-type: none"> 2. Considerar el material con que están hechos los CD's. 3. a) Observar, comparar y distinguir dos situaciones; reflexionar sobre las dimensiones de un objeto. b) Deliberar sobre las consecuencias medio-ambientales en la Tierra si el sol desaparece. 	<p>concentrada que al ser traspasada por la luz del sol que se esconde, refleja dicho color.</p> <p>PRISMA: visión; luz blanca que traspasa; transformación; partículas de color; luz de color. La luz traspasa el prisma y al interactuar con las partículas de color que hay en su interior, se observa que la luz blanca se transforma en luz de color.</p> <p>CD, MANOS: luz; reflejo; colores de los objetos. La luz reflejada permite obtener los colores de los objetos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. COLORES DEL CD: material del CD; reflejo; luz. Según el material, en los CD's se observan unos colores que pueden ser vistos cuando son reflejados (<i>obtenidos</i>) por la luz. 3. a) LÁPIZ EN UN VASO CON AGUA: aumento y disminución de la imagen; reflejo de la luz, consistencia del agua; diferentes reflejos; visión (forma en que se ve). El reflejo de la primera imagen es diferente en el agua que sin ella, en el agua es diferente por su consistencia, en este caso el reflejo aumenta la imagen; en la imagen dos, se presenta un tipo diferente de reflejo, aquí la luz disminuye (acorta) la imagen del lápiz. b) SOL Y TIERRA: luz natural; luz eléctrica; cambios de temperatura; oscuridad; uso de electrodomésticos; visión; reflejo; luz; color; instantaneidad de la luz. Se hace una descripción de interés medio-ambiental de las consecuencias de la ausencia de luz del sol. En el instante que desaparece el sol no habría reflejo de luz y los colores de la Tierra no se verían, todo sería oscuro. 		
Cristina	<ol style="list-style-type: none"> 1. Relacionar las imágenes con la intervención de la luz; Observar una situación en que se apaga y enciende las luces por la noche, distinguir los colores de los objetos en ambos casos. 2. Corresponder el color de los objetos con características del material con que están hechos. 3. a) Observar, comparar y distinguir dos situaciones; reflexionar sobre las dimensiones de un objeto y la dependencia de su 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ARCOÍRIS, ATARDECER, PRISMA, CD, MANOS: luz; objetos; color en el espacio; color como propiedad de los objetos. Según cómo la luz se presente sobre determinados objetos, se podrán ver colores similares al del arcoíris. Los colores siempre están presentes, sólo que en algunas ocasiones no los vemos, se requiere de la luz para ello. En ausencia de luz los objetos no pierden su color, con luz se pueden ver y diferenciar. 2. COLORES DEL CD: color como propiedad del objeto; material; luz que interviene; luz que cae. Los colores dependen del material del CD y de la forma en cómo la luz cae en él se puede ver los distintos colores. Ver los colores solo es posible cuando la luz interviene. 3. a) LÁPIZ EN UN VASO CON AGUA: lápiz sumergido; lápiz emergente; dimensión delgada o de mayor tamaño o gruesa; imagen; material; visión; posición del observador. El estado de las imágenes depende del material con que está hecho el vaso, la visión y la posición del observador. El agua no es un factor a considerar. b) SOL Y TIERRA: propagación de la luz; tiempo; rayos; rayos que se 		2. COLORES DEL CD

	<p>imagen. b) Representar una situación y considerar rayos de luz que viajan.</p>	<p>apagan (oscuridad); representación de la situación. Se considera la propagación de la luz del sol como aquella que hace un recorrido, tardando un pequeño instante de tiempo en su viaje antes de desaparecer; se representa el viaje de la luz en forma de rayos provenientes del sol hasta la Tierra, los rayos pasan la cara de la Tierra orientada hacia el sol y continúan su trayectoria.</p> 		
<p>Asertos Δ</p>	<p>La organización de experiencias concernientes a la aparición del color exige procesos mentales tales como: relacionar, asociar, imaginar, visualizar, observar, comparar, reflexionar, meditar, representar; entre otros. En las respuestas de los casos se nota el uso de explicaciones heredadas de otras personas como el color naranja del sol debido a los gases presentes en la atmósfera o las consecuencias ambientales en la Tierra en ausencia de luz solar.</p>	<p>La aparición del color es entendida como el resultado de la intervención de la luz en los objetos, también se entiende como una propiedad del espacio cuya visualización se da por la presencia de la luz, además es considerada como una propiedad de los objetos que se manifiesta por la interacción con la luz. Las anteriores descripciones corresponden a las distintas formas otorgadas a la relación luz-color dadas por las estudiantes.</p> <p>El poder observar el color de los objetos depende de la forma como la luz cae sobre estos y el material del cual estén hechos.</p> <p>El aparente aumento en los objetos viene dado por el medio en el que se encuentran y resulta de una interacción entre el medio y la luz.</p> <p>Las consecuencias de la desaparición del sol se manifiestan a través de cambios biológicos y se relacionan directamente con el cambio en la temperatura del planeta. Se muestra un estrecho vínculo entre los fenómenos físico, los cambios biológicos, climáticos y sociales. Se considera la desaparición de la luz en forma instantánea o gradual.</p> <p>La representación se muestra como posibilidad de explicar la propagación de la luz siempre y cuando es acompañada de una descripción.</p> <p>Las estudiantes utilizan conceptos comunes para explicar lo concerniente a la relación luz-color, no obstante estos conceptos son significados en forma diferente. El término <i>reflejo</i> da muestra de ello pues es entendido como la interacción luz-color, o también como la obtención de luz luego de <i>intervenir</i> en un objeto.</p>		<p>Las respuestas son explicadas con argumentos que han sido discutidos por los casos, como las consecuencias biológicas y sociales de la desaparición de la luz del sol.</p>

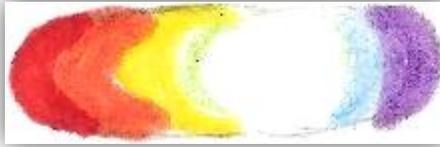
6.3 Actividad experimental: Espectro de colores

Preguntas

1. ¿Cuántos colores puedes identificar? ¿De qué forma están distribuidos? Haz una ilustración.
2. Cuando logres mirar los colores en el interior de la caja, haz un dibujo de la posición en que se encuentra el prisma con respecto a esta. ¿Existirá alguna relación entre la distribución de los colores y la posición del prisma?
3. ¿Por qué crees que un color está después de otro?, ¿será posible una distribución diferente?
4. ¿Qué forma geométrica tiene el conjunto de colores? Haz una ilustración.
5. Toma una lupa y enfoca la luz del sol en algún punto específico y observa que figura geométrica se forma en la superficie. Realiza un dibujo de esta imagen.
6. ¿Tiene la misma forma geométrica la imagen formada por la lupa que la imagen formada por el prisma dentro de la caja? Si – No ¿Por qué?
7. ¿Te suscita alguna pregunta la distribución de los colores? ¿Cuáles?
8. ¿Cómo explicar la formación de colores?

Natalia:

Pregunta 1: Caracteriza el espectro en 7 colores diferentes, también el orden en que se distribuyen al interior de la caja, comenzando por el color más alejado del prisma: rojo, naranja, amarillo, blanco (en la mitad), verde, azul y morado. Para hablar de la diferencia de los colores utiliza la palabra oscuridad y tono, siendo oscuros los colores violeta, azul y verde en un extremo; después del blanco, los colores empiezan a subir de tonalidad como el amarillo, naranja y rojo en el extremo contrario. Se entiende que en los colores oscuros el tono baja. Además de diferenciar los colores en su tonalidad y orden, aprecia una forma ovalada en cada uno de ellos:



7 colores. el primero es el rojo, luego naranja, amarillo, blanco, verde, azul y morado, creo que la distribución desde lo más alto es muy arcuado va descendiendo de manera que al estar después de la mitad (blanco) vuelven a subir de tono nuevamente los colores, conservando siempre la forma ovalada. El color verde no se percibe en todas las posiciones

Adicionalmente, la estudiante hace una observación sobre el color verde, apreciando que éste no se ve en todas las posiciones⁴⁰, con la palabra posición se refiere a la posición del prisma. Cuando manipula el prisma lo hace girar al interior de la caja hasta lograr estimar la mayor cantidad de colores. Esta observación es significativa, ya que la estudiante considera un descubrimiento el poder relacionar la posición del prisma con la cantidad de colores que aparecen.

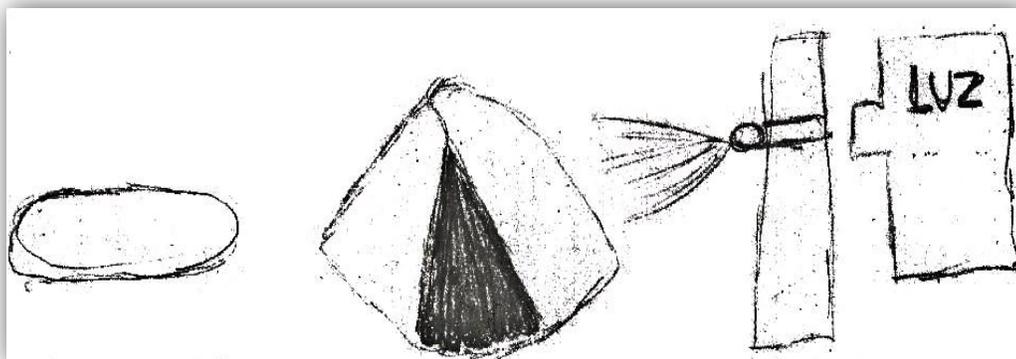
Pregunta 2: Al indagar por la relación entre la distribución de los colores y la posición del prisma, responde:

Si, porque según la posición que tenga el prisma al penetrar la luz puede no alcanzarse al ver ningún color o alcanzarse a ver todos

La visualización de los colores depende de la posición del prisma. La posición en la que aparece el prisma en la ilustración se relaciona con la forma en que penetra la luz (o los rayos de luz al interior de la caja) contra la cara ovalada del prisma. Otra forma de argumentar la relación entre la posición del prisma y la del espectro se

⁴⁰ Por posiciones del prisma se entienden las diferencias en la rotación del mismo.

representa en la siguiente imagen donde se observa un espectro ubicado al nivel de la parte media del prisma.



Es interesante observar que en la ilustración la luz toma forma de rayos que divergen, un aspecto a destacar teniendo en cuenta que en los anteriores instrumentos nunca se había puesto en consideración algún tipo representación de la luz. La palabra LUZ en el dibujo se refiere a la fuente utilizada; el círculo de donde sale los rayos es el orificio de la cara frontal de la caja, y el óvalo a la izquierda es el espectro de colores, en cuyo extremo más alejado del prisma es en donde aparece el rojo. Teniendo en cuenta que se trata de estudiantes del grado once, no puede decirse que el dibujo de claridad frente a la respuesta analizada.

Pregunta 3:

por la cantidad o intensidad de la luz, no sería posible otra distribución ya que donde se encuentra con mayor intensidad la luz siempre irá el color más fuerte

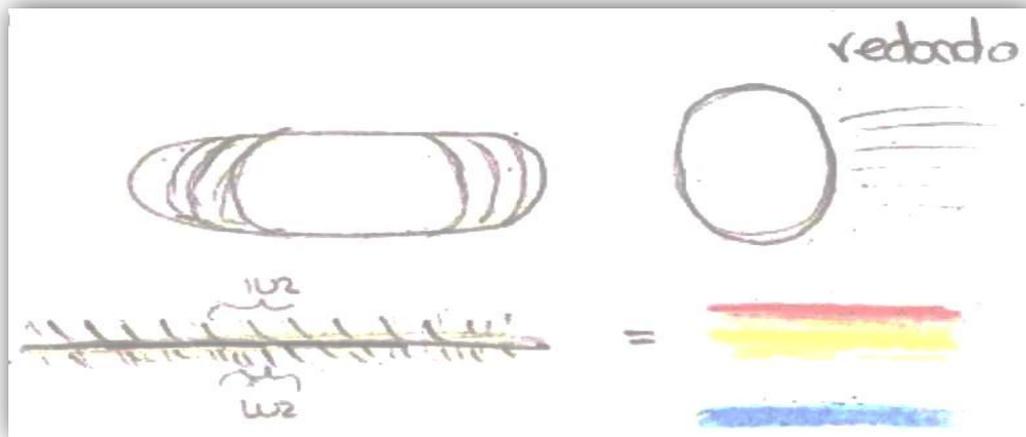
Para argumentar la imposibilidad de otra distribución de los colores, la estudiante se remite a la cantidad o intensidad de la luz. Lo que se puede entender es que el color rojo y el violeta, ubicados en los extremos del espectro, serían los más y menos *fuertes* o intensos respectivamente y dentro del resto de colores ninguno es más intenso-*fuerte* que el rojo, de ahí que no se pueda considerar otra distribución.

Donde se encuentra el color más intenso o fuerte es donde la luz llega más intensamente.

Pregunta 4: La forma del espectro es dependiente de la *forma* (el prisma mismo o la posición del prisma) por la que es *emitida* la luz:

ES un óvalo pero depende de la forma por la que es emitida la luz

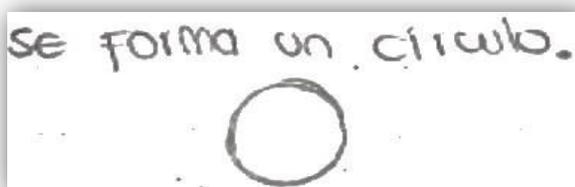
En la siguiente ilustración se observan dos formas geométricas, una ovalada y una circular o *redonda*, en cada una de estas figuras geométricas se dibujan líneas que señalan los límites de los colores. Para el caso del círculo, las líneas se dibujan afuera y a un lado de éste en una forma más compacta. Se dibuja una línea sobre la cual se realizan *intervalos o franjas de luz* tanto en la parte superior como inferior de ésta. La superior se refiere al espectro ovalado y la inferior al *redondo*, ésta representación se iguala con el orden en que aparecen los colores, detallando los colores más llamativos:



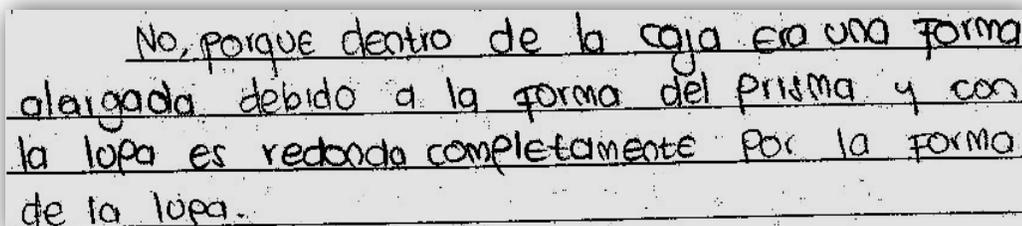
La idea de la estudiante es caracterizar el espacio que ocupa cada color en el espectro distinguiendo los límites entre los colores, también se observa que establece una analogía entre el color y la luz, como si el color fuese una luz de color. No se tiene cuidado en realizar una buena aproximación en dicha ilustración. Es importante observar que las dos figuras geométricas se obtienen usando el

mismo prisma, en ese sentido, la estudiante no estaría remitiéndose exclusivamente a la forma del prisma para hablar de la dependencia del espectro, puede estar refiriéndose implícitamente al cambio de posición del prisma, pero ya la cuestión sería discutir si las palabras: *forma* y *posición* son análogas.

Pregunta 5: Cuando se le solicita a la estudiante que utilice la fuente de luz, la lupa y una hoja en blanco para que mire la forma que adquiere la luz cuando se proyecta contra la hoja, se hace la observación y la ilustración de una luz circular que es pequeña en comparación con el área de la forma circular de la lupa:



Pregunta 6: Al tratar de explicar por qué las formas que adquiere la luz son diferentes cuando se proyecta al interior de la caja con el uso del prisma y en una hoja en blanco con el uso de la lupa, la explicación se enmarca en las formas geométricas de los instrumentos ópticos, es decir, en dependencia de éstos:

A photograph of a piece of lined paper with handwritten text in black ink. The text reads: "No, porque dentro de la caja era una forma alargada debido a la forma del prisma y con la lupa es redonda completamente por la forma de la lupa." The text is written across several lines of the paper.

Sin embargo, la idea así expuesta por la estudiante no tiene en cuenta el hecho de que en la caja, en una posición específica para el prisma, se obtuvo una forma circular. Lo que se puede analizar en este caso es la falta de conexión en la organización de la experiencia frente a lo conocido del fenómeno.

Pregunta 7: En cuanto a algunas inquietudes referidas a la distribución de los colores, la estudiante cuestiona lo siguiente:

Si, ¿por qué siempre se generan esos colores y no otros como el café, negro... etc? ¿Por qué con una luz de color diferente al blanco no sucede lo mismo? ¿Qué características debe tener un objeto para reflejar los colores?

Estas preguntas son bien interesantes en el sentido que ponen en consideración nuevos elementos que no se apreciaron con el experimento, como el hecho de no observar colores como el café o el negro en el espectro de colores. La segunda pregunta es resultado de manipular un láser en la actividad experimental, cuya luz se hace pasar por el orificio de la caja, observando así la ausencia del espectro de colores y la presencia solo de la luz roja del láser. Es posible que esta última observación le permitiera reflexionar sobre las características del objeto para reflejar los colores, aunque también hubiese sido una buena oportunidad para preguntarse también por el tipo de luz utilizada.

Pregunta 8: Finalmente, en un esfuerzo por explicar la formación de los colores, atribuye a la intensidad de la luz, entendida como una distribución desigual de la luz en el espectro de colores, causando la diferencia de colores. Así, a mayor intensidad se presenta un color fuerte y a una menor intensidad un color frío como el azul, en este orden de ideas, el rojo es más intenso que el azul:

Debido a la intensidad de la luz permitiendo que donde más intensa sea genere un color más fuerte y menos intensidad un color más frío como el azul

Es claro que la distribución del color viene dada por la intensidad de la luz. En la respuesta anterior se pregunta por la razón según la cual el espectro sólo se forma con luz blanca, sin embargo esto no lo retoma para justificar la formación de los colores pues considera sólo fundamental la intensidad de la luz y no su tipo. Por

otro lado, el asignar una característica al color en términos de frío o caliente, indica un conocimiento adquirido culturalmente donde a el color rojo se le asocia lo caliente y al azul lo frío.

Marcela:

Pregunta 1: A diferencia de la estudiante Natalia, Marcela solo considera 5 colores en el espectro de colores diferenciados por su *gama* y distribuidos según la *temperatura* y la intensidad de cada uno, siendo el color rojo el más intenso y *caliente*, y el azul el menos intenso y *frío*:



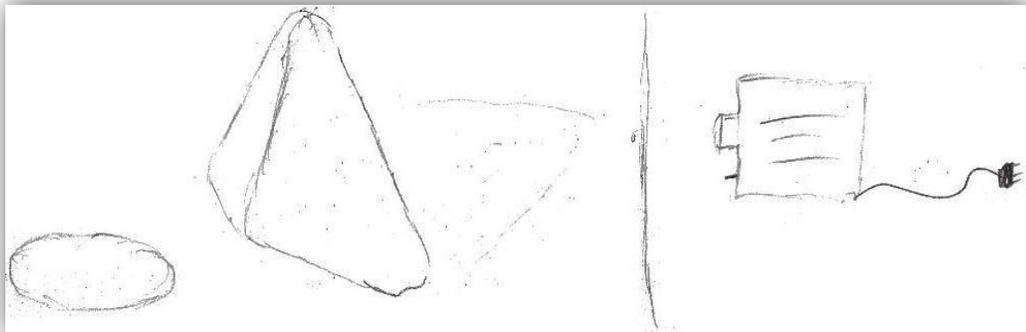
5. con su Gama. - veo que están distribuidos según la temperatura y la intensidad de cada color de este modo quedaría como: el rojo uno de los colores más intensos, luego el naranja disminuyendo así, luego amarillo que es menos intenso luego va disminuyendo la intensidad a convertirse en blanco y después a la gama de los azules que son colores fríos.

Cuando la estudiante utiliza la palabra *gama*, es probable que considere otros colores de los ya mencionados, esto se puede apreciar en el trabajo de difuminación que hace del rojo y el azul. Es curioso que las estudiantes Natalia y Marcela consideren como característica de los colores su *temperatura* sin atreverse a contrastar esta idea a través de mediciones. En este sentido, habría que decir que ciertas experiencias vividas por las estudiantes les permiten atribuir dicha característica a los colores.

Pregunta 2: La distribución de los colores en el espectro es independiente de la posición del prisma, ya que en las diferentes formas en que aparecen los colores la distribución, el orden de los colores, no cambia, lo que si cambia es el tamaño del espectro:

Yo creo que no porque es igual la distribución de los colores en cualquiera de las posiciones del prisma. Solo aumenta o disminuye el tamaño del espectro de color.

En la ilustración que hace Marcela, se observa una posición del prisma que es diferente a la considerada por Natalia, en este caso el espectro parece ubicarse a ras con la parte inferior del prisma y la luz penetra, no exactamente en forma de rayos como se vio claramente en la ilustración de Natalia, en un haz amplio de luz que diverge después de pasar por el orificio de la cara frontal de la caja hasta llegar a la cara ovalada del prisma. También dibuja la fuente de luz y el espectro, este último con forma ovalada y cuyo extremo más alejado del prisma se encontraría el rojo. Hasta el momento ninguna de las ilustraciones de las estudiantes permite apreciar la trayectoria de la luz después de atravesar el prisma.



Pregunta 3:

creo que no porque observe que la distribución de la luz es por la temperatura que cada color representa y su gama en una distribución de mayor intensidad o menor intensidad.

Cuando habla de la distribución de la luz, para distinguirlo de la distribución de los colores, establece una relación entre la luz que se distribuye y los colores que aparecen en el espectro debido a la temperatura de éstos. A la temperatura que cada color representa se le concede la razón por la cual no puede haber otra distribución de la luz. La distribución de colores, que es la *gama* de colores, está dada por la variación de la intensidad de los mismos, es decir, los colores se distribuyen de acuerdo a su intensidad. Ahora, parece ser, que a la diferencia en la intensidad de la luz se le asocia una diferencia en la temperatura de la luz y esta viene representada por los distintos colores del espectro.

Pregunta 4: Según la posición del prisma se puede apreciar tres formas geométricas, una en la que todos los colores se ven con claridad, otra en la que algunos se aprecian poco, y una tercera donde el espectro de colores no aparece, lo que la estudiante significa como *sin color*. Se observa así, en la ilustración, cierta contradicción frente a la respuesta dada en la pregunta dos, pues de este modo la distribución de colores sí dependería de la posición del prisma, ya que en cierta posición ni siquiera aparecería una distribución:

→ todos los colores
se ven más los colores calidos y un poco los frios.
→ sin color

A diferencia de Natalia, Marcela observa una forma circular que no tiene color. También es la primera en observar una figura en el interior de la caja que no es oblonga sino en forma de cuña, dicha figura es, posteriormente, objeto de curiosidad en las otras dos estudiantes, aunque Natalia no la anexa en sus observaciones.

Pregunta 5: En la ilustración se observa dos figuras circulares, la más grande se refiere a una sombra tenue de la lupa en cuyo interior se observa la luz de la fuente enfocada:



Pregunta 6: Las distintas formas de la luz proyectadas sobre las superficies se deben a la forma geométrica del instrumento óptico. Frente a esta respuesta no explica por qué al interior de la caja también se da una forma circular cuando el prisma no posee en ninguna cara dicha forma geométrica:

No, creo que es diferente por la distinta forma de los objetos como son la lupa y el prisma.

Pregunta 7: En la organización de la experiencia se pregunta el por qué una distribución de los colores, es decir por qué el mismo orden y no otro, por qué el rojo siempre está más alejado del prisma y el azul más cerca a él. En la segunda pregunta se observa una idea clara de considerar la luz blanca como compuesta por luces de color, donde el prisma facilita la conversión, aunque no se considera la acción inversa, es decir, las luces de colores convertidas de nuevo en luz blanca:

Si d' porque dicha distribución de colores y no al contrario? d' porque el prisma convierte la luz blanca en luz de color?

Pregunta 8: La formación de los colores se debería a la forma en que es fabricado el prisma y la intensidad del color. Lo que se puede observar en este caso es el hecho de ignorar la fuente de la luz para referirse a la intensidad, es decir, la intensidad desligada de la fuente de luz se convierte en una cualidad exclusiva del color:

pienso que es según la formación del prisma y según la intensidad de color.

Cristina:

Pregunta 1: Se caracteriza el espectro en 4 colores: *rojo, amarillo casi blanco, azul claro y azul oscuro*. Caracteriza los colores en términos de degradación, claridad y oscuridad. Los primeros dos colores se degradan y el azul se va oscureciendo en el extremo contrario. El espectro tiene forma de *llama de candela*:



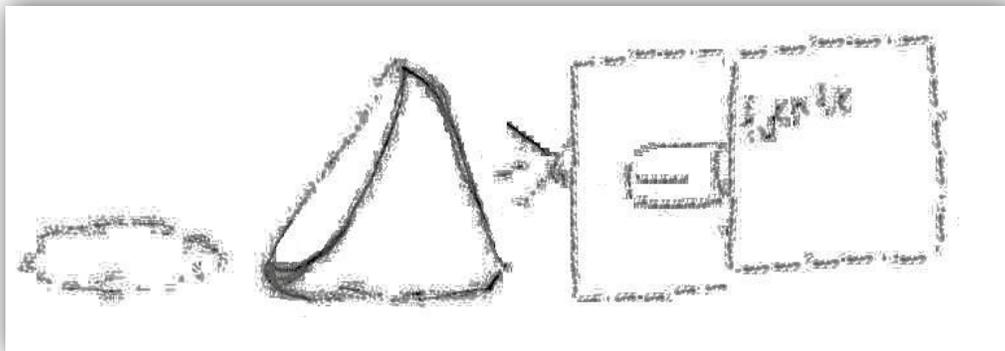
Observo 4 colores, están distribuidos en la parte superior como un rojo el cual se va degradando hasta llegar a amarillo (casi blanco) luego sigue un azul claro que se va oscureciendo hasta llegar a azul oscuro. Estos colores hacen una especie de forma de llama de candela.
"Para observar el color verde se mueve un poco la posición del prisma"

Al igual que la estudiante Natalia, considera que el verde solo se puede ver cuando se cambia la posición del prisma.

Pregunta 2: Existe una relación de dependencia entre la posición del prisma y la distribución de colores. La palabra distribución es sinónimo de forma, de esta manera se caracteriza la distribución en términos de alargamiento o encogimiento. Según la posición del prisma los colores se detallan mejor y aparecen nuevos colores. Utiliza la palabra reflejo como sinónimo de ver:

SI, PORQUE CUANDO MOVEMOS EL PRISMA, LA FORMA QUE SE REFLEJA ES DIFERENTE, PASA DE ESTAR ALARGADITA A UN POCO MAS ENCOGIDA, Y LOS COLORES CUANDO SE UBICA EL PRISMA DE DETERMINADA MANERA SE OBSERVAN MEJOR, Y NUEVOS COLORES. "COMO EL VERDE" QUE SOLO LO PUEDE VER AL MOVER EL PRISMA.

En la ilustración se aprecia líneas casi paralelas que salen de la fuente de luz y que al pasar por el orificio de la caja atraviesan y divergen. Teniendo en cuenta que en los dos instrumentos anteriores Cristina ha considerado el viaje de la luz como rayos que viajan, en esta actividad experimental se puede interpretar con seguridad que las líneas representan el viaje de la luz de la fuente hacia el prisma. De igual forma como sucedió con la otras dos estudiantes, Cristina tiene en cuenta para la ilustración la fuente de luz, una representación de la luz misma, el orificio de la caja, el prisma y el espectro de colores con forma ovalada:



Para dibujar la posición del prisma también tuvo en cuenta, como referencia, la cara triangular de éste y la base de la caja, en este caso la posición del espectro

está al nivel de la parte inferior del prisma. Tampoco dibuja la trayectoria de la luz después de atravesar el prisma.

Pregunta 3:

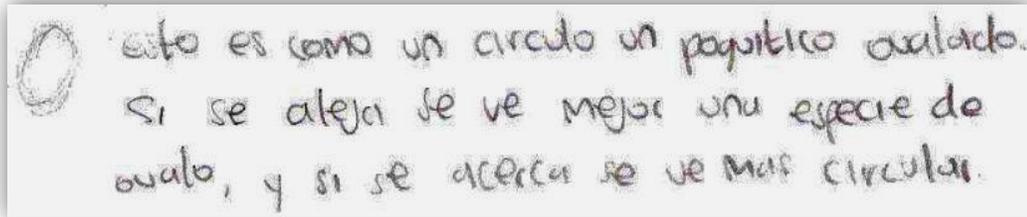
Por la manera como llega la luz a través del prisma,
y creo que la distribución no varía pero la claridad al
observar los colores sí.

Cristina es la única que considera, de manera explícita, la luz a través del prisma. Según como la luz atraviese el prisma se crea la distribución, una distribución que no cambia, es decir el orden de los colores es inalterable (en este caso distribución es sinónimo de orden de los colores y no de su forma), pero la *claridad* sí es diferente. En lo anterior quiere relacionar la dependencia entre la claridad de los colores y la manera que la luz atraviesa el prisma. A diferencia de la respuesta dada en la pregunta dos, se habla de la luz de la fuente y no de la posición del prisma para hablar de dicha dependencia. Teniendo en cuenta la representación realizada en la pregunta dos, si se analiza los rayos de luz que divergen desde el orificio, se puede interpretar que la manera cómo la luz atraviesa el prisma se refiere a la cantidad de rayitos que penetran en la cara del prisma.

Pregunta 4: El espectro tiene forma de óvalo o de cuña. De nuevo se ratifica la idea según la cual la forma depende de la posición del prisma:

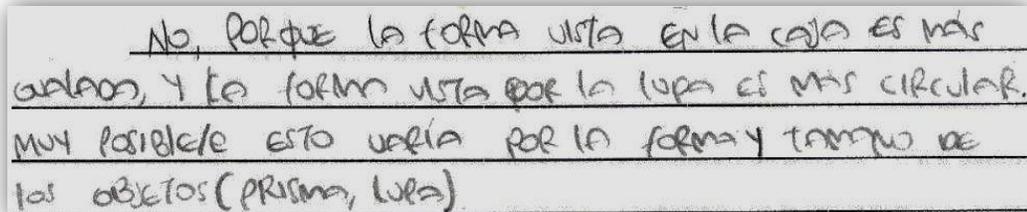
① ②
ESTA FORMA DEPENDE COMPLETAMENTE
DE LA POSICIÓN DEL PRISMA.

Pregunta 5: Se hace una ilustración y una descripción de la imagen donde se pone en juego elementos como la distancia entre la lupa y la hoja de block. Se relaciona así la distancia con la forma de la imagen proyectada sobre la hoja: a mayor la distancia aparece un óvalo y a menor distancia un círculo:



esto es como un círculo un papitico ovalado.
Si se aleja se ve mejor una especie de
ovalado, y si se acerca se ve más circular.

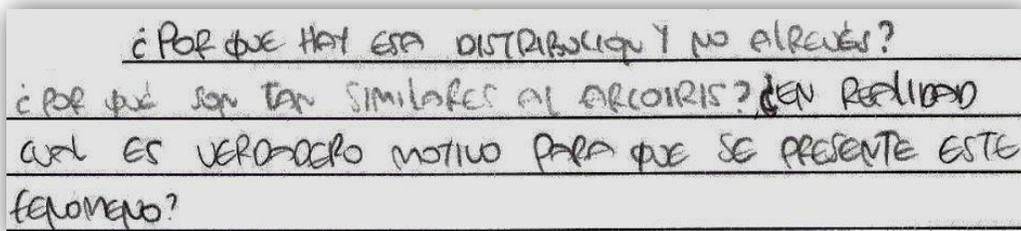
Pregunta 6: Cristina también considera que la forma de la imagen se debe al objeto óptico utilizado distinguiéndolos entre forma y tamaño, pero ignora otros factores ya mencionados como posición y distancia del objeto:



No, porque la forma vista en la caja es más
ovalada, y la forma vista por la lupa es más circular.
Muy posible esto sería por la forma y tamaño de
los objetos (prisma, lupa).

Se comprende así que en ciertas ocasiones algunas experiencias quedan aisladas u omitidas para explicar un nuevo fenómeno.

Pregunta 7: Al igual que Marcela se pregunta por la distribución de los colores, donde la palabra distribución es sinónimo de orden de los colores. En la segunda pregunta establece una relación de correspondencia entre los colores del espectro y los colores del arcoíris. También se pregunta por la causa del fenómeno:



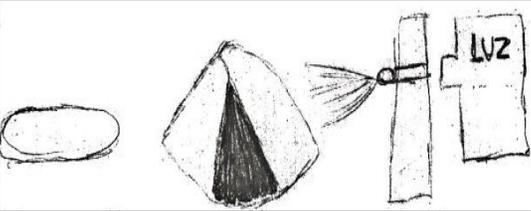
¿Por qué hay esa distribución y no al revés?
¿Por qué son tan similares al arcoíris? ¿En realidad
cuál es verdadero motivo para que se presente este
fenómeno?

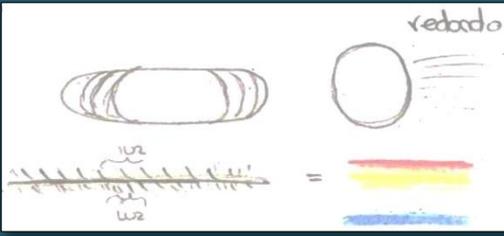
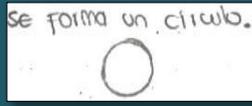
Pregunta 8:

PIENSO QUE LOS COLORES TODO EL TIEMPO ESTÁN EN LOS ESPACIOS, LO QUE PARA ES QUE NO SON VISIBLES AL OJO HUMANO, Y AL UTILIZAR OBJETOS QUE ESTAN HECHOS CON DETERMINADOS MATERIALES PODEMOS OBSERVAR LOS COLORES QUE EN REALIDAD ESTA ALLI.

Para ver los colores es necesario el efecto que produce el material con que están hechos los objetos, refiriéndose para el caso al prisma y la lupa. Al respecto hay que decir que Cristina realizó varias observaciones, adicionales, que no consignó en la actividad: manipuló la lupa y la luz de la fuente haciéndola proyectar a través del objeto óptico sobre una hoja en blanco para obtener el espectro de colores, que en su defecto tenía una forma rectangular. De alguna manera ésta experiencia y la del espectro en la caja, utilizando el prisma, le permitió concluir la idea según la cual el color se debe a una propiedad de los objetos utilizados (lupa y prisma) que permite visualizarlos. Sin embargo, al argumentar que los colores están en el espacio todo el tiempo, y que para verlos se requiere de ciertos materiales, se establece una diferencia sutil en la formación de los colores, según esta idea no se considera la luz como portadora de los colores, el espectro de colores estaría en el espacio y los objetos ópticos utilizados y la luz permiten observarlos. Si bien los colores no son considerados exclusivamente como propiedad de los objetos, si se requieren de algunos de ellos para verlos en el espacio. La otra observación interesante que hace Cristina es la de restaurar el espectro de colores en luz blanca anteponiendo otro prisma al de la caja, sin embargo, esto no lo plasma en la actividad y tampoco se pone en consideración para indagar sobre la luz misma. Esto como tal no es parte de la experimentación pues es producto de manipular los objetos sin una intención clara.

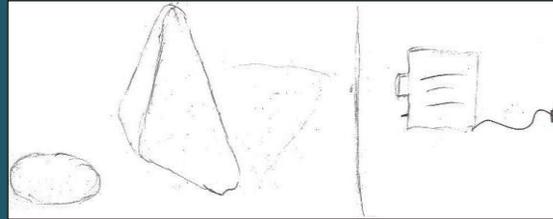
© Sistematización de la actividad experimental: Espectro de colores

Categoría Caso	Organización de experiencias Δ	Caracterización y cuantificación Δ	Experimentación Δ	Socialización Δ
Natalia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Observar, comparar, distinguir y representar los colores del espectro. 2. Distinguir y representar los elementos esenciales para la formación del espectro. 3. Pensar en la intensidad y la fuerza para hablar de los colores del espectro. 4. Distinguir formas del espectro y representarlas. Imaginar y dibujar intervalos de colores y sus límites. 5. Enfocar con la lupa, distinguir y representar la imagen de la luz. Asignar un nombre a la forma. 6. Considerar dos objetos como la lupa y el prisma para relacionar las imágenes con la forma geométrica de ellos. 7. Preguntarse ¿por qué siempre se generan los colores del espectro y no otros como el café, el negro, etc.? ¿Por qué con una luz de color diferente al blanco no aparece el 	<ol style="list-style-type: none"> 1. COLORES Y DISTRIBUCIÓN: siete colores en su orden: rojo, naranja, amarillo, blanco, verde, azul y morado. Oscuridad; tono; forma ovalada. En los colores oscuros como el azul el tono baja. Todos los colores tienen una forma ovalada. El verde solo se ve cuando el prisma se ubica en cierta posición.  <ol style="list-style-type: none"> 2. DISTRIBUCIÓN DE COLORES vs POSICIÓN DEL PRISMA: fuente de luz; luz que penetra; rayos que divergen; orificio de la caja; cara ovalada y triangular del prisma; espectro al nivel de la parte media del prisma; espectro con forma ovalada. La visualización de los colores y la forma del espectro dependen de la posición del prisma.  <ol style="list-style-type: none"> 3. TEORÍA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS COLORES: Intensidad igual a cantidad de luz; el color puede ser fuerte o intenso. El color rojo y el violeta, ubicados en los extremos del espectro, serían los más y menos intensos-fuertes respectivamente. Ninguno color es más intenso que el rojo. La distribución depende de la intensidad de la luz. 4. FORMA DEL ESPECTRO: óvalo; círculo; emisión de luz; forma del objeto; intervalos y límites de los colores; orden de los colores; línea con intervalos de luz en su parte superior e inferior. El 	<ol style="list-style-type: none"> 1. COLORES Y DISTRIBUCIÓN: Opera el prisma para variar su posición y encontrar la mayor cantidad de colores en el espectro. 2. DISTRIBUCIÓN DE COLORES vs POSICIÓN DEL PRISMA: Manipula el prisma y observa la variación en la distribución de colores para analizar si hay una relación de dependencia. 4. FORMA DEL ESPECTRO: Simboliza o representa una igualdad entre los intervalos o líneas limítrofes de los colores y el espectro de la imagen circular y la ovalada. Manipula el prisma para determinar la relación de dependencia del espectro con la <i>forma (posición) por la que es emitida la luz.</i> 5. LUPA-IMAGEN: Enfoca la luz para representar su imagen. 6. LUPA-PRISMA-IMAGEN: Compara las imágenes obtenidas con el prisma y la lupa, y las hace corresponder con la forma del objeto óptico empleado para establecer una relación de dependencia. 	<ol style="list-style-type: none"> 6. LUPA-PRISMA-IMAGEN

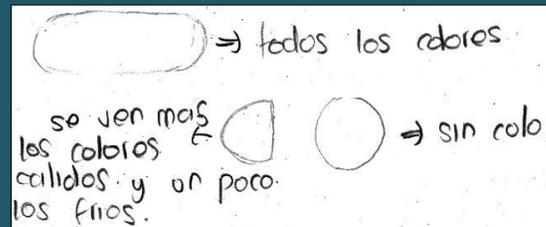
	<p>espectro? ¿Qué características debe tener un objeto para reflejar colores?</p> <p>8. Reflexionar sobre la temperatura y fuerza en los colores.</p>	<p>espectro depende de la <i>forma</i> (posición del prisma).</p>  <p>5. LUPA-IMAGEN: luz circular.</p>  <p>6. LUPA-PRISMA-IMAGEN: imagen con forma alargada y redonda; forma del prisma y de la lupa. La forma de la imagen depende de la forma del objeto óptico.</p> <p>7. INQUIETUDES: ausencia de colores como café y negro. Luz blanca y otra luz de color. Objetos que permiten reflejar colores.</p> <p>8. TEORÍA FORMACIÓN DE LOS COLORES: intensidad de la luz; colores fuertes y fríos. A mayor intensidad se presenta un color fuerte y a una menor intensidad un color frío como el azul, el rojo sería más intenso y caliente que el azul.</p>		
<p>Marcela</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Observar, comparar, distinguir y representar los colores del espectro. 2. Distinguir y representar los elementos esenciales para la formación del espectro. 3. Considerar la distribución de la luz para diferenciarla de la distribución de los colores. Pensar en la temperatura y en la intensidad como alternativas de explicación de los colores. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. COLORES Y DISTRIBUCIÓN: cinco colores en su orden: rojo, naranja, amarillo, blanco y azul. Gama; temperatura; intensidad. Los colores se diferencian por su <i>gama</i> y están distribuidos según la <i>temperatura</i> y la intensidad de cada uno, siendo el color rojo el más intenso y <i>caliente</i>, y el azul el menos intenso y frío.  <ol style="list-style-type: none"> 2. DISTRIBUCIÓN DE COLORES vs POSICIÓN DEL PRISMA: fuente de luz; luz que se adentra por el orificio de la caja en un haz que diverge; luz que llega a la cara ovalada del prisma; el espectro a ras con la parte inferior del prisma; espectro en forma ovalada; tamaño del espectro. La distribución de los colores en el 	<ol style="list-style-type: none"> 1. COLORES Y DISTRIBUCIÓN: Opera el prisma para hacer aparecer los colores del espectro y poderlos describir. 2. DISTRIBUCIÓN DE COLORES vs POSICIÓN DEL PRISMA: Manipula el prisma para observar si la distribución de colores varía y determinar una relación de independencia. 4. FORMA DEL ESPECTRO: Distingue y representa formas del espectro en el momento que manipula el prisma para determinar la relación de 	<p>6. LUPA-PRISMA-IMAGEN</p>

4. Distinguir formas del espectro y representarlas; pensar en colores cálidos y fríos.
5. Enfocar con la lupa, distinguir y representar la imagen de la luz y la sombra de la lupa; asignar un nombre a la forma.
6. Considerar dos objetos como la lupa y el prisma para relacionar las imágenes con la forma geométrica de ellos.
7. ¿Por qué el mismo orden en la distribución de los colores? ¿Por qué el prisma convierte la luz blanca en luz de color?
8. Reflexionar sobre la manera en que puede ser fabricado el prisma y la intensidad de los colores.

espectro es independiente de la posición del prisma, sin embargo, el tamaño si es dependiente de éste último.



3. **TEORÍA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS COLORES:** distribución de la luz; temperatura; gama; intensidad. A la temperatura que representa cada color se le concede la razón por la cual no puede haber otra distribución de la luz. La *gama* de colores (distribución de los colores), está dada por la variación de la intensidad de los mismos.
4. **FORMA DEL ESPECTRO:** tres formas geométricas: ovalada, en forma de cuña y circular. En ciertas formas, todos los colores aparecen y en otras hay ausencia de color; colores cálidos y fríos. Las formas dependen de la posición del prisma.



5. **LUPA-IMAGEN:** sombra tenue de la lupa; luz de la fuente enfocada; óvalo.

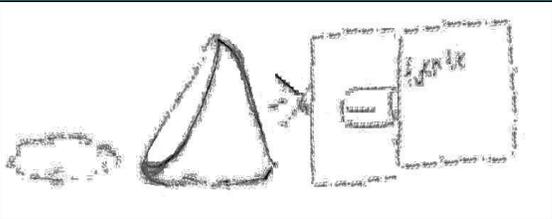


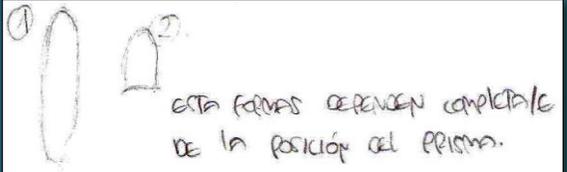
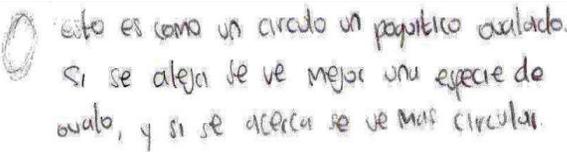
6. **LUPA-PRISMA-IMAGEN:** forma del objeto (lupa y prisma). Las imágenes proyectadas sobre las superficies se deben a la forma geométrica del instrumento óptico.

dependencia de la forma del espectro con la posición del prisma.

5. **LUPA-IMAGEN:** Enfoca la luz para distinguir y representar la forma de ésta con la sombra de la lupa.

6. **LUPA-PRISMA-IMAGEN:** Compara las imágenes obtenidas con el prisma y la lupa, y las hace corresponder con la forma geométrica del objeto óptico empleado para establecer una relación de dependencia.

		<p>7. INQUIETUDES: otro orden de los colores; luz blanca, prisma y luz de color.</p> <p>8. TEORÍA FORMACIÓN DE LOS COLORES: forma en que es fabricado el prisma; intensidad del color. La formación de los colores se debería a la forma en que es fabricado el prisma y la intensidad del color.</p>		
<p>Cristina</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Observar, comparar, distinguir y representar los colores del espectro. Hacer uso de algún tipo de conocimiento artístico para hablar de la claridad y oscuridad de los colores. 2. Distinguir y representar los elementos esenciales para la formación del espectro. 3. Imaginar la luz como compuesta por rayitos para hablar de la luz que atraviesa el prisma y la claridad de los colores. 4. Distinguir formas del espectro y representarlas. 5. Enfocar con la lupa, distinguir y representar la imagen de la luz describiendo su relación con la distancia. Asignar un nombre a la forma. 6. Considerar dos objetos como la lupa y el prisma para relacionar las imágenes con la forma geométrica de ellos. 7. ¿Por qué se da un orden de los colores y no al revés? ¿Por qué son tan similares los colores del espectro y los del 	<ol style="list-style-type: none"> 1. COLORES Y DISTRIBUCIÓN: cuatro colores en su orden: rojo, <i>amarillo casi blanco</i>, azul claro y azul oscuro. Degradación; claridad; oscuridad; forma de <i>llama de candela</i>. Los primeros dos colores se degradan y el azul se va oscureciendo en el extremo contrario El verde solo se ve cuando el prisma se ubica en cierta posición.  <ol style="list-style-type: none"> 2. DISTRIBUCIÓN DE COLORES vs POSICIÓN DEL PRISMA: fuente de luz; luz que penetra; orificio de la caja; rayos que divergen; cara ovalada y triangular del prisma; espectro a nivel de la parte inferior del prisma; espectro con forma ovalada; alargamientos; encogimiento; visión; reflejo igual a ver; color verde. La distribución (forma) de los colores puede ser alargada o encogida y depende de la posición del prisma. Según la posición del prisma los colores se detallan mejor y aparecen nuevos colores como el verde.  <ol style="list-style-type: none"> 3. TEORÍA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS COLORES: luz a través del prisma; claridad. El orden de los colores es inalterable. La claridad de los colores depende de la manera cómo la luz atraviesa el prisma. 4. FORMA DEL ESPECTRO: dos formas geométricas: ovalada y en 	<ol style="list-style-type: none"> 1. COLORES Y DISTRIBUCIÓN: Opera el prisma para variar su posición y hacer aparecer los colores del espectro y poderlos describir. 2. DISTRIBUCIÓN DE COLORES vs POSICIÓN DEL PRISMA: Manipula el prisma y observa la variación en la distribución de colores para analizar si hay una relación de dependencia. 4. FORMA DEL ESPECTRO: Distingue y representa formas del espectro en el momento que manipula el prisma para determinar la relación de dependencia de la forma del espectro con la posición del prisma. 5. LUPA-IMAGEN: Enfoca la luz, teniendo en cuenta la distancia, para distinguir y representar la forma de la imagen. 6. LUPA-PRISMA-IMAGEN: Compara las imágenes obtenidas con el prisma y la lupa, y las hace corresponder con la forma del objeto óptico empleado para establecer una relación de dependencia. <p>EXPERIMENTO NO PLASMADO EN LA ACTIVIDAD:</p>	<p>6. LUPA-PRISMA-IMAGEN</p>

	<p>arcoíris? ¿Cuál es la causa de la aparición del arcoíris y el espectro de colores?</p> <p>8. Reflexionar sobre las propiedades de los materiales que permiten ver los colores que están en el espacio.</p>	<p>forma de cuña. La forma depende de la posición del prisma.</p>  <p>5. LUPA-IMAGEN: distancia: a mayor distancia aparece un óvalo y a menor distancia un círculo.</p>  <p>6. LUPA-PRISMA-IMAGEN: visión; forma ovalada y circular. La forma de la imagen depende de la forma geométrica del instrumento óptico.</p> <p>7. INQUIETUDES: otro orden de los colores; similitud arcoíris y espectro de colores; causa del fenómeno.</p> <p>8. TEORÍA FORMACIÓN DE LOS COLORES: color en el espacio; visión; material de los objetos. Los colores están en el espacio y para verlos se requiere de la luz y ciertos materiales.</p>	<p>Manipula la lupa para obtener el espectro de colores. Utiliza un segundo prisma para obtener de nuevo la luz blanca.</p>	
<p>Asertos Δ</p>	<p>La organización de experiencias frente al estudio de la formación del espectro de colores exige procesos mentales y físicos como: observar, comparar, distinguir, representar, imaginar, reflexionar, describir, enfocar, entre otros.</p> <p>Existen dos preguntas recurrentes a las cuales la experiencia no puede responder: ¿Por qué siempre esos colores y en ese orden? ¿Qué</p>	<p>Se reconocen distintos colores en el espectro, no obstante su orden es caracterizado según una escala que va desde el más intenso, caliente o fuerte (rojo) hasta el menos intenso, frío o débil (azul).</p> <p>Al momento de atravesar el orificio de la caja, la luz diverge en rayos que se despliegan en forma de abanico.</p> <p>Las posiciones relativas del espectro con respecto al prisma difieren en cada estudiante y no se indica la dirección de los rayos luego de atravesar el prisma. La forma del espectro se considera ovalada y depende de la posición del prisma pues en ocasiones se alarga o acorta dependiendo de la rotación del prisma.</p> <p>El orden de los colores del espectro es independiente de la posición del prisma, y viene dado desde el color más intenso (rojo) hasta el menos intenso (azul) puesto que allí cae la luz con mayor y menos intensidad respectivamente.</p> <p>La forma del espectro depende de la forma del instrumento óptico</p>	<p>La manipulación del prisma es la opción más viable para identificar los colores del espectro y deducir la relación entre forma del espectro y posición. La representación del espectro se da en el momento mismo en que se opera el prisma.</p> <p>El intento por resolver las preguntas planteadas va acompañado por la experimentación de cada estudiante, es decir, la solución a los cuestionamientos depende de las observaciones individuales y grupales realizadas por ellas sin</p>	<p>Muchos de los experimentos desarrollados por los casos son el fruto de un trabajo en equipo. En algunas respuestas, como la relación entre intensidad de la luz y el orden de intensidad de los colores se evidencia una conclusión conjunta en el desarrollo de la actividad.</p>

características debe poseer un objeto para reflejar el espectro de colores?

utilizado.
Existen diferentes caracterizaciones para el fenómeno de la formación del espectro de colores, las representaciones, por ejemplo, permiten establecer una simbología entre los límites de los colores y los intervalos de espacio que ocupan en determinadas regiones geométricas. Son utilizadas también para comparar las formas del prisma o la lupa y sus imágenes respectivas.

intervención del investigador.
En la variedad de experimentos, las estudiantes encuentran una forma de corresponder la diferencia en los espectros con la diferencia en la forma de los objetos utilizados.

6.4 Triangulación

Categorías Instrumentos	Organización de experiencias Δ	Caracterización y cuantificación Δ	Experimentación. Δ	Socialización Δ
Entrevista	La organización de experiencias sobre la propagación de la luz y el color exige procesos mentales tales como: recordar, relacionar, asociar, imaginar, razonar, distinguir; entre otros. El uso de estos procesos se enmarca en experiencias cotidianas sobre el agua, la luz, los instrumentos ópticos; y también en experiencias no tan cotidianas como la formación del espectro de colores en el vidrio, la	Al considerar los atributos y cualidades de la propagación de la luz tenemos: tiempo, cantidad de luz, intensidad de la luz, posición del observador, reflejo, rapidez de la luz, distancia, tamaño del sol, medio de propagación, partículas de color, entre otros. A pesar de que algunos de estos son comunes en las explicaciones de las estudiantes, difieren en su significado; por ejemplo, el concepto color es entendido como una propiedad de los objetos, una interacción entre luz y objeto, o una propiedad del espacio. Así pues, las formas explicativas obedecen a los atributos y significados otorgados por cada una de las estudiantes.	Se considera la experimentación como una posibilidad de reorganizar la experiencia a partir de una nueva observación y un nuevo conocimiento, en este caso, una nueva visualización del arco iris.	

	situación de oscuridad en alguno de los hemisferios de la Tierra, por ejemplo.			
Cuestionario abierto	La organización de experiencias concernientes a la aparición del color exige procesos mentales tales como: relacionar, asociar, imaginar, visualizar, observar, comparar, reflexionar, meditar, representar; entre otros. En las respuestas de las estudiantes se nota el uso de explicaciones heredadas de otras personas como el color naranja del sol debido a los gases presentes en la atmósfera o las consecuencias ambientales en la Tierra en ausencia de luz solar.	La aparición del color es entendida como el resultado de la intervención de la luz en los objetos, también se entiende como una propiedad del espacio cuya visualización se da por la presencia de la luz, además es considerada como una propiedad de los objetos que se manifiesta por la interacción con la luz. Las anteriores descripciones corresponden a las distintas formas otorgadas a la relación luz-color dadas por las estudiantes. El poder observar el color de los objetos depende de la forma como la luz cae sobre estos y el material del cual estén hechos. El aparente aumento en los objetos viene dado por el medio en el que se encuentran y resulta de una interacción entre el medio y la luz. Las consecuencias de la desaparición del sol se manifiestan a través de cambios biológicos y se relacionan directamente con el cambio en la temperatura del planeta. Se muestra un estrecho vínculo entre los fenómenos físico, los cambios biológicos, climáticos y sociales. Se considera la desaparición de la luz en forma instantánea o en forma gradual. La representación se muestra como posibilidad de explicar la propagación de la luz siempre y cuando es acompañada de una descripción. Las estudiantes utilizan conceptos comunes para explicar lo concerniente a la relación luz-color, no obstante estos conceptos son significados en forma diferente. El termino <i>reflejo</i> da muestra de ello pues es entendido como la interacción luz.-color, o también como la obtención de luz luego de <i>intervenir</i> en un objeto.		Las respuestas son explicadas con argumentos que han sido discutidos por las estudiantes, como las consecuencias biológicas y sociales de la desaparición de la luz del sol.
Actividad experimental	La organización de experiencias frente al estudio de la formación del espectro de colores exige	Se reconocen distintos colores en el espectro, no obstante su orden es caracterizado según una escala que va desde el más intenso, caliente o fuerte (rojo) hasta el menos intenso, frío o débil (azul).	La manipulación del prisma es la opción más viable para identificar los colores del espectro y deducir la	Muchos de los experimentos desarrollados por las estudiantes son el fruto

	<p>procesos mentales y físicos como: observar, comparar, distinguir, representar, imaginar, reflexionar, describir, enfocar, entre otros.</p> <p>Existen dos preguntas recurrentes a las cuales la experiencia no puede responder: ¿Por qué siempre esos colores y en ese orden? ¿Qué características debe poseer un objeto para reflejar el espectro de colores?</p>	<p>Al momento de atravesar el orificio de la caja, la luz diverge en rayos que se despliegan en forma de abanico.</p> <p>Las posiciones relativas del espectro con respecto al prisma difieren en cada estudiante y no se indica la dirección de los rayos luego de atravesar el prisma. La forma del espectro se considera ovalada y depende de la posición del prisma pues en ocasiones se alarga o acorta dependiendo de la rotación del prisma.</p> <p>El orden de los colores del espectro es independiente de la posición del prisma, y viene dado desde el color más intenso (rojo) hasta el menos intenso (azul) puesto que allí cae la luz con mayor y menos intensidad respectivamente.</p> <p>La forma del espectro depende de la forma del instrumento óptico utilizado.</p> <p>Existen diferentes caracterizaciones para el fenómeno de la formación del espectro de colores, las representaciones, por ejemplo, permiten establecer una simbología entre los límites de los colores y los intervalos de espacio que ocupan en determinadas regiones geométricas. Son utilizadas también para comparar las formas del prisma o la lupa y sus imágenes respectivas.</p>	<p>relación entre forma del espectro y posición. La representación del espectro se da en el momento mismo en que se opera el prisma.</p> <p>El intento por resolver las preguntas planteadas va acompañado por la experimentación de cada estudiante, es decir, la solución a los cuestionamientos depende de las observaciones individuales y grupales realizadas por ellas sin intervención del investigador.</p> <p>En la variedad de experimentos, las estudiantes encuentran una forma de corresponder la diferencia en los espectros con la diferencia en la forma de los objetos utilizados.</p>	<p>de un trabajo en equipo.</p> <p>En algunas respuestas, como la relación entre intensidad de la luz y el orden de intensidad de los colores se evidencia una conclusión conjunta en el desarrollo de la actividad.</p>
<p>Asertos Δ</p>	<p>En la organización de experiencias se requieren procesos mentales y físicos como recordar, reflexionar, comparar, imaginar, describir, visualizar, meditar, razonar, asociar, relacionar, entre otros.</p> <p>Estos procesos remiten a experiencias sencillas y cotidianas como también a experiencias de orden complejo adquiridas por el estudiante. Algunas de estas son heredadas de otras fuentes de</p>	<p>Al considerar los atributos y cualidades de un fenómeno se llega a aspectos similares, no obstante, son manifestados con significados y funciones diferentes. Lo anterior puede considerarse como una forma de mostrar el aspecto cultural en la caracterización de fenómenos, como también la presencia de significados diversos que enriquecen el proceso de formalización.</p> <p>Algunas de las características identificadas en el fenómeno, por ejemplo el color, son atribuidas al objeto mismo a pesar de que no puedan evidenciarse, no obstante, para otros casos son el resultado de un agente externo (la luz) al interactuar con un objeto.</p> <p>Las formas explicativas otorgadas por las estudiantes obedecen a las características atribuidas por cada una a un fenómeno como tal, así pues todas las</p>	<p>La experimentación es un componente fundamental en la construcción de explicaciones siempre que lo planteado en ella sea objeto de análisis por aquel que pretende generar dichas explicaciones.</p> <p>Este componente de la formalización es de orden social porque en muchos casos es necesaria la contribución de un equipo que analice conjuntamente las variables pensadas en un experimento; también es de</p>	<p>La discusión con otros y la posibilidad de construir conjuntamente explicaciones a un mismo fenómeno, surge para esta investigación como una categoría emergente donde las respuestas similares y la manipulación conjunta de experimentos muestran que, sin duda, la socialización y replanteamiento de las ideas por la opinión del otro son parte del proceso de formalización de un</p>

información o son el fruto de reflexiones y acciones propias.

explicaciones son diferentes pero se argumentan de acuerdo a los atributos identificados por cada estudiante.

Son claras algunas afirmaciones que relacionan el cambio de un atributo que determina el cambio de otro, no obstante no se evidencia un proceso de medición como tal, sin embargo se notan procesos de matematización.

La representación desempeña un papel importante en la caracterización, permite simbolizar y comparar observaciones, se convierte en un medio icónico que facilita el establecimiento de relaciones de dependencia o independencia entre atributos o cualidades de un objeto.

En el proceso de caracterización se generan inquietudes cuya alternativa de solución parece encontrarse en la experimentación como fuente de un nuevo conocimiento, ya que las herramientas que ofrece la experiencia son insuficientes.

orden individual pues se postula como una opción para resolver inquietudes individuales.

La diversidad de objetos y de montajes que ofrece la experimentación favorece la cuantificación como la deducción de relaciones para los atributos o cualidades identificadas en un fenómeno.

fenómeno. Así pues, la forma dada a la propagación de la luz o a la aparición del color viene sometida por la consideración de lo que piensan los demás.

7. CAPITULO II. A PROPÓSITO DE LA FORMALIZACIÓN: UNA REORGANIZACIÓN CONCEPTUAL A PARTIR DE LA EXPERIENCIA INVESTIGATIVA

7.1 Reflexión inicial sobre los hallazgos

Como fruto de la experiencia investigativa, se hace necesaria una reformulación de los procesos de formalización. Se consideran así aspectos como la **socialización, organización de distintas experiencias, caracterización, representación, cuantificación, experimentación y matematización**, con la intención de ser resignificados.

La formalización del fenómeno de la propagación de la luz y la formación del color posee un nuevo componente nombrado **socialización**. Esta característica es fundamental no sólo para la construcción de conocimiento científico sino también para la formalización misma de un fenómeno, pues puede afirmarse que la forma que cada individuo le otorga a un objeto⁴¹ viene determinada por los aportes que los demás le ofrecen a la forma en cuestión. El análisis del clásico en un primer momento no mostró esta cualidad fundamental de la formalización, ya que no se encuentra plasmada en el texto de Newton como tal, sin embargo, una nueva lectura del clásico con una información adicional sobre el proceso de publicación del texto, muestra que la producción científica de Newton fue reelaborada y replanteada luego de leer las cartas que al respecto de sus experimentos otros científicos hacían. En la carta enviada 1672 a Oldenburg, Newton escribe con la pretensión de proponer una nueva concepción para la filosofía natural en contraposición a la concepción de Hooke: “Yo no creo que sea efectivo para determinar la verdad, el examinar los caminos diferentes por los cuales los fenómenos deberían ser explicados [...] la teoría que yo propongo se me mostró [...] no deduciéndola solamente mediante la confrontación de suposiciones

⁴¹ Por objeto se significa una serie distinta de fenómenos, cosas, hechos, lecturas, etc.

contrarias, sino derivándolas de los experimentos”⁴². Por otro lado, Newton hacía hipótesis relativas, por ejemplo, al carácter corpuscular de la luz, pero negaba que dichas hipótesis fueran la base de su constructo óptico, en particular su teoría de los colores; y fue la incompreensión de este hecho por parte de sus colegas (Hooke, Pardies, Huygens), lo que llevó a Newton a mejorar su tratado sobre la luz y los colores publicada en 1704. La cultura también jugó un papel fundamental en su pensamiento, la originalidad de su obra podría atribuirse a la influencia de la institución científica a la cual estuvo vinculado durante casi 30 años: el Trinity College de la Universidad de Cambridge. Este espacio académico mostró a Newton diversas formas de interpretar la naturaleza, como también diversas formas de comprender la luz y la geometría que utilizaba para matematizarla. Igualmente, los estudiantes del CEFA que contribuyeron a esta investigación están constantemente permeados por formas distintas de comprender el mundo, formas que socializaron y discutieron decididamente en las actividades. El producto de esta socialización se plasma en las respuestas similares a algunas preguntas, estas poseen argumentos que indican la forma que se da a la propagación de la luz y el color con una explicación común como el resultado de someter al criterio de las demás una idea inicial que se posee del funcionamiento de los objetos, de los hechos, de los sistemas y demás.

Adicionalmente, el análisis correspondiente a la **organización de las experiencias** arroja una serie de resultados que sugieren replantear el componente de tal modo que se diferencien dos tipos de experiencia: la experiencia que obedece a procesos complejos y la experiencia heredada desde otras fuentes de información identificables.

En lo concerniente a la **caracterización**, se encuentra la *representación* de los fenómenos como una parte poco explorada en las anteriores categorías. La representación de las ideas se configura como un aspecto esencial de la caracterización de un fenómeno y exige una resignificación dentro del proceso de

⁴² MARQUINA, J. La metodología de Newton. Facultad de ciencias, Universidad autónoma de México. Junio 2003. Pág. 6

formalización. Al respecto, Newton representa geoméricamente sus ideas sobre la propagación de la luz y esta representación es fundamental en la configuración de su teoría. La representación de los objetos, fenómenos, montajes y demás debe merecer un papel más importante en la formalización de los fenómenos, Newton mismo da cuenta de ello.

Como parte del análisis anteriormente desarrollado, resulta una pregunta por la **cuantificación** y su presencia en el proceso de formalización de la luz llevado a cabo por los diferentes casos. En esta caracterización de los objetos se observa la *posibilidad* de cuantificar los atributos o cualidades, en ese sentido, la cuantificación tiene una relación estrecha con la caracterización, ya que la identificación de las cualidades y el uso de las representaciones permiten favorecer el establecimiento de relaciones de *dependencia* o *independencia*. Se crean así las condiciones para hacer cuantificables algunas características de la propagación de la luz y la aparición del color, como dimensiones del espectro de colores, forma del instrumento óptico, intensidad de la luz y demás. En vista de lo anterior queda una inquietud sobre el papel que tiene la cuantificación en la formalización de los fenómenos. Una reconsideración de este papel en la obra de Newton ha de permitir resolver la anterior inquietud, puesto que el análisis de la aplicación de los instrumentos no muestra con claridad procesos de cuantificación que incluyan una asignación concreta de valores a las variables, atributos o cualidades consideradas, para la propagación de la luz, por ejemplo.

La **experimentación** a su vez, resulta ser un requisito indispensable en la formalización de la luz, puesto que es una opción para obtener conocimientos nuevos que enriquezcan el proceso mismo. Estos conocimientos pueden resultar de un *proceso planeado* en el cual el uso de materiales y montajes determinados, permite encontrar las relaciones entre las variables consideradas para un fenómeno. O también, de un proceso mental donde, a partir de la experiencia frente al funcionamiento de ciertos materiales, se imagina un posible montaje que puede arrojar resultados frente a la relación de las variables o cualidades mencionadas. Todo lo anterior puede constituir un nuevo conocimiento que contribuye a dar

explicaciones y a mejorar los argumentos que sustentan un pensamiento determinado.

Ahora bien, ¿En qué momento se da la **matematización**? ¿Es este un requisito para dar forma a un fenómeno? El objetivo primordial de la experimentación es deducir relaciones entre variables o cualidades identificadas, estas relaciones pueden ser de orden matemático si existe una cuantificación de las variables nombradas o pueden exigir la construcción de nuevos elementos matemáticos para poder ser expresadas. Entonces, la matemización no es una herramienta, ni un producto, es un componente más en la formalización de un fenómeno. Este como tal es más refinado en aquellos que pretenden construir conocimiento científico, pues la matemización de los fenómenos le da consistencia a la forma que es otorgada por ellos en la medida en que permite predecir con mayor exactitud el comportamiento de un atributo o característica. El componente **matematización** se manifiesta sutilmente en las explicaciones de los casos puesto que no pretenden dar credibilidad científica a sus argumentos, no obstante, una relectura del clásico puede dar pautas sobre la importancia de este componente.

De acuerdo a lo expuesto, es necesario contrastar los resultados de los análisis y las categorías emergentes con una nueva lectura del *Tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz* escrito por Newton, en busca de las características antes no consideradas en el proceso de formalización.

7.2 Reorganización conceptual de los procesos de formalización de la luz y el color en Newton

A continuación se presenta una ampliación de los componentes de la formalización de la propagación de la luz y el color. Estos son ahora el fruto del análisis de la información obtenida en la investigación y de una nueva lectura del clásico.

7.2.1 Organización de experiencias

Se compilan las experiencias frente a lo conocido del fenómeno, es decir, se recogen todos los conocimientos adquiridos hasta el momento sobre el mismo. Se observa en los primeros axiomas de la obra de Newton de lo que se conocía de la propagación de la luz.

- ⊙ *El papel de la experiencia en el proceso de formalización:* Permite orientar la visualización de un fenómeno, es decir la percepción de los objetos por medio de los sentidos y los conocimientos desarrollados. Algunas experiencias son explícitas en los axiomas planteados por Newton, las cuales se traducen en un resumen de lo que hasta la época se había tratado en Óptica, aquí las experiencias derivan de la adquisición de conocimientos concretos, pero no solamente se adquieren de esta manera, sino de las múltiples relaciones que el sujeto establece con el medio cultural y social. De este modo, las experiencias se refieren a un compendio de conocimientos que pueden ser de dos tipos: uno se encuentra relacionado con aquellas experiencias donde el sujeto que las vive puede argumentar razones de su procedencia; en el otro se encuentran aquellas experiencias las cuales no se les puede atribuir una causa. Las experiencias son adquiridas en el tiempo y en un contexto determinado, estas se pueden organizar y utilizar en situaciones nuevas, donde el sujeto sienta la necesidad de comprender y explicar algo que le inquieta en su vida. Para el caso de Newton, fue la necesidad de comprender y explicar la descomposición de la luz mediante una relación físico-matemática.
- ⊙ *Experiencias concretas:* Son aquellas experiencias que se hacen explícitas al momento de identificar su procedencia y el conocimiento utilizado, un ejemplo de ello son los axiomas planteados por Newton, los cuales se traducen en un resumen de lo que hasta la época se había tratado en Óptica, aquí las experiencias derivan de la adquisición de conocimientos socialmente aceptados.

- ⊙ *Experiencias complejas*: Existen una serie de experiencias cuya procedencia es desconocida, parecen ser fruto de las múltiples relaciones que el sujeto establece con el medio cultural, social y consigo mismo. Un ejemplo de ello, es la forma cómo Newton pensó y construyó los diferentes experimentos para explicar y comprender la dispersión de la luz. No se puede tener certeza de la experiencia concreta que le permitió llevar a cabo los procesos experimentales, es decir, cómo saber, por ejemplo, la experiencia que le permitió a Newton desarrollar el primer experimento, que no fue referido a los colores de las luz, sino a los colores naturales para determinar los grados de refrangibilidad cuando son vistos a través de un prisma. La experiencia de la cual hace uso en este caso no es explícita, es decir, no hay información clara de su procedencia y el conocimiento utilizado.

7.2.2 Caracterización y cuantificación

En esta parte a los atributos o cualidades del fenómeno les es otorgada una forma cualitativa o cuantitativa. Así pues, se crea la posibilidad de cuantificar algunas de las características, atributos o cualidades identificadas a través de la experiencia cuándo se establece, por ejemplo, una posible relación entre los rayos, su grado de refrangibilidad y los colores que aparecen.

- ⊙ *Representación*: Es un producto de las relaciones entre la actividad del sujeto con un objeto (Por objeto se significa una serie distinta de fenómenos, cosas, hechos, etc.), donde se codifica la percepción de estos en imágenes mentales que son plasmadas mediante iconos, símbolos, insignias de carácter gráfico. Un ejemplo claro lo constituye los diferentes dibujos que elaboró Newton en su obra, los cuales permitieron comprender y explicar no solo el fenómeno de la luz sino el diseño de los diferentes experimentos. Es de entender así que la representación, como elaboración mental, es una construcción del sujeto como medio de aproximación a una realidad subjetiva

que permite facilitar la descripción de los objetos y la formulación de preguntas.

- *Cuantificación:* El sujeto reconoce algunas nociones físicas cuando establece una posible relación entre conceptos, esto permite crear la posibilidad de cuantificar algunas características, atributos o cualidades de estos. Un ejemplo es el trabajo que Newton hace al establecer un isomorfismo entre rayo y línea recta, atribuyéndole una forma a la propagación de la luz que le permite establecer relaciones matemáticas entre los grados de refrangibilidad (ángulo de desviación de los rayos) para caracterizar la formación de los colores; es así, como la luz de color azul es más refrangible que la luz de color rojo. Dichos grados de refrangibilidad, para los diferentes rayos de la luz de sol, se convierten en una magnitud susceptible de ser medible, pues se crea la posibilidad de asociar un color a un rayo de luz.

7.2.3 Experimentación

La experimentación es entendida como todo proceso intelectual y tangible en el cual se pone en juego el comportamiento de las características, atributos o cualidades de un fenómeno con el objetivo de encontrar relaciones entre ellos o relaciones no conscientes, es decir, nuevos conocimientos. Se pone de manifiesto en aspectos concretos y conscientes en la búsqueda de la dependencia entre los rayos homogéneos y sus grados de refrangibilidad y de la independencia del espectro de colores con respecto al medio (prisma).

- *Experimentación mental:* Es una actividad del pensamiento que involucra procesos imaginativos donde se pone a actuar, bajo distintas circunstancias, objetos, contextos o situaciones específicas. Los objetos (por objeto se significa una serie distinta de fenómenos, cosas, hechos, etc.) pueden ser distinguidos, reconocidos por la experiencia mediante relaciones análogas, para hacer alguna predicción de lo que ocurriría cuando interactúan las características, atributos o cualidades de estos objetos. Todos estos elementos se presentan en una situación dada donde se busca identificar

cambios relevantes de los objetos. En este proceso, se examinan ciertos cambios (acontecimientos relevantes) que son controlados por la persona, control que parte de una labor mental de experimentar lo observado sobre lo conocido, de tal forma que estos concuerden con la experiencia, dándoles una posibilidad de existencia. Por otro lado, la experimentación mental antecede a la experimentación tangible, esto se refleja en los montajes experimentales que hace Newton, pues obedecen a una planeación mental donde se piensa la disposición de ciertos objetos como el rayo de luz, el prisma, una habitación oscura, el espectro de colores, entre otros, antes de elaborar toda una serie de montajes experimentales para dar cuenta de las relaciones existentes entre los objetos, de tal forma que piensa como controlar la desviación de los rayos, la interferencia del prisma, el orificio en la pared y demás para explicar el espectro de colores.

Toda actividad experimental obedece a una experiencia concreta o compleja que se desarrolla con la finalidad de construir conocimiento.

- © *Experimentación tangible*: Es toda actividad experimental donde la experimentación mental es contrastada con la manipulación directa de objetos. Newton utiliza todas sus experiencias (complejas y concretas) en una experimentación de este tipo, pues retoma los objetos pensados para manipularlos directamente, como es el caso de la posición del prisma, la amplitud del espectro de colores, la dirección del rayo de luz cuando penetra dentro de la habitación y demás.

7.2.4 *Matematización*

Se da juntamente con la cuantificación y búsqueda de relaciones entre las características del fenómeno. En este punto, el objetivo es hallar relaciones matemáticas entre las características cuantificables, además poner en juego la relación de dependencia de estos atributos, esta descripción puede ser

estrictamente cualitativa. La matematización se pone de manifiesto en aspectos concretos y conscientes de la búsqueda de dependencia entre los rayos homogéneos y sus grados de refrangibilidad. La composición de la luz blanca en los diferentes colores es independiente de las propiedades del prisma.

- ⊙ *La matematización*: Es el resultado de la cuantificación de variables dada en la experimentación donde se pueden construir modelos matemáticos. La asignación de modelos matemáticos hecha por Newton da cuenta del nivel de conocimiento que él tenía de la matemática, porque manejando la geometría y la trigonometría de su tiempo pudo darle forma al fenómeno de la luz. Por tanto la complejidad de los modelos matemáticos asignados a los resultados experimentales obedece a los conocimientos que posee el sujeto sobre matemáticas. Recíprocamente, en ocasiones es necesario crear nuevos objetos matemáticos para poder representar alguna característica observada en el fenómeno. Al respecto ¿podría considerarse el objeto físico *rayo* un objeto matemático? En los planteamientos de Newton sí, puesto que las fronteras entre física y matemática son allí indistinguibles, no obstante el *rayo* como objeto físico posee una gran similitud con el concepto *vector* como objeto matemático. Ahora bien, todo sujeto hace uso de la experiencia para la construcción de conocimiento; por ende el saber que se utiliza para este fin es tanto individual como colectivo pues de algún modo es parte del conocimiento que culturalmente se ha constituido. En el origen como en el fin de la creación del concepto *rayo* se encuentra todo el saber de Newton, saber que comprende disciplinas como la filosofía, la geometría, la alquimia, la teología, entre otras. Ninguno de estos conocimientos puede ser nombrado como el responsable de la creación del concepto *rayo*, son todos en conjunto; son la matemática y la física indistinguibles en este punto, de tal modo que la matematización de los fenómenos físicos no puede considerarse parte de la matemática o parte de la física únicamente.

7.2.5 Socialización

Comprende la discusión con otros de la forma otorgada a un fenómeno con la intención de ser validada o reformada. Newton da muestra de socializar su obra para ser validada y reconfigurada no como una opción de construir conocimiento científico sino de mejorar la forma dada a la luz. Al respecto, Newton hacia hipótesis relativas, por ejemplo, al carácter corpuscular de la luz, pero negaba que dichas hipótesis fueran la base de su constructo óptico, en particular su teoría de los colores; y fue la incomprensión de este hecho por parte de sus colegas (Hooke, Pardies, Huygens), lo que llevó a Newton a mejorar su tratado sobre la luz y los colores publicado en 1704.

7.3 Acciones asociadas a los procesos de formalización

Las características de los procesos de formalización se relacionan en forma compleja en dichos procesos, puesto que no existen fronteras entre una y otra. De esta manera, cuando se experimenta, por ejemplo, la organización de las experiencias, la caracterización, matematización y socialización están inmiscuidas en el mismo proceso. Empero, se pueden definir algunas *acciones* específicas que transversalizan los procesos de formalización y que puede desarrollar cada sujeto en su intención de darle forma a un fenómeno, estas son: medir, manipular, diseñar métodos de medición, representar, observar, reflexionar, relacionar variables, deducir leyes, identificar atributos, contrastar resultados e ideas, entre otros. No puede considerarse que una de las acciones corresponda, exclusivamente, a una característica de los procesos de formalización. Reflexionar, por ejemplo, es una acción necesaria para **organizar experiencias, experimentar, caracterizar**, entre otras. A continuación se observa una tabla con las *acciones* y sus significados.

ACCIONES	SIGNIFICADO
Manipular	Disponer de materiales para utilizarlos con un fin determinado.
Diseñar métodos de medición	Planear estrategias para comparar magnitudes
Medir	Comparar magnitudes, asignar <i>valores</i> a los atributos identificados (pueden ser cualitativos o cuantitativos).
Observar	Poner en contacto al sujeto con los objetos, con la finalidad de examinarlos detenidamente.
Describir	Narrar las características de los objetos.
Identificar atributos	Encontrar las cualidades de un objeto.
Representar	Modelar un objeto para abstraer los atributos mediante una construcción icónica.
Relacionar variables	Asociar atributos de acuerdo a la independencia o dependencia que se da entre ellos.
Confrontar resultados	Establecer diferencias o similitudes entre los análisis asociados a experimentos.
Deducir leyes	Enunciar una oración compuesta en la que se generaliza el comportamiento de los atributos de un objeto.
Confrontar ideas	Cuestionar los argumentos del otro para llegar a acuerdos sobre formas de comprensión, métodos, técnicas, etc.
Reflexionar	Retomar ideas o pensamientos anteriores para detenerse en ellos y dar un sentido a lo considerado.

7.4 Los procesos de formalización: un objetivo pedagógico

La anterior caracterización del proceso de formalización le otorga una función no tradicional al docente de ciencias. El objetivo no es transmitir ciencia

considerándola como el cúmulo de conocimientos ya elaborados, sino construir conocimiento favoreciendo el enriquecimiento del proceso de formalización de los fenómenos, mostrando la ciencia como un proceso dinámico en permanente construcción. La labor del maestro es disponer espacios donde se organicen las experiencias, se caractericen y cuantifiquen los fenómenos, donde se experimente, donde se matematice, donde se socialicen las formas otorgadas a un fenómeno. El docente sería un exponente del conocimiento científico. La función del maestro y del alumno, en un contexto social, diverso y complejo, es la de convencer a los demás de que la forma como se entiende un fenómeno puede ser la mejor, la más completa. Por tanto, el maestro de ciencias debe fomentar el aprendizaje de las matemáticas, pero al interior de la física, mostrándola como parte de la física misma, ya que la matematización de los fenómenos le otorga validez a los mismos.

Para tal fin, en esta investigación se elaboran tres instrumentos adicionales que pretenden lograr el objetivo anteriormente mencionado. Estas actividades exigen la realización de ciertas acciones propias del proceso de formalización, para el caso, estas acciones se encuentran determinadas por la forma otorgada a la luz y son susceptibles de ser evaluadas por el maestro. Los siguientes instrumentos obedecen a necesidades particulares observadas en las estudiantes que desarrollaron las actividades inicialmente planteadas.

El primer instrumento tiene como intención enriquecer la experiencia a partir de información de tipo científico como la ley de la reflexión y refracción, además algunos experimentos sencillos que permiten una deducción sugerida de las leyes anteriores. Esta actividad potencia el uso de la medición y la cuantificación de variables como una opción para dar validez a la forma dada a un fenómeno en específico. El segundo instrumento busca favorecer la caracterización y la experimentación mediante acciones como manipular, observar, describir, entre otras, sobre el estudio del color y la luz cuando estos se manifiestan en distintas formas. Finalmente, el tercero tiene la intención de enriquecer la socialización de los fenómenos mediante un conversatorio en el que se ponen en discusión los argumentos en acciones como confrontar ideas, reflexionar y deducir leyes que los

casos fueron construyendo durante el proceso de aplicación de los variados instrumentos.

8. SEGUNDA FASE DEL ANÁLISIS

8.1 Actividad experimental: Reflexión y refracción

Preguntas

Experimento 1:

- ¿Puedes distinguir los ángulos que se forman entre el espejo y la luz incidente, y entre el espejo y la luz reflejada? ¿Son iguales o diferentes?
- ¿De qué método nos podemos valer para medirlos? ¿Servirá el compás?
- Mide algunos ángulos y anótalos en la hoja haciendo un dibujo representativo en donde se muestre el camino de la luz del láser.

Experimento 2:

- Trata de medir los ángulos que se forman tanto del rayo incidente y del rayo refractado con la normal. Anótalos en la siguiente figura dibujando tanto el rayo incidente como el refractado.
- Realiza otras tres mediciones para tres rayos de incidencia diferentes con sus respectivos rayos refractados. Anótalos en los siguientes dibujos.

Natalia:

Experimento 1. Reflexión

a)

Si se pueden ver los ángulos formados, ambos ángulos son iguales, pues en la posición colocada se formaron dos ángulos de 56° cada uno.

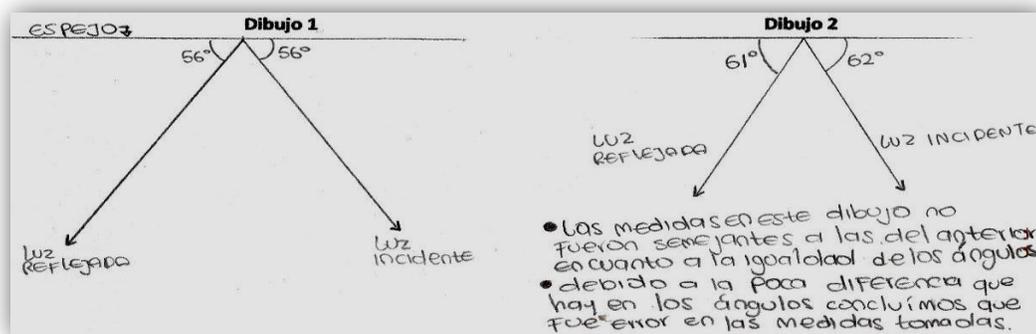
La anterior respuesta es una muestra clara de un proceso de observación y medición de ángulos. Plantea la relación entre el ángulo de incidencia⁴³ y el ángulo de reflexión⁴⁴ como una relación de igualdad. Luego indica el método utilizado para la medición de ángulos, este es ejecutado y diseñado conjuntamente.

b)

el compás no fue utilizado para medir los ángulos, utilizamos un círculo de lcopor para ver más claramente los ángulos y debajo de este pusimos una hoja para marcar claramente las líneas reflejadas por el espejo, luego de trazarlas las medimos con un transportador y nos dió en exactitud los ángulos de 56°

c)

La representación de las magnitudes identificadas se da a través del siguiente dibujo. Allí se muestran dos mediciones para dos ángulos diferentes de incidencia y se concluye que la variación entre el ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión viene dado por un error en las medidas tomadas. El espejo es representado por una línea recta.

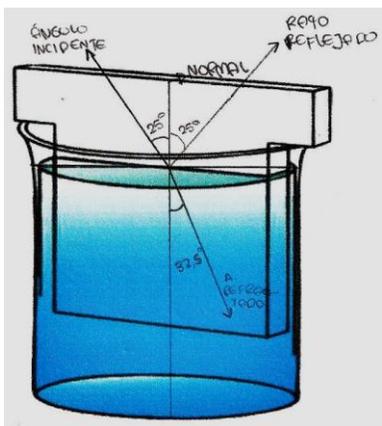


⁴³ El ángulo de incidencia en la óptica geométrica corresponde al ángulo formado por el haz de luz que llega al espejo y el plano normal al espejo. El ángulo de reflexión es a su vez, el formado por el rayo que se refleja en el espejo y el plano normal al espejo, entendiendo como coplanares el ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión. No obstante, los ángulos identificados por las estudiantes corresponden a los formados por los rayos y la superficie del espejo; esto no implica ninguna diferencia sustancial para el logro de los objetivos propuestos.

⁴⁴ *Ibíd.*

Experimento 2. Refracción

a)



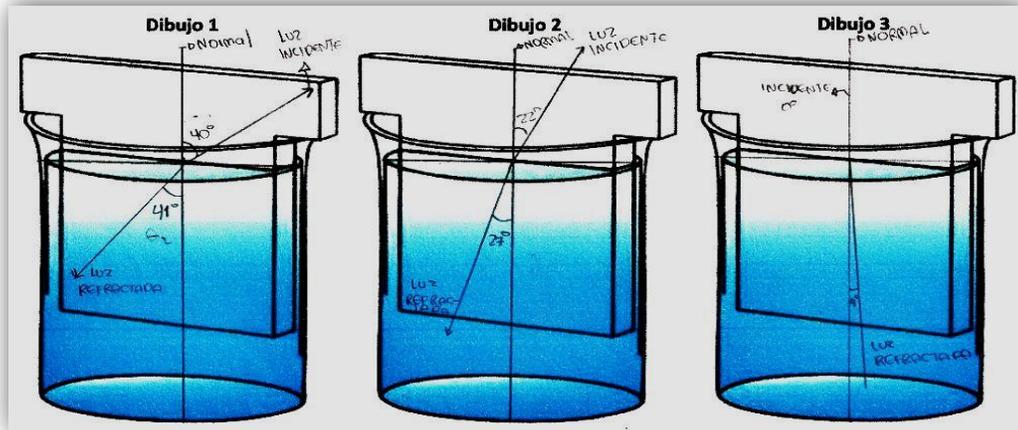
Este gráfico representa la trayectoria de la luz del láser incidente, reflejado y refractado, sin embargo, de acuerdo a la representación de la dirección del rayo incidente, se *puede pensar* que no se hace un uso adecuado del láser al proyectarlo sobre la superficie. La estudiante incluye una medición del ángulo de incidencia⁴⁵ y el ángulo de reflexión con la normal, mostrando la relación obtenida respecto a la ley de

reflexión, también se muestra la medida del ángulo de refracción. Se identifica la normal a la superficie del agua. Las medidas obtenidas son el resultado de la ejecución de un plan de medición diseñado por las estudiantes. Esto no se evidencia en forma escrita pero es parte de lo observado por los investigadores.

b)

En la siguiente gráfica se nota la intención de variar el ángulo de incidencia para así medir la variación en el ángulo de refracción, no obstante, aunque no se encontró una relación definida, las estudiantes concluyeron que no se trataba de una relación de igualdad. En lo anterior no se da un proceso de deducción de una ley.

⁴⁵ El ángulo de incidencia es el formado por el rayo incidente y la normal al medio.



Marcela:

Experimento 1. Reflexión

a)

En la respuesta a la pregunta inicial se evidencia que la estudiante identificó los ángulos sugeridos plasmando el resultado de sus observaciones. Para resolver la siguiente pregunta, es necesario realizar una serie de mediciones cuya conclusión es:

Si los ángulos de la luz fueron iguales según esta medición que se hizo con un transportador

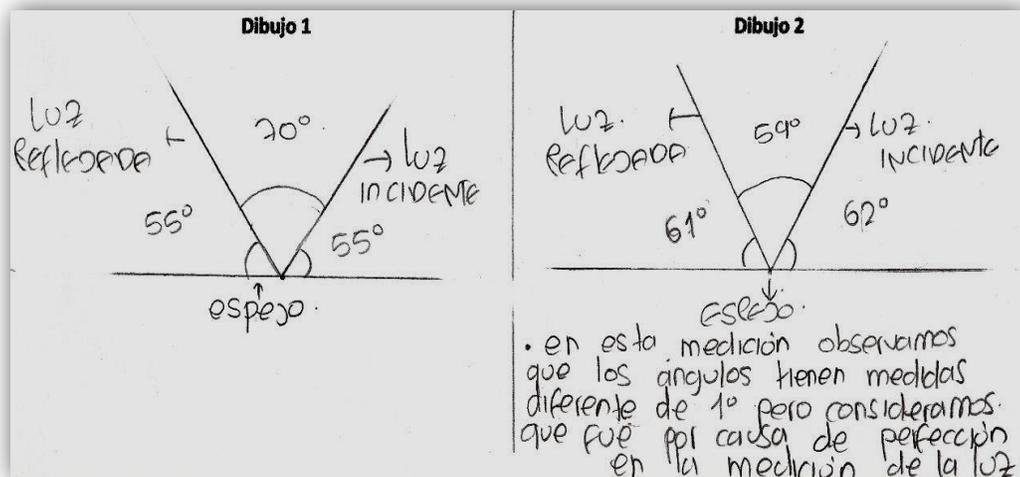
Lo anterior es muestra de un proceso de medición discutido y diseñado juntamente con las demás estudiantes. También se expresa en el enunciado anterior la relación hallada para las variables consideradas.

b) Para este punto las estudiantes diseñaron la forma utilizada para medir los ángulos con diversos instrumentos de medición que se encontraban en la mesa. Además, el experimento como tal era ejecutado por ellas.

En este caso nos ayudamos de lápiz, papel y un transportador para hacer la medición. No utilizamos compás pero de esta forma se hizo la medición muy fácilmente.

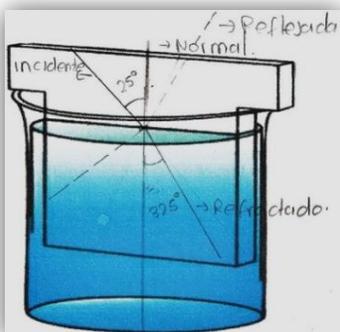
c)

Marcela también representó sus observaciones y allí describió la relación según la cual el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. Además, rechaza un resultado de la medición en virtud de la exactitud de la relación entre estas magnitudes.



Experimento 2. Refracción

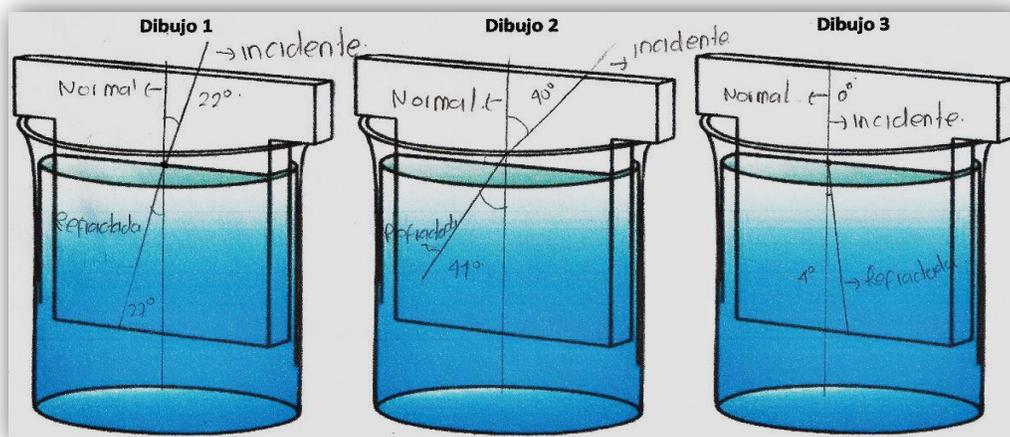
a)



Marcela identifica y representa el ángulo de incidencia y de refracción, también la normal a la superficie del agua, el rayo incidente, reflejado y una división del rayo refractado. Midió además el ángulo de incidencia y de refracción.

b)

En la gráfica siguiente muestra la variación de las medidas como una prueba de cuantificación, aunque no se aproxime a ninguna ley, concluye que la relación entre el ángulo de incidencia y el refractado no es una igualdad. Además, no grafica, como en el anterior, el rayo reflejado en el agua.



Cristina:

Experimento 1. Reflexión

a)

Si iguales. en la posición que colocamos el espejo y el láser se formaban dos ángulos de 56° cada uno.

En la anterior respuesta se muestra un proceso de observación y medición desarrollado por la estudiante donde identificó el ángulo de incidencia y de reflexión formado por el láser.

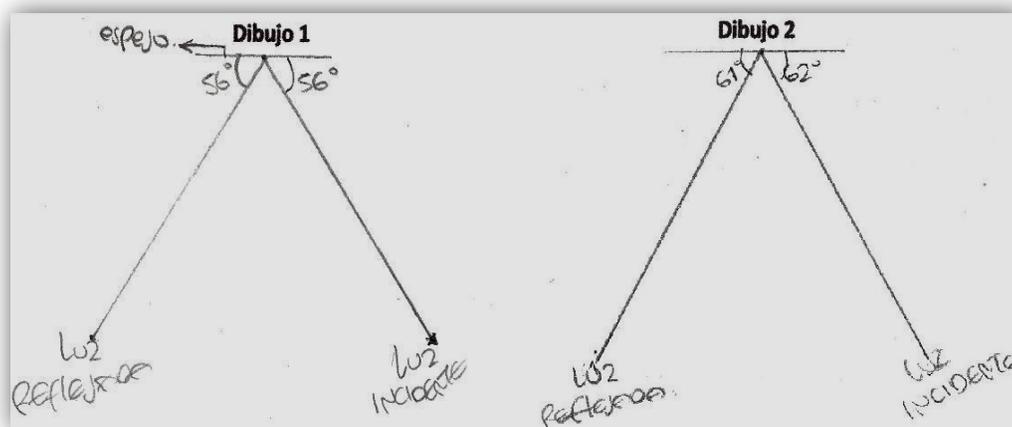
b)

no se utilizó el método del compás; lo hicimos con el transportador, cogimos una hoja de block y un círculo de papel, realizamos el reflejo del laser e hicimos unas puntas sobre la hoja, luego las unimos y estos forman dos ángulos, los medimos con el transportador y así hallamos su medida.

Se hace un proceso de observación, y el método empleado es descrito junto con los materiales utilizados.

c)

A continuación, la estudiante procede a representar los datos obtenidos junto con los materiales importantes como el espejo y el haz de luz. El espejo se representa siempre por una línea recta puesto que las estudiantes comprenden la formación de los ángulos como dados por posiciones relativas de segmentos, por esta razón el espejo resulta representado según la característica que se necesita para el caso.



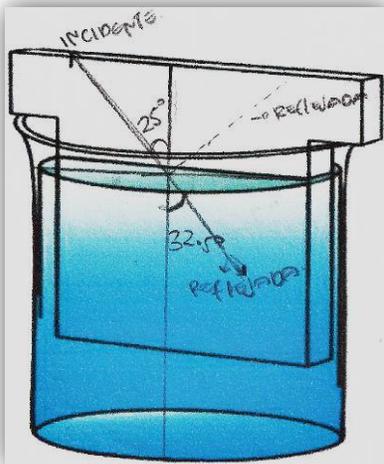
A través de una descripción de lo sucedido, Cristina indica la toma de otras medidas y la razón por la cual en una de estas medidas no se obtuvo lo esperado. Postula la relación entre los ángulos como una ley de igualdad, pero aclara que esta es una probabilidad como tal. Podría interpretarse lo anterior como una necesidad de

realizar más experimentos, con medidas distintas de los ángulos o como una sugerencia por iniciar un proceso demostrativo que permita generalizar la ley para otras situaciones.

* SE TOMARON OTRAS MEDIDAS 61° Y 62°
* SE PUDO LLEGAR A LA CONCLUSIÓN DE QUE EL MOTIVO POR EL CUAL LOS ÁNGULOS NO OIERON IGUALES FUE POR ERRORES AL TOMAR LAS MEDIDAS.
* MUY POSIBLEMENTE TODAS LA MEDIDAS QUE SE TOMEN LOS DOS ÁNGULOS (Luz INCI-DENTE, Y Luz REFLEJADA) VAN A SER IGUALES.

Experimento 2. Refracción

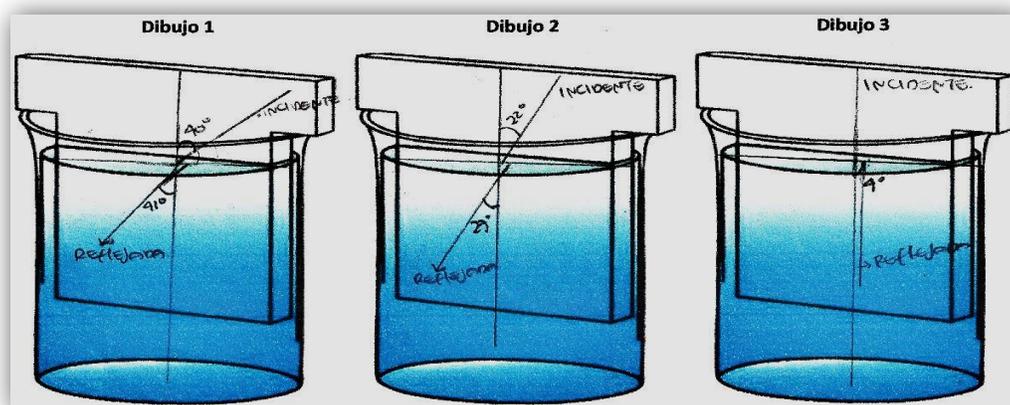
a)



En la gráfica se muestran los aspectos identificados para el haz de luz: haz incidente, haz reflejado y haz refractado en el agua, sin embargo, éste último también es considerado un rayo reflejado. Se identifica y representa el ángulo de incidencia y de refracción.

b)

A continuación se analizan los diferentes valores de los ángulos para tratar de formular una relación entre el ángulo de incidencia y de refracción, la deducción es que la relación entre estos ángulos no es una relación de igualdad. Cristina a diferencia de las demás estudiantes muestra una dificultad al representar. Podría considerarse que Cristina plantea no una desviación del rayo sino una división del mismo, pero en la tercera representación muestra como grafica un ángulo sin tener en consideración la definición de ángulo, ¿esto es manifestación de no identificar los ángulos o de no conocer correctamente la definición de ángulo?



Algo que no se plasma en el instrumento es el trabajo de indagación de la estudiante para dar certeza frente a la ley de refracción: ¿Deben tomarse más medidas? ¿Debe iniciarse una demostración de orden matemático?

© Sistematización de la actividad experimental: Reflexión y refracción⁴⁶

Casos	Natalia	Marcela	Cristina	Asertos Δ
Acciones				
Medir Δ	Ángulo de incidencia- ángulo de reflexión.	Ángulo de incidencia- ángulo de reflexión. Los ángulos medidos son diferentes a los de los otros casos.	Ángulo de incidencia- ángulo de reflexión.	La asignación de valores difiere de la persona que mide. Medir los ángulos de incidencia y de reflexión requiere comparar los grados de un transportador con dichos ángulos.
	Ángulo de incidencia- ángulo de refracción- ángulo de reflexión.	Ángulo de incidencia- ángulo de refracción.	Ángulo de incidencia- <i>ángulo de refracción.</i>	La asignación de valores es la misma para los diferentes casos y el ángulo de incidencia difiere del ángulo de refracción medido.
Manipular Δ	Transportador, marcadores, hojas, círculo de icopor, espejo, láser.	Transportador, lápiz, hojas, espejo, láser.	Transportador, marcadores, hojas, círculo de icopor, espejo, láser.	Los casos manipulan diversos materiales que viabilizan la deducción de la relación entre el ángulo de incidencia y el de reflexión.
	Transportador, lápiz, plantilla de icopor, frasco con agua, láser.	Transportador, lápiz, plantilla de icopor, frasco con agua, láser.	Transportador, lápiz, plantilla de icopor, frasco con agua, láser.	Los casos manipulan diversos materiales que viabilizan la deducción de la relación entre el ángulo de incidencia y el de refracción.
Diseñar métodos de	Medición de ángulos de incidencia y de reflexión.	Medición de ángulos de incidencia y de reflexión.	Medición de ángulos de incidencia y de reflexión.	Se planean distintos métodos de medición que obedecen a

⁴⁶ Las tonalidades del color verde indican el análisis de un experimento en específico contenido en los instrumentos anteriores, así:

- ✓ El verde claro se relaciona con el experimento número uno.
- ✓ El verde intermedio con el experimento número dos.
- ✓ El verde oscuro con el experimento número tres.

medición Δ				los instrumentos comúnmente conocidos para la medición de ángulos. Se opta por un método que permite una medición rápida de los ángulos frente a la dificultad de utilizar un compás.
	Medición de ángulos de incidencia y de refracción.	Medición de ángulos de incidencia y de refracción.	Medición de ángulos de incidencia y de refracción.	El método utilizado obedece al mismo método para medir ángulos de reflexión, no obstante, la presencia del agua dificulta las mediciones pero es prontamente solucionada por las estudiantes.
Representar Δ	Espejo, haz incidente, haz reflejado, ángulo de incidencia, ángulo de reflexión, medidas obtenidas.	Espejo, haz incidente, haz reflejado, ángulo de incidencia, ángulo de reflexión, medidas obtenidas.	Espejo, haz incidente, haz reflejado, ángulo de incidencia, ángulo de reflexión, medidas obtenidas.	Las representaciones obedecen a observaciones conjuntas y responden a lo sugerido en el instrumento, es decir, las representaciones pueden ser mediadas pedagógicamente.
	Haz incidente, haz reflejado, haz refractado, ángulo de incidencia, ángulo de refracción, medidas obtenidas, medio de refracción (agua).	Haz incidente, haz reflejado, división del haz refractado, ángulo de incidencia, ángulo de reflexión, ángulo de refracción, medidas obtenidas, medio de refracción (agua).	Haz incidente, haz reflejado, haz refractado, ángulo de incidencia, ángulo de refracción, medidas obtenidas, medio de refracción (agua)- vértice de ángulos no coincidente.	Las representaciones también son mediadas por el instrumento. Dos de los casos muestran claridad conceptual frente a la noción de ángulos y los ángulos considerados.
Observar Δ	Formación de ángulos por la reflexión del láser en el espejo.	Formación de ángulos por la reflexión del láser en el espejo.	Formación de ángulos por la reflexión del láser en el espejo.	Los ángulos son observados gracias a la adecuada disposición del espejo y el rayo láser. Se compara los ángulos.
	Formación de ángulos por la reflexión y refracción del láser en el agua.	Formación de ángulos por la reflexión y refracción del láser en el agua.	Formación de ángulos por la reflexión y refracción del láser en el agua.	Resulta un tanto complejo para las estudiantes considerar la superficie del agua como un medio que consiente un ángulo diferente al de incidencia del rayo con la normal.

Identificar atributos Δ	Ángulo de incidencia- ángulo de reflexión- haz incidente- haz reflejado.	Ángulo de incidencia- ángulo de reflexión- haz incidente- haz reflejado.	Ángulo de incidencia- ángulo de reflexión- haz incidente- haz reflejado.	Los atributos sugeridos son identificados claramente.
	Ángulo de incidencia- ángulo de reflexión- ángulo de refracción- haz incidente- haz reflejado- haz refractado.	Ángulo de incidencia- ángulo de reflexión- ángulo de refracción- haz incidente- haz reflejado- división del haz refractado en el agua.	Ángulo de incidencia- ángulo de reflexión- ángulo de refracción- haz incidente- haz reflejado- haz refractado.	Los atributos sugeridos no son identificados claramente en las representaciones pues depende del referente mental que se hace de este atributo. Si este referente no es claro, las sugerencias de los investigadores se hacen triviales.
Relacionar variables Δ	Ángulo de incidencia R ángulo de reflexión: Relación de igualdad.	Ángulo de incidencia R ángulo de reflexión: Relación de igualdad.	Ángulo de incidencia R ángulo de reflexión: Relación de igualdad.	Se establece, a partir de un consenso, la relación de igualdad entre el ángulo de incidencia y el de refracción.
	Ángulo de incidencia R ángulo de refracción: No es una relación de igualdad.	Ángulo de incidencia R ángulo de refracción: No es una relación de igualdad.	Ángulo de incidencia R ángulo de refracción: No es una relación de igualdad.	Al relacionar los ángulos se desecha la relación de igualdad pero no se postula otra, no obstante, uno de los casos sugiere la planeación de un método para encontrar una relación que describa los resultados.
Deducir leyes Δ			<i>Muy posiblemente para todas las medidas de los ángulos (luz incidente- luz reflejada) van a ser iguales.</i>	No existe una respuesta concreta que indique la deducción de una ley. No obstante, Cristina se aproxima a la formulación de una ley. Los otros dos casos no lo hacen pues el instrumento no es explícito al exigir esta acción.
			Para dar certeza frente a la ley de refracción postula ¿Deben tomarse más medidas? ¿Debe iniciarse una demostración de orden matemático?	Para la refracción de la luz se considera necesario introducir alguna herramienta matemática para que los resultados experimentales puedan relacionarse y

				expresarse en forma de ley, esto es algo que no posibilita el instrumento.
Confrontar ideas Δ	Estrategias de medición y los análisis de los resultados experimentales.	Estrategias de medición y los análisis de los resultados experimentales.	Estrategias de medición y los análisis de los resultados experimentales.	Las ideas frente a la planeación de estrategias y la deducción de relaciones resultan de la confrontación de ideas por parte de las estudiantes.
	Estrategias de medición y los análisis de los resultados experimentales.	Estrategias de medición y los análisis de los resultados experimentales.	Estrategias de medición y los análisis de los resultados experimentales.	Frente a las inquietudes generadas por la deducción de la relación entre los ángulos de incidencia y refracción, la falta de ideas al respecto y la falta de tiempo para más experimentos, se enseñó en la no confrontación de las mismas.

8.2 Actividad experimental: El Color

Preguntas

Experimento 1:

- a) ¿Cuántos colores puedes apreciar en la fotografía sin ser iluminada por la luz de color? Nómbralos.
- b) ¿Qué colores percibes en la fotografía cuando se ilumina por separado con luz azul, verde y roja?
- c) ¿Qué sucede cuando se ilumina la fotografía con la luz roja, azul y verde simultáneamente? Explica.
- d) Para el *procedimiento 3* (Ver anexo 5) ¿Qué colores observas en las intersecciones de las luces de color? Describe.

Experimento 2:

- a) ¿Qué colores podemos formar con la combinación de los papeles transparentes entre dos de ellos y los tres a la vez, ubicados sobre el papel blanco?
- b) Confronta los resultados obtenidos en el experimento 1 y 2. Establece algunas diferencias o similitudes.
- c) Teniendo en cuenta todas las observaciones hechas, ¿qué podrías decir del origen del color y el color de las cosas. Explique.

Experimento 3:

- a) ¿Cuántos colores percibes en el arco iris? Haz un dibujo que ilustre la situación
- b) Observa de cerca y detenidamente el arcoíris. ¿Qué observas en los límites de un color y otro?
- c) ¿Qué orden tienen los colores del arco iris y por qué están distribuidos de esa manera?

- d) Pídele a tu compañera que sostenga la botella y desempeñe el papel que estabas haciendo. Camina alrededor de la lluvia, salta, agáchate y determina en que posiciones puedes ver el arco iris. ¿Hay alguna relación entre la posición de observación y la formación del arco iris? Explica (ayúdate de un dibujo).
- e) ¿Qué sucede entre la interacción de las gotas de agua y la luz, para que se forme el arco iris? Ten en cuenta lo que aprendiste sobre reflexión y refracción. Realiza una representación de cómo crees que llega la luz sobre una gota de agua.

Natalia:

Experimento 1

a)

Azul, verde, café, gris, blanco, amarillo, negro, rojo, lila, naranjado, beige, rosado, Dorado. La mayoría de colores están en diferentes tonalidades

La estudiante manipula y observa la fotografía con luz natural para identificar trece colores, haciendo la claridad que para la mayoría de estos colores existen otros parecidos con otras tonalidades, es así que, dado un color amarillo, puede existir un amarillo claro o oscuro, por ejemplo. Se compara el número de colores con sus diferentes tonalidades.

b)

Azul: los colores se perciben más opacos, los colores claros toman el color azul claro, el amarillo se torna verde, el azul que antes era oscuro ahora fue más claro y en general todos los azules se ven más brillantes.

Verde: los colores diferentes a él se ven más desiluminados, con poco brillo, les cambia su tonalidad y se convierte en colores mucho más apagados, el color amarillo nuevamente se convierte en verde, el verde oscuro se ve más oscuro y los colores verdes en general toman un color más brillante.

Rojos: los colores diferentes al rojo pierden mucho su naturaleza, el color rosado se confunde con el resto y el color rosa sobresale tanto y tan iluminado que se puede llegar a percibir el color blanco.

La estudiante manipula las luces de color y la fotografía para observar los cambios de color en ésta última al ser iluminada con las luces de color e identificar, por ejemplo, que con la luz azul los colores de la fotografía se perciben más opacos, los colores claros, como el blanco, toman el color azul, el amarillo se torna verde, el azul oscuro en claro y todo azul (de cualquier tipo) se ve con un color más brillante. De igual forma, identifica los colores de la fotografía cuando se proyecta la luz de color verde y roja. Generaliza que el color de la fotografía que tenga la misma tonalidad que la luz de color utilizada se ve más brillante, es el caso para los colores azul y verde.

c)

Los colores de la fotografía no cambian, yo diría que la intersección no permite cambiar los colores ya que se conservan los colores por la iluminación que da cada uno.

Observa la fotografía con la luz de los tres colores e identifica la *conservación* de los colores en la intersección de las diferentes luces. La *iluminación* que da la combinación de las tres luces evita que los colores de la fotografía se alteren.

d)

En la intersección del verde y el azul se ve un verde mucho más claro (difuminado), entre el rojo y el azul se forma un rosado, el verde y el rojo forman un amarillo y la intersección entre los tres queda un color completo/claro, se podría decir que es el color de la fuente de la luz.

Identifica el color entre las regiones de intersección de las luces de color en un papel blanco, identificando, por ejemplo, que en la intersección de las tres luces, el color resultante corresponde al de la fuente de luz y entre el intercepto de la luz roja y azul se observa un rosado⁴⁷.

Experimento 2

a)

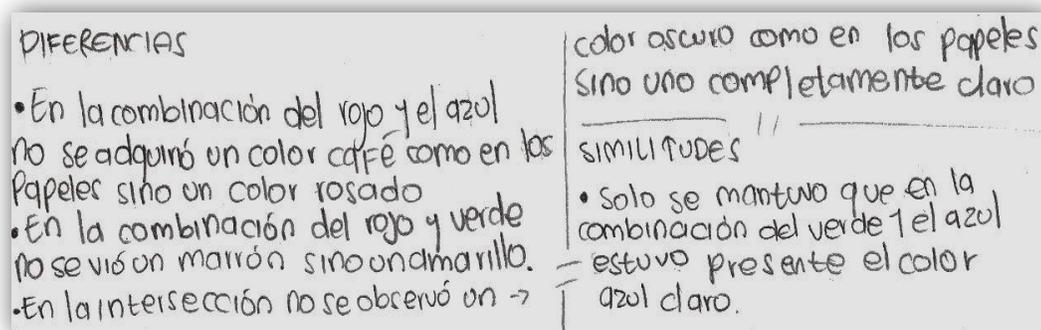
Los colores que se forman varían en cuanto a los colores que utilizamos y la forma en que los posicionamos el:

Verde y azul: Da un azul claro	La unión de los tres colores depende de la posición que tengan el:
Rojo y azul: café oscuro	azul sobre rojo y verde = azul oscuro
Rojo y verde: marrón (café claro)	rojo sobre verde y azul = violeta
	Verde sobre azul y rojo = verde oscuro

⁴⁷ Es importante decir que las fuentes de luz son luces blancas a las cuales se les antepone un papel de color transparente para dar origen a una luz de color.

Manipula los diferentes papeles de color y observa el resultado de sus combinaciones, identificando y describiendo así seis colores: azul claro, café oscuro, marrón (café claro), azul oscuro, vinotinto, verde oscuro. Establece una relación entre los colores utilizados y el orden en que se mezclan con el color resultante.

b)



Se confrontan los resultados de la intersección de las luces de color en el papel blanco del experimento 1 y la combinación de los papeles de color del experimento 2, identificando que en la combinación o intersección de dos de los mismos colores para ambos experimentos, los resultados fueron distintos, a excepción de la unión de los colores verde y azul cuyo color resultante no varió, sin embargo, hay un error en esta observación, pues si hay una diferencia sutil, ya que en el experimento 1 se obtiene es un color verde claro y no un azul claro. Lo anterior viene dado por las intenciones del caso al responder las preguntas del instrumento, es decir las respuestas están mediadas por las experiencias de cada sujeto y por los objetivos que posee al participar en esta investigación, es decir, el objetivo de la estudiante no es plasmar fielmente su opinión en las observaciones. Se compara la intersección de las tres luces de color con la combinación de los tres papeles de color obteniendo, para el primer caso, un color claro y colores oscuros para el segundo.

c)

el origen del color depende de una serie de combinaciones y del entorno en el que están, el color de los objetos se podría determinar por el tipo de colores que hayan alrededor de ellos, ya que estos al interactuar sobre estos cambian la apariencia del color.

Establece una relación de dependencia del origen del color con las combinaciones que se dan entre estos y el entorno en el que se encuentran. Identifica el color de los objetos como aquel que viene determinado por la interacción de los colores que existen a su alrededor. Deduce una ley según la cual los colores que hay en el entorno al interactuar con los colores de los objetos cambian su apariencia.

Experimento 3

a)



Esta representación da cuenta de la posición del arcoíris. La observación del arcoíris se hace de manera conjunta con otra estudiante. No dice la cantidad de colores, pero hace una representación donde muestra siete colores representativos: rojo, naranja, amarillo, verde, azul oscuro, morado y azul claro, y una posición

vertical con una curva que se prolonga en la parte inferior del arcoíris. Se da un orden a los colores: el rojo y el azul claro se ubican en los extremos.

b)

observo que comienza con mucha más intensidad y a lo largo del color se va difuminando hasta desaparecer y continuar con otro un poco más claro que el anterior

Observa un orden de los colores e identifica una intensidad asociada a cada uno de ellos: el rojo es el más intenso y el azul el menos, para el caso. Existe un límite entre los colores y está dado por la difuminación o degradación total de un color y la continuación de otro con menor intensidad.

c)

el orden de los colores va desde el más intenso o fuerte hasta el más débil o claro que sería un azul muy suave. Estaban distribuidos hacia mi izquierda el rojo, luego naranja, amarillo, un azul fuerte, un morado un poco más claro y por último el azul muy muy claro.

Identifica el orden de los colores de acuerdo a su intensidad o fuerza, luego describe la distribución de los colores.

d)

en ambas posiciones veía que el arcoíris estaba formado dependiendo de la forma que tuviera el agua.

AGUA VERTICAL:



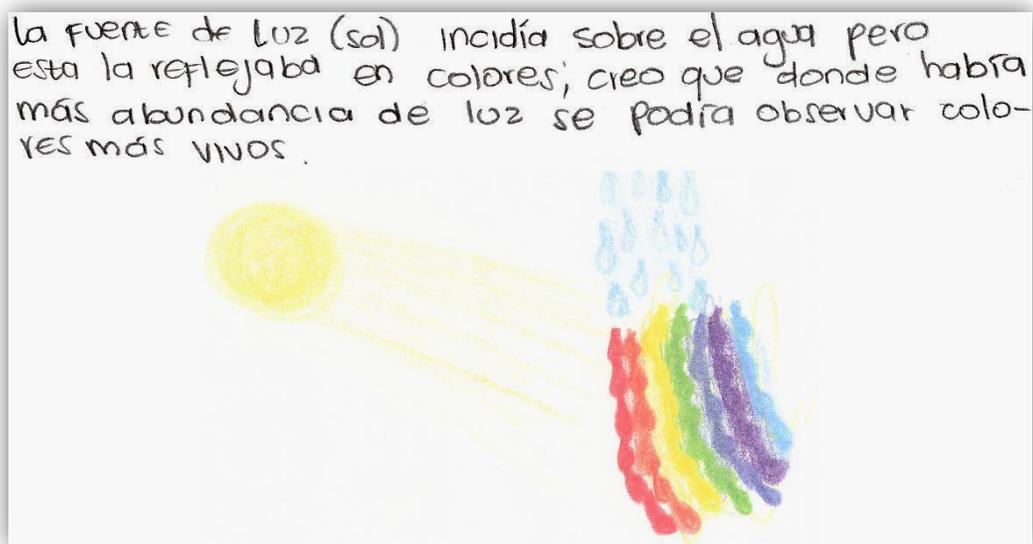
El AGUA AL SER MOVIDA POR EL VIENTO TOMABA ESA POSICIÓN

CORRIENTE DE AIRE



Según la estudiante, la variación en la forma del arcoíris depende de la forma que adquiere el agua cuando esta desciende en forma de lluvia. En una de las representaciones del arcoíris se observa su forma vertical debido a la forma vertical de descenso del agua, y otro arcoíris ligeramente inclinado y curvo hacia la derecha en su parte inferior debido al desplazamiento del agua por causa de la corriente de aire.

e)



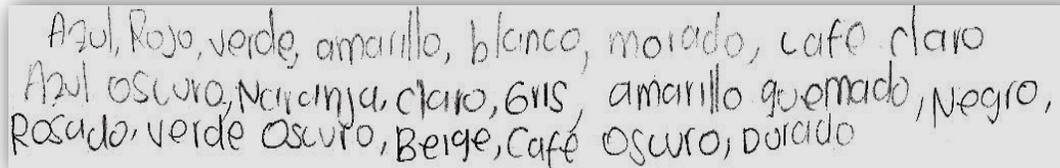
Es importante anotar que en algunos momentos de la realización del experimento las nubes se interponían entre el sol y sus observadores, es por ello que la estudiante se refiere a la abundancia de luz cuando hay o no nubes interpuestas, siendo más abundante la luz en ausencia de nubes. Cuando sucedía esto último la estudiante percibía mejor los colores a lo que ella se refiere “más vivos”. Por otro lado, la interacción entre la luz del sol y el agua permite el reflejo de los colores, sin embargo no es explícita la manera cómo se da dicha interacción.

En la representación se evidencian gotas de agua que al interactuar con los rayos del sol descienden en gotas de color.

Marcela:

Experimento 1

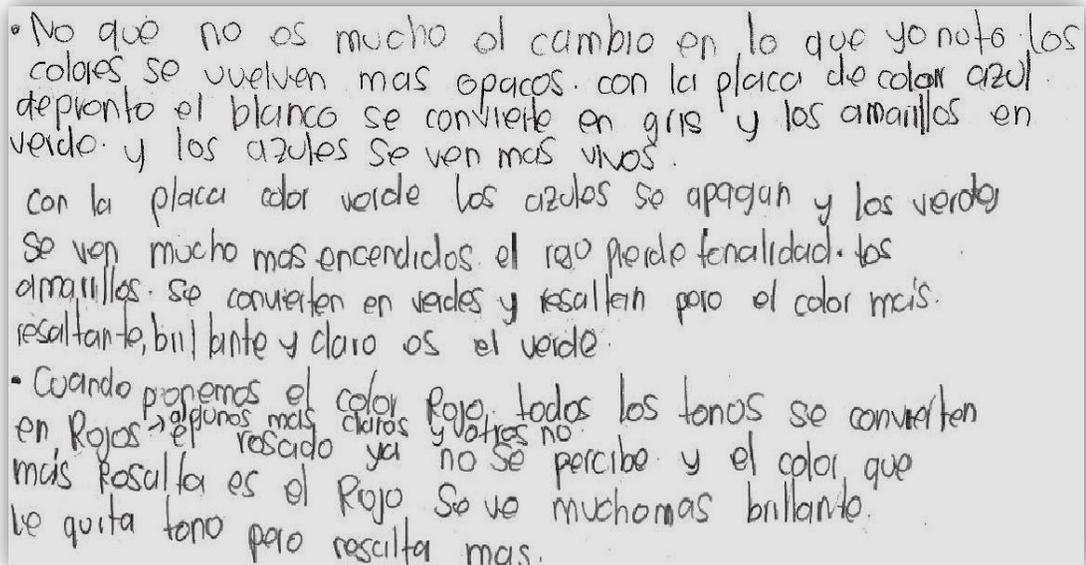
a)



Azul, Rojo, verde, amarillo, blanco, morado, café claro
Azul oscuro, Naranja, claro, Gris, amarillo quemado, Negro,
Rosado, verde oscuro, Beige, Café oscuro, Dorado

La estudiante manipula y observa la fotografía con luz natural identificando diecisiete colores.

b)



• No que no es mucho el cambio en lo que yo noto. Los colores se vuelven más opacos. con la placa de color azul de pronto el blanco se convierte en gris y los amarillos en verde. y los azules se ven más vivos.
con la placa color verde los azules se apagan y los verdes se ven mucho más encendidos. el rojo pierde finalidad. los amarillos se convierten en verdes y resaltan pero el color más resaltante, brillante y claro es el verde.
• Cuando ponemos el color Rojo, todos los tonos se convierten en Rojos ^{algunos más claros y otros no} el resaca ya no se percibe y el color que más resalta es el Rojo. Se ve muchomás brillante. le quita tono pero resalta más.

Manipula las luces de color y la fotografía para observar los cambios de color en ésta última cuando se ilumina con las luces de color e identifica, por ejemplo, que con la placa de color azul (luz de color azul proyectada sobre la fotografía), el color blanco se convierte en gris, los amarillos en verde y los azules se ven más vivos. De igual forma identifica los colores de la fotografía en su *encendido*, *tonalidad*, *claridad* y *brillo* cuando se proyecta la luz de color verde y roja. Generaliza que los

colores de la fotografía siempre se van a ver opacos al ser proyectados por cualquier luz de color. También identifica que los colores azules, verdes y rojos de la fotografía se ven más brillantes cuando se iluminan con las luces del mismo color.

c)

• El brillo se rebaja un poco pero todos los colores se perciben tal y como se ven en la original. Los colores siguen siendo resultantes.
No se observa un cambio significativo.

Al observar la fotografía con las tres luces de color la estudiante identifica y concluye que los colores originales se perciben sin modificación significativa. Solo menciona un cambio pequeño en el brillo.

d)

• En la intersección de los tres colores se observa un color como naranja; entre el Rojo y el Azul se ve un color como Rosado.

En la intersección de las tres luces de color que son proyectadas sobre un papel blanco se identifica el color naranja, y entre la región iluminada por las luces roja y azul identifica un color rosado. No identifica el resto de las intersecciones.

Experimento 2

a)

• En la combinación de los colores verde y Rojo se observa un color café oscuro. Rojo y verde el café se observa más claro.
• La combinación de verde azul se observa un verde agua, aunque creo que también influye según el grosor de papel.
• La combinación de Azul y Rojo se ve un verde oscuro, al sobreponer el color azul sobre el Rojo el verde se vuelve más intenso.
El color de los tres colores juntos no logro describirlos bien, pero el color se asemeja al café oscuro dando la tonalidad más clara o más oscura según el papel que quede por encima así: el rojo lo hace ver un poco más claro y el azul más oscuro, cuando el verde está por encima el color es más estable.

Manipula los diferentes papeles de color y observa las combinaciones entre ellos identificando los colores resultantes de acuerdo a la posición de los papeles. Si el verde está por encima del rojo resulta un café oscuro y al contrario un café claro, por ejemplo. La estudiante establece una dependencia en cuanto al resultado del color: el color resultante depende del grosor de los papeles de color. Identifica claridad, oscuridad, intensidad y estabilidad del color. Generaliza para la combinación de los tres papeles de color que si el papel de color verde esta por "encima" de los demás, el color es más estable.

Cristina:

Experimento 1

a)

Observo Rojo, blanco, azul (oscuro y claro), verde, café, gris, negro, morado, amarillo, violeta, naranja claro, rosa, amarillo oscuro.

Manipula la fotografía observándola con la luz del sol para identificar catorce colores.

b)

UTILIZANDO AZUL: PUTO QUE EL AMARILLO SE VE VERDE, EL BLANCO COMO GRIS, EL AZUL SE PONE UN POCO METÁLICO, OTROS COLORES COMO EL ROJO SE OPACAN UN POCO. (PIERDEN EL BRILLO)

UTILIZANDO EL VERDE: EL AMARILLO SE VE VERDE, EL VERDE SE INTENSIFICA, COLORES COMO EL ROSADO, MORADO, AZUL, ROJO, PIERDEN EL BRILLO, LA INTENSIDAD DEL TONO. EL BLANCO LE DA UN TONO COMO DE VERDE CLARO.

UTILIZANDO EL ROJO: LA IMAGEN TOMA UN TONO ROJO QUE SOBRESALE, A LOS COLORES COMO ROJO LE QUITA EL COLOR Y LO HACE SOBRESALIR DE LOS DEMÁS. (COMO OJOS MÁS BRILLO). AL BLANCO LE DA UN TONO ROJO CLARO.

"PODRIA DECIR QUE C/O DE LOS COLORES HACE QUE SU TONO SOBRESALE DE LOS DEMÁS, POR EJ: EL ROJO HACE QUE SOBRESALE DE ALGUNA MANERA LOS TONOS ROJOS"

La estudiante manipula las luces de color y la fotografía para observar los cambios de color cuando son iluminados con las luces de color e identificar y describir que con la luz roja, por ejemplo, los colores rojos de la fotografía toman un tono rojo que sobresale de los demás. De igual manera identifica los colores de la fotografía cuando se proyecta la luz de color azul y verde. Generaliza diciendo que el color de una luz que se proyecte en la fotografía, hace que el color, correspondiente a esa luz en la fotografía, sobresalga entre los demás.

c)

NO SE IDENTIFICA UN COLOR ES SI, PUTO QUE SE OPACAN LOS COLORES, Y COMO QUE NINGUNO SOBRESALE MÁS QUE EL OTRO.

La estudiante manipula las tres luces de color para proyectarlas de manera simultánea en la fotografía e identificar que los colores de la fotografía no sobresalen entre los demás, aunque se aprecian más opacos.

d)

en la intersección entre el azul y el rojo se ve como morado clarito, entre el azul y el verde se visualiza como verde agua, entre el verde y el rojo un amarillo oscuro casi negro, y en la intersección de los 3 veo un color claro, como amarillo pero muy muy clarito.

Identifica la existencia de colores cuando se intersecan dos y tres luces en el papel blanco, a la vez describe claramente los colores que se forman en la intersección, por ejemplo entre rojo y el azul observa morado claro, entre azul y verde observa verde agua y en la intercepción de las tres luces colores se observa un amarillo claro.

Experimento 2

a)

La combinación de rojo sobre verde forma café, pero si se ponen al contrario, café oscuro.
El rojo sobre el azul forma un café pero con un tono más rojo, pero al contrario forma melado (metálico).
El verde sobre el azul forma un verde oscuro y al contrario se identifica como verde azul. Los 3 papeles colocados así: verde, azul, y rojo forma café medio (ni muy oscuro, ni muy claro).
Ubicando azul, verde y rojo. forma como café tirando más a rojo.
Ubicando rojo, azul y verde. forma como un tono verde oscuro.
Ubicando rojo, verde y azul forma un tono azul oscuro oscuro con "metálico"
Aunque se utilizan los mismos 3 colores, se forman colores diferentes.

Manipula los diferentes papeles transparentes de color y observa las diferentes combinaciones, estableciendo una relación de dependencia entre la posición de los papeles de color y el color resultante, por ejemplo, en la combinación de rojo sobre verde identifica un café, pero al contrario, es decir verde sobre rojo, identifica un café con tono rojo; de manera muy similar hace lo mismo con las demás combinaciones. Deduce que si se utilizan los mismos tres colores para sobreponerlos de manera diferente unos sobre otros (azul, rojo y verde) siempre se forman colores diferentes.

b)

DIFERENCIAS	EXPERIMENTO	EXPERIMENTO
ROJO Y VERDE	1º AMARILLO.	2º CAFÉ
ROJO Y AZUL	1º MORADO.	2º CAFÉ/ROJO.
VERDE Y AZUL	1º VERDE CLARO	2º VERDE OSCURO
LOS 3 COLORES	1º DIFERENTES TONOS DE CAFÉ PERO OSCURO.	2º UN COLOR COMO AMARILLO, PERO CLARO.

Se confrontan los resultados de la combinación de los colores del experimento 1 y 2, identificando los colores conformados para cada experimento, por ejemplo, para la luz de color roja y verde obtuvo un color amarillo, diferente al color café formado por la combinación de los papeles de color rojo y verde. Estas diferencias se mantuvieron para las demás combinaciones, sin embargo, falta claridad en las observaciones, pues en la intersección de las tres luces de color se obtiene un color claro y no oscuro. En la respuesta de la estudiante se evidencia la intención de sistematizar la información con el objetivo de tener más claridad en las conclusiones.

c)

PUEDA SER UNA INTERACCIÓN DE LUCES, LAS QUE PRODUCE QUE EL COLOR SE FORME, CUANDO LAS LUCES ESTÁN REFLECTANDO DIRECTAMENTE HACER QUE EL COLOR SE VEA MÁS SOBRESALIENTE Y CON MENOS LUZ SE REBAJA LA INTENSIDAD DEL COLOR. DEPORQUE LOS COLORES QUE VEMOS EN LOS OBJETOS SON DIFERENTES A LOS QUE TIENEN REAL/ES, PERO LA ACCIÓN DE LUZ SOBRE ELLOS LOS HACER VER TAL COMO LOS VEMOS NOSOTROS.

El color se forma debido a la interacción de la luz con los objetos, si la luz se refleja directamente (luz de un color), ese color de los objetos sobresale, y con menos luz (mezcla de luces) la intensidad del color rebaja. Los objetos tienen colores diferentes a los que se ven realmente. Identifica el color de los objetos y confronta el color real de los objetos con el que se ve con la ayuda de la luz. La acción de la luz sobre los objetos hace ver los colores de los objetos tal como los ojos lo perciben.

Experimento 3

a)



Describe los colores rojo, verde, amarillo, azul y morado; hace una representación del arcoíris pintando los cinco colores en un orden y en una forma recta e inclinada con iguales dimensiones en su longitud.

b)

DOMDE EMPLEZA CADA COLOR SE VE MAS OSCURO, LUEGO COMO QUE TIENE UNA PEQUEÑA MEZCLA CON EL SIGUIENTE; FORMAMOS UNA DIFUMINACION O UN NUEVO COLOR, EJ: ENTRE EL VERDE Y AMARILLO SE FORMA UN VERDE MAS CLARO.

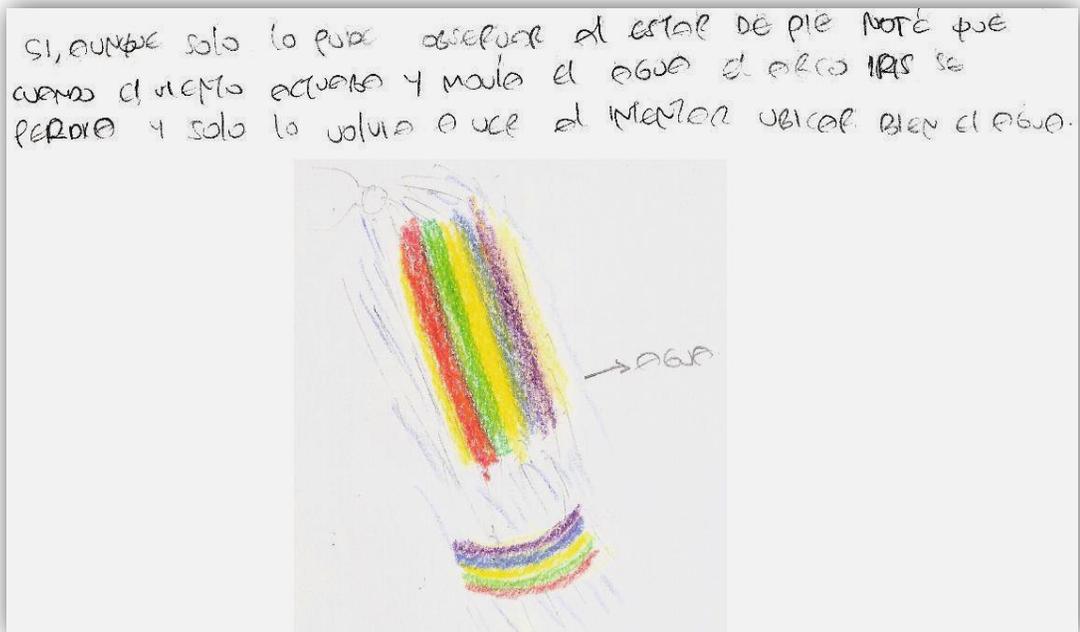
No distingue un límite entre los colores pues la distribución está dada por la difuminación de un color a otro. Hace una descripción de la distribución de los colores: donde empieza cada color se ve más oscuro y luego se mezcla con el siguiente color.

c)

ROJO, VERDE, AMARILLO UN POCO AZUL, MORADO.
POR QUE LA FORMA COMO ACTUA EL SOL HECHO ELLOS, HACEN QUE SE FORMEN ESTOS COLORES Y EN ESTE ORDEN. EL YO ESTAR DE PIE OBSERVANDO EL AGUA VELO QUE AL LADO IZQUIERDO EMPEZABA UN COLOR ROJO, LUEGO VERDE, SIGUIENDO DE UN AMARILLO, Y UN AZUL Y MORADO QUE (ES) NO PODIA DIFERENCIAR.

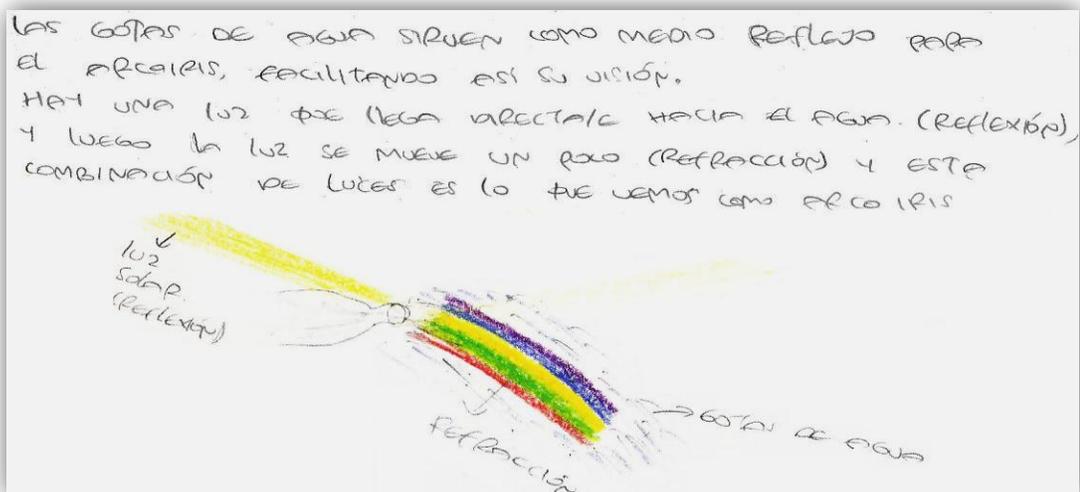
Describe el orden de los colores e identifica cinco de ellos. Establece una relación de dependencia entre la formación, el orden de los colores y el papel del sol.

d)



Para la estudiante, la formación del arcoíris depende de la ubicación del agua, identificando una constante en posición del observador: estando de pie. En la representación se observan dos arcoíris, uno diagonal y recto, y otro horizontal pero en forma de curva; el primer arcoíris se observa cuando el viento no actúa, y el segundo cuando el viento hace presencia ubicando el agua en otra posición.

e)



La estudiante establece una relación de dependencia entre las gotas de agua y la formación del arcoíris con la visión: las gotas de agua sirven como medio de reflejo para el arcoíris, facilitando así su visión. Ver el arcoíris depende del reflejo de éste en las gotas de agua. Identifica una relación entre la reflexión y la refracción de la luz en el agua: la luz que llega directamente hacia el agua es la reflexión y el movimiento de la luz en ellas es la refracción, la combinación de las luces, dadas por la reflexión y refracción, es el arcoíris que vemos.

© Sistematización de la actividad experimental: El Color

Casos		Natalia	Marcela	Cristina	Asertos Δ
Acciones					
	Manipular Δ	Fotografía- luz de color- papel blanco.	Fotografía- luz de color- papel blanco.	Fotografía- luz de color- papel blanco.	Se manipulan distintos materiales con la intención de dar respuestas a las preguntas.
		Papel transparente de color.	Papel transparente de color.	Papel transparente de color.	Se manipula el papel para combinar colores con la intención de dar respuestas a las preguntas.
Botella con agua- lápiz de color.		NO APLICA	Botella con agua- lápiz de color.	Se manipulan los materiales con la intención de formar el arcoíris. En la experimentación surgen nuevas formas de manipular los objetos para comprender la formación del arco iris.	
Observar Δ	Fotografía- colores <i>originales</i> -cambios de color- colores de la fotografía y del papel blanco cuando son iluminados por luces de diferente color.	Fotografía- colores <i>originales</i> -cambios de color- colores de la fotografía y del papel blanco cuando son iluminados por luces de diferente color.	Fotografía- colores <i>originales</i> -cambios de color- colores en la fotografía y del papel blanco cuando son iluminados por luces de diferente color.	El proceso de observación es clave en el experimento. Este exige al sujeto detenerse en una observación profunda e intencionada.	
	Combinación de los papeles de color- resultado del experimento uno.	Combinación de los papeles de color.	Combinación de los papeles de color- resultado del experimento uno.	La observación se plantea como una forma de asumir resultados de experimentos planeados.	
	Arcoíris- forma del arcoíris- orden de los colores- agua- aire- sol.	NO APLICA	Arcoíris- forma del arcoíris- orden de los colores- agua- viento- sol.	La observación es un factor que puede determinar los resultados de los experimentos.	
Identificar atributos Δ	Trece colores en la fotografía- tonalidad, opacamiento, claridad, oscuridad, brillo, naturaleza iluminación y difuminado del color- conservación de los colores- Colores y regiones en una fotografía y en un papel blanco	Diecisiete colores en la fotografía- opacamiento, encendido, tonalidad, brillo y claridad del color- Colores y regiones en una fotografía y en un papel blanco cuando se iluminan con las luces de color.	Catorce colores en la fotografía- tonalidad, opacamiento, intensidad, claridad y brillo del color- Colores y regiones en una fotografía y en un papel blanco cuando se iluminan con las luces de color.	Algunos atributos identificados del fenómeno en cuestión coinciden en las estudiantes, no obstante, están mediados por intenciones, por tal razón no se identifican atributos como peso de la fotografía, grosor, energía eléctrica, o que el animal	

	cuando se iluminan con las luces de color.			de la foto es un loro.
	Seis colores de la combinación de los papeles de color- colores oscuros y claros- entorno-interacción- apariencia del color.	Cinco colores de la combinación de los papeles de color- oscuridad, claridad, intensidad y estabilidad del color- grosor del papel.		Algunos atributos identificados del fenómeno en cuestión coinciden en las estudiantes, no obstante, están mediados por intenciones, por tal razón no se identifican atributos sobre la calidad del papel: elasticidad, durabilidad, material, etc.
Describir Δ	Siete colores del arcoíris en un orden determinado- el rojo y el azul claro se ubican en los extremos del arcoíris- posición vertical del arcoíris con una curva que se prolonga en la parte inferior- intensidad (fuerza), difuminación, claridad y distribución de los colores- forma del agua- corriente de aire- gotas de agua- reflejo- cantidad de luz- rayos de luz.	NO APLICA	Cinco colores en el arcoíris en un orden determinado- el rojo y el morado se ubican en los extremos del arcoíris- posición diagonal y recta del arcoíris- dimensiones del arcoíris- oscuridad, claridad y difuminación de los colores del arcoíris- constante de la posición de observación del observador- reflexión y refracción de la luz.	Algunos atributos identificados del fenómeno en cuestión coinciden en las estudiantes, no obstante, están mediados por intenciones, por tal razón no se identifican atributos sobre la hora del día, la pureza del agua, el sitio de experimentación, etc.
	Colores de la fotografía: Azul, verde, café, gris, blanco, amarillo, negro, rojo, lila, naranjado, beige, rosado y dorado- colores de la fotografía con las luces de color- colores en las intersecciones de las luces de color en un papel blanco: verde claro, rosado, amarillo y color de la fuente (blanco o amarillo claro).	Colores de la fotografía: Azul, rojo, verde, amarillo, blanco, morado, café claro, azul oscuro, naranja claro, gris, amarillo quemado, negro, rosado, verde oscuro, beige, café oscuro, dorado- colores de la fotografía con las luces de color- colores en las intersecciones de las luces de color en un papel blanco: naranja y rosado.	Colores de la fotografía: rojo, blanco, azul oscuro, azul claro, verde, café, negro, morado, amarillo, verde, naranjado claro, rosado, amarillo oscuro- colores de la fotografía con las luces de color- colores en las intersecciones de las luces de color en un papel blanco: morado claro, verde agua, amarillo oscuro (casi naranjado), amarillo muy claro.	La descripción de cualidades de un objeto se va clarificando en la distinción de las cualidades misma.
	Colores resultantes de la combinación de los papeles de color: azul claro, café oscuro, marrón (<i>café claro</i>), azul oscuro, vinotinto, verde oscuro- Posición de los papeles de color.	Colores resultantes de la combinación de los papeles de color: café oscuro, café claro, verde agua, verde oscuro y verde intenso- Posición de los papeles de color.	Colores resultantes de la combinación de los papeles de color: café, café oscuro, café rojizo, morado (metálico), verde oscuro, verde azul, café medio, azul oscuro- Posición de los papeles de color.	El atributo llamado posición de los papeles permite la descripción de los colores resultantes de la combinación de papeles.

	Intensidad y difuminación de los colores del arcoíris en su orden: rojo, naranja, amarillo, azul fuerte, morado claro y azul muy claro- forma del agua- cantidad de luz y colores.	NO APLICA	Colores del arcoíris: rojo, verde, amarillo, azul y morado- distribución de los colores- reflexión y refracción de la luz.	Los atributos difuminación, forma del agua y distribución de los colores son claves para explicar los resultados. A pesar de la sugerencia de usar las nociones de reflexión y refracción para explicar el arcoíris, estas no se hacen presentes, ya sea porque no se ha dado una interiorización de los conceptos o no se identifican elementos relacionales entre las cualidades como la reflexión y refracción de la luz.
Confrontar resultados Δ				No se facilita en el instrumento la confrontación de resultados sobre las luces de color y otra situación.
	Intersección y combinación de los colores en los experimentos uno y dos: Todos los resultados son diferentes.	NO APLICA	Intersección y combinación de los colores en los experimentos uno y dos: Todos los resultados son diferentes- el color real de los objetos y el que vemos con la ayuda de la luz.	Confrontar resultados de dos experimentos de distinta índole, asociados al mismo fenómeno faculta la deducción de leyes y el establecimiento de relaciones entre los atributos.
		NO APLICA		No se facilita en el instrumento la confrontación de resultados sobre el arcoíris y otra situación.
Representar Δ				No se facilita en el instrumento la representación de la luces de color.
				No se facilita en el instrumento la representación de la combinación de papeles de color.
	Arcoíris- orden, forma y colores del arcoíris- corriente de aire- sol- rayos de la luz del sol- gotas de agua- color de las gotas.	NO APLICA	Arcoíris- orden, forma y colores del arcoíris- gotas de agua- luz del sol (reflexión)- refracción.	Las representaciones obedecen a requerimientos del instrumento en tanto que manifiesta algunas de las características que cada caso le atribuye al fenómeno. Por lo anterior, para Natalia el color azul de las gotas de agua se convierten en gotas de color cuando la luz del

				sol entra en contacto con ellas. Mientras que para marcela no se da lo mismo.
				No se facilita en el instrumento la relación de variables entre las luces de color.
Relacionar variables Δ	El color que resulta de la unión de los papeles depende de los colores utilizados y la posición de los mismos- El origen del color depende de una serie de combinaciones entre los colores y del entorno en el que se encuentran- El color de los objetos depende de los colores del entorno que interactúan con ellos.	El color resultante en la combinación de los papeles de color depende del grosor de los mismos.	El color resultante depende de la posición de los papeles de color azul, verde y rojo.	Se establecen distintas relaciones dependiendo de los atributos identificados. Así pues, el color resultante depende de la posición, del grosor del papel, del color utilizado y la posición de los mismos. Esto muestra que iguales resultados pueden explicarse con distintos argumentos dependiendo de las nociones que explore cada caso.
	La forma del arcoíris depende de la forma que tome el agua en su descenso- La forma del agua depende de la corriente de aire- La percepción de los colores del arcoíris depende de la cantidad de luz del sol que cae sobre el agua.	NO APLICA	La forma y el orden de los colores del arcoíris depende de la forma cómo actúa el sol- La formación del arcoíris depende de la ubicación del agua- Ver el arcoíris depende del reflejo de éste en las gotas de agua.	Las relaciones entre los atributos están mediadas por las observaciones de los experimentos, aunque se advierten aspectos comunes, estos obedecen a distintas formas de ver e interpretar el fenómeno.
Deducir leyes Δ	Los colores azules y verdes de la fotografía se ven más brillantes al ser iluminados por luces de estos mismos colores- Los colores de la fotografía se conservan cuando son iluminados por las tres luces de color- Al interceptarse las tres luces de color en el papel blanco, el color resultante es el mismo de la fuente de luz.	Los colores de la fotografía siempre se van a ver opacos al ser proyectados por cualquier luz de color- Los colores azules, verdes y rojos de la fotografía se ven más brillantes cuando se iluminan con las luces del mismo color- Los colores de la fotografía, iluminados simultáneamente por las luces de color, se perciben como los originales.	El color de una luz que se proyecte en la fotografía, hace que el color, correspondiente a esa luz en la fotografía, sobresalga entre los demás- Con las tres luces de color proyectadas simultáneamente en la fotografía, sus colores se opacan y no sobresalen entre los demás.	Las diferentes formas argumentativas en las que se establecen generalizaciones sobre las relaciones entre las luces de color y los colores de la fotografía, derivan de las observaciones particulares realizadas.
	Los colores que hay en el entorno, al interactuar con los colores de los objetos, cambian su apariencia.	Si el papel de color verde está por "encima" de los otros dos papeles de diferente color, el color es más	Si se combinan de cualquier forma tres papeles de color (azul, rojo y verde) el resultado siempre es un	Las diferentes formas enunciativas en las que se establecen generalizaciones sobre el origen del

		estable.	color diferente- El color se forma debido a la interacción de la luz con los objetos, si la luz se refleja directamente (luz de un color), ese color de los objetos sobresale, y con menos luz (mezcla de luces) la intensidad del color rebaja. La acción de la luz sobre los objetos hace ver los colores de los objetos tal como los ojos lo perciben.	color y el color de los objetos, derivan de las observaciones particulares realizadas y de los atributos considerados.
		NO APLICA	La luz que llega directamente hacia el agua es la reflexión y el movimiento de la luz en ellas es la refracción, la combinación de las luces, dadas por la reflexión y refracción, es el arcoíris que vemos.	En el requerimiento de utilizar lo aprendido sobre la reflexión y refracción de la luz, Cristina es la única que se esfuerza en relacionar dichos conceptos y establecer una regla general del comportamiento de estos con la formación del arcoíris. En este sentido, el poder deducir una ley puede depender de la consideración de otros elementos estudiados o aprendidos en otros fenómenos similares.

8.3 Conversatorio

El conversatorio inicia con una pregunta a las estudiantes sobre el proceso desarrollado a lo largo de la investigación. Al respecto Cristina afirma “[...] *a mí me gusta mucho el trabajo, me parece que, aunque hay muchas cosas que uno no sabe responder [...] uno lee la pregunta y no se le viene ideas a la cabeza [...], pero sin embargo me ha parecido muy bueno y he aprendido muchas cosas, por ejemplo ese pajarito, cuando estábamos poniendo la luz, como que se le salían los colores reflexivos. Muy interesante eso [...]*”. Natalia también expresa su sentir: “[...] *a mí me pareció muy chévere, hemos aprendido mucho. Algunos fenómenos me han parecido muy importantes... como algo que no tiene como mucha explicación, es difícil dar respuesta, a pesar de que lo estemos viendo [...] He aprendido mucho, son cosas que uno ve diariamente pero que no se pone a pensar, esto por qué ocurre [...] me parece muy interesante*”. En los instrumentos resultan preguntas sobre cosas cotidianas que no saben cómo responder pero sienten la necesidad de considerar ideas nunca antes planteadas para explicar, por ejemplo, en el experimento 1 de la actividad experimental: el color, sobre los colores que se reflejan en la fotografía. En otras ocasiones se quedan con la inquietud de cómo explicar los fenómenos observados y esto resulta muy interesante para sus reflexiones.

Se hace un recuento de lo hecho durante todo el proceso y de lo que se esperaba en cada uno de los instrumentos, hablándose en general de la finalidad de enriquecer las experiencias de las estudiantes sobre la luz y los colores, además de que tuvieran argumentos para explicar los diferentes fenómenos de manera coherente a su forma de pensar.

Al respecto, Cristina dice que durante todo el proceso sostuvo la idea según la cual los colores estarían en el espacio “[...] *las respuestas que di en un principio, en este momento estoy más convencida de eso [...] creo que yo dije que los colores estaban siempre, que la luz actuaba sobre ellos y que ya uno los podía diferenciar... en este momento pienso lo mismo, que la luz es la que cumple la*

función de ver los colores. Los colores no se van a ir, siempre están ahí [...] por ejemplo como si el sol estuviera en un rayo exactamente en ese lugar, al poner el agua junto a la luz se forma o se ve el arcoíris. La luz cumple un papel como de reflejo para uno poder ver esos colores [...] Esta explicación se acomoda muy bien para interpretar lo que sucede en el espectro de colores y en la formación del arcoíris, siendo una condición esencial para la observación de los colores la presencia de la luz en forma de rayo que cae exactamente en un lugar, aunque, en ausencia de ésta, los colores permanecen aunque no sean percibidos: “[...] *mire... es como si aquí estuviera reflejado el arcoíris (se refiere al espacio), si usted corre un poquito más el agua para acá, el arcoíris no se veía, cuando uno lo centraba bien, ahí estaba [...]* Es decir, la función de la luz es la de ver los diferentes colores en algunos puntos en el espacio: “*yo lo entiendo así [...] Es como si el arcoíris estuviera ahí, o sea que el arco iris estuviera en determinado punto y que a la luz tomar determinada dirección o reflejar de cierta manera, el arcoíris lo podemos ver*”

Natalia, para explicar la formación del arcoíris, tiene en cuenta tres factores: viento, agua y la luz del sol. A partir de esto explica el fenómeno físico, pues dice que la luz del sol incide sobre las gotas de agua en movimiento, y de acuerdo a la representación que hizo de la luz del sol, considera rayos que viajan por el espacio interactuando con las gotas de agua y reflejando (mostrando) los colores, es decir, el agua contiene los colores: “[...] *porque estábamos poniendo el agua y el viento movía un poquitico el agua y se desaparecía el arcoíris [...]* yo diría que... *la luz del sol... es como si incidiera sobre las gotas de agua y éstas reflejaran los colores. Como si el agua tuviera esos colores ahí, con esa misma característica y cada vez que el sol incide sobre ella lo refleja. [...]*” La función del sol al igual que en la opinión de Cristina, es la de permitir ver los colores, pero no en el espacio, sino en el agua. La forma que tiene el arcoíris depende de la forma del agua y esta última depende del viento, por tanto afirma que la mayoría de veces el arcoíris se ve curvo por que el viento esta interactuando con el agua y hace que tome esa forma. Cristina en cambio defiende la idea en que la forma que toma el arcoíris depende de la dirección de la luz que sirve como reflejo para el observador.

A modo de conclusión, las dos estudiantes consideran que los colores se ven mediante la luz del sol, ya sea en el espacio o en el agua misma. Cada una a su manera explica los fenómenos y crea las condiciones iniciales: agua o luz como reflejo, la luz del sol como percepción de los colores, la forma del agua dada por el viento, entre otros.

En las diferentes formas de explicar los fenómenos las estudiantes retoman lo vivido, lo conceptualizado en los anteriores instrumentos para afianzar sus ideas iniciales, pues en el caso de Cristina no cambia la idea que los colores siempre están en el espacio, y Natalia reafirma la idea de que los colores son una propiedad de los objetos. Para ambas estudiantes la luz y el agua son factores importantes para ver los colores, pero sus formas de considerar estas dos condiciones son diferentes, pues para Cristina los colores no están en el agua y la luz tiene que caer en ciertos puntos del espacio. Estas explicaciones dan cuenta de la coherencia de sus ideas para darle forma al fenómeno y de la diferencia en la experiencia que posee cada una en lo referido a lo conocido del mundo.

© **Sistematización del Conversatorio**

Casos Acciones	Natalia	Cristina	Asertos Δ
Reflexionar Δ	<ul style="list-style-type: none"> Las inquietudes surgidas en la realización de las actividades. Causa de la ocurrencia de los fenómenos. Explicaciones dadas a eventos cotidianos. 	<ul style="list-style-type: none"> Las inquietudes surgidas en la realización de las actividades. Ideas no pensadas. Explicaciones dadas a eventos cotidianos. 	<p>Más allá de detenerse en hechos concretos y detallados de las actividades realizadas, los casos reflexionan sobre la cotidianidad de los fenómenos considerados y cómo no se cuestionan normalmente por explicarlos.</p>
Describir Δ	<p>La importancia de la posición del agua debido al viento en la observación del arcoíris.</p>	<p>La importancia de la forma y posición en que la luz cae para observar el arcoíris.</p>	<p>Los casos describen y relatan el papel de los objetos característicos en el fenómeno en cuestión, mostrando su importancia en la interpretación de los experimentos.</p>
Confrontar ideas Δ	<p>Sostiene la idea de que los colores son una propiedad de los objetos que puede percibirse en la presencia de luz.</p>	<p>Sostiene la idea que los colores tienen existencia propia en el espacio aún en la ausencia de objetos.</p>	<p>Las estudiantes exponen sus opiniones y argumentos a los demás, se nota además la satisfacción que poseen con sus explicaciones y no se preocupan por proponer a los investigadores y a los demás casos la aceptación de sus ideas.</p>
Deducir leyes Δ	<p>Los colores están en el agua y ver los colores requiere la interacción sol y agua.</p>	<p>Los colores están en el espacio y verlos requiere que el sol llegue a algunos puntos del espacio.</p>	<p>La formulación de leyes concuerda con los atributos identificados por cada caso. Estas leyes muestran la manera como se relacionan los atributos en concordancia con lo observado experimentalmente. Los mismos experimentos son interpretados en forma diferente.</p>

8.4 Triangulación

Instrumentos Acciones	Actividad experimental: Reflexión y refracción	Actividad experimental: El color	Conversatorio	Asertos Δ
Medir Δ	<p>La asignación de valores difiere de la persona que mide. Medir los ángulos de incidencia y de reflexión requiere comparar los grados de un transportador con dichos ángulos. La asignación de valores es la misma para los diferentes casos y el ángulo de incidencia difiere del ángulo de refracción medido.</p>			<p>La medición es un proceso determinado por las observaciones de quien mide. Esta a su vez arroja datos sobre el comportamiento de los atributos de un fenómeno para ser analizados. No obstante, este proceso está presente por las exigencias del instrumento.</p>
Manipular Δ	<p>Los casos manipulan diversos materiales que viabilizan la deducción de la relación entre el ángulo de incidencia y el de reflexión; la deducción de la relación entre el ángulo de incidencia y el de refracción.</p>	<p>Se manipulan distintos materiales para apreciar los colores en una fotografía; combinar colores y formar el arcoíris con la intención de dar respuestas a las preguntas. En la experimentación surgen nuevas formas de manipular los objetos para comprender la formación del arco iris.</p>		<p>La manipulación de los objetos está determinada por las finalidades del sujeto; pues dada una situación, los elementos de trabajo se disponen de distintas maneras para posibilitar la caracterización, experimentación, entre otras.</p>
Diseñar métodos de medición Δ	<p>Se planean distintos métodos de medición que obedecen a los instrumentos comúnmente conocidos para la medición de ángulos. Se opta por un método que permite una medición rápida de los ángulos frente a la dificultad de utilizar un compás. El método utilizado obedece al mismo método para medir ángulos de reflexión, no obstante, la presencia del agua dificulta las mediciones pero es prontamente solucionada por los estudiantes.</p>			<p>Las estrategias de medición permiten superar inconvenientes relacionados con la toma de datos, y el valor que se debe asignar a ciertas magnitudes. Estos diseños son elaborados por los casos conjuntamente, es decir, poseen un carácter social.</p>

Representar Δ	<p>Las representaciones obedecen a observaciones conjuntas y responden a lo sugerido en el instrumento, es decir, las representaciones pueden ser mediadas pedagógicamente.</p> <p>Las representaciones también son mediadas por el instrumento. Dos de los casos muestran claridad conceptual frente a la noción de ángulos y los ángulos considerados.</p>	<p>No se facilita en el instrumento la representación de las luces de color y la representación de la combinación de papeles de color.</p> <p>Las representaciones obedecen a requerimientos del instrumento en tanto que manifiestan algunas de las características que cada caso le atribuye al fenómeno. Por lo anterior, para Natalia las gotas de agua se convierten en gotas de color cuando la luz del sol entra en contacto con ellas. Mientras que para Marcela no se da lo mismo.</p>		<p>Frente a un mismo fenómeno, los sujetos hacen representaciones diferentes que dependen del modo como ellos interactúan con el objeto. La representación puede fomentarse en las actividades experimentales siempre y cuando se haga explícito su requerimiento.</p>
Observar Δ	<p>Los ángulos son observados gracias a la adecuada disposición del espejo y el rayo láser. Se compara los ángulos.</p> <p>Resulta un tanto complejo para los estudiantes considerar la superficie del agua como un medio que consiente un ángulo diferente al de incidencia del rayo con la normal.</p>	<p>El proceso de observación es clave en el experimento. Este exige al sujeto detenerse en una observación profunda e intencionada.</p> <p>La observación se plantea como una forma de asumir resultados de experimentos planeados.</p> <p>La observación es un factor que puede determinar los resultados de los experimentos.</p>		<p>La observación viene dada por las expectativas que tiene el sujeto por establecer relaciones, comparar, determinar resultados, entre otras. También viene mediada por los intereses de las personas que pretenden promover en otros la observación de los fenómenos.</p>
Identificar atributos Δ	<p>Los atributos sugeridos son identificados claramente.</p> <p>Los atributos sugeridos no son identificados claramente en las representaciones pues depende del referente mental que se hace de este</p>	<p>Algunos atributos identificados del fenómeno en cuestión coinciden en las estudiantes, no obstante, están mediados por intenciones, por tal razón no se identifican atributos como peso de la fotografía, grosor,</p>		<p>La identificación de atributos es determinada por los referentes mentales y las intenciones que posee una persona. En ese sentido, se debe hacer un trabajo pedagógico concienzudo con los</p>

	<p>atributo. Si este referente no es claro, las sugerencias de los investigadores se hacen triviales.</p>	<p>energía eléctrica, o que el animal de la foto es un loro; sobre la calidad del papel: elasticidad, durabilidad, material, etc.; sobre la hora del día, la pureza del agua, el sitio de experimentación, etc.</p>		<p>sujetos por parte del maestro, para considerar otras alternativas de comprensión.</p>
<p>Relacionar variables Δ</p>	<p>Se establece, a partir de un consenso, la relación de igualdad entre el ángulo de incidencia y el de refracción. Al relacionar los ángulos se desecha la relación de igualdad pero no se postula otra, no obstante, uno de los casos sugiere la planeación de un método para encontrar una relación que describa los resultados.</p>	<p>No se facilita en el instrumento la relación de variables entre las luces de color. Se establecen distintas relaciones dependiendo de los atributos identificados. Así pues, el color resultante depende de la posición, del grosor del papel, del color utilizado y la posición de los mismos. Esto muestra que iguales resultados pueden explicarse con distintos argumentos dependiendo de las nociones que explore cada uno de los casos. Las relaciones entre los atributos están mediadas por las observaciones de los experimentos, aunque se advierten aspectos comunes, estos obedecen a distintas formas de ver e interpretar el fenómeno.</p>		<p>El consenso de un grupo de sujetos permite la adjudicación de relaciones entre variables, estas, a su vez, son determinadas por los atributos identificados que derivan de las observaciones particulares.</p>
<p>Deducir leyes Δ</p>	<p>No existe una respuesta concreta que indique la deducción de una ley. No obstante, Cristina se aproxima a la formulación de una ley. Los otros dos casos no lo hacen pues el instrumento no es explícito al exigir esta acción. Para la refracción de la luz se considera necesario introducir alguna herramienta matemática para que los resultados experimentales puedan relacionarse y expresarse en forma de ley, esto es algo que no posibilita el</p>	<p>Las diferentes formas argumentativas en las que se establecen generalizaciones sobre las relaciones entre las luces de color y los colores de la fotografía, derivan de las observaciones particulares realizadas. El origen del color y el color de los objetos, devienen de las observaciones particulares realizadas y de los atributos considerados. En el requerimiento de utilizar lo</p>	<p>La formulación de leyes concuerda con los atributos identificados por cada caso. Estas leyes muestran la manera como se relacionan los atributos en concordancia con lo observado experimentalmente. Los mismos experimentos son interpretados en forma diferente.</p>	<p>En la construcción de una ley se evidencia que las observaciones particulares de los atributos dependen del sentido que los sujetos le otorgan a los fenómenos, como de otros elementos estudiados o aprendidos en fenómenos similares.</p>

	instrumento.	aprendido sobre la reflexión y refracción de la luz, Cristina es la única que se esfuerza en relacionar dichos conceptos y establecer una regla general del comportamiento de estos con la formación del arcoíris. En este sentido, el poder deducir una ley puede depender de la consideración de otros elementos estudiados o aprendidos en otros fenómenos similares.		
Confrontar ideas Δ	Las ideas frente a la planeación de estrategias y la deducción de relaciones resultan de la confrontación de ideas por parte de las estudiantes. Frente a las inquietudes generadas por la deducción de la relación entre los ángulos de incidencia y refracción, la falta de ideas al respecto y la falta de tiempo para más experimentos, se mostró en la no confrontación de las mismas.		Las estudiantes exponen sus opiniones y argumentos a los demás, se nota además la satisfacción que poseen con sus explicaciones y no se preocupan por proponer a los investigadores y a los demás casos, la aceptación de sus ideas.	A la hora de decidir por ciertas estrategias o técnicas, la confrontación de ideas es fundamental y obedece a un interés común. No obstante, la confrontación de ideas no resulta tan evidente cuando se trata de exponer una teoría, puesto que no se consideran reflexivamente las ideas de los demás. Sin embargo, escuchar al otro es algo que debe potenciar el profesor en su quehacer.
Describir Δ		La descripción de cualidades de un objeto se va clarificando en la distinción de las cualidades mismas. El atributo llamado posición de los papeles permite la descripción de los colores resultantes de la combinación de papeles. Los atributos difuminación, forma del agua y distribución de los colores son claves para explicar los resultados. A pesar de la sugerencia de usar las nociones de reflexión y refracción para explicar el arcoíris, estas no se hacen presentes, ya sea porque no se ha dado una	Los casos describen y relatan el papel de los objetos característicos en el fenómeno en cuestión, mostrando su importancia en la interpretación de los experimentos.	Frente a la descripción, debe decirse que esta guarda la información de las características identificadas o atributos definidos. Lo anterior es usado para concluir, generalizar o analizar resultados.

		interiorización de los conceptos o no se identifican elementos relacionales entre las cualidades como la reflexión y refracción de la luz.		
Confrontar resultados Δ		No se facilita en el instrumento la confrontación de resultados sobre las luces de color y otra situación; sobre el arcoíris y otra situación. Confrontar resultados de dos experimentos de distinta índole, asociados al mismo fenómeno faculta la deducción de leyes y el establecimiento de relaciones entre los atributos.		Es labor del maestro orientar el proceso de confrontación, pues los estudiantes deben analizar la contradicción en los resultados y cómo confrontarlos faculta la generalización de los análisis. Es decir, en muchas ocasiones los estudiantes ni siquiera encuentran razones para confrontar y parece que sus explicaciones no incluyen las contradicciones más evidentes.
Reflexionar Δ			Más allá de detenerse en hechos concretos y detallados de las actividades realizadas, los casos reflexionan sobre la cotidianidad de los fenómenos considerados y cómo no se cuestionan normalmente por explicarlos.	El valor de las reflexiones depende de las necesidades de los sujetos, ya que puede no interesarles el profundizar ideas o argumentos ya contruidos como una posibilidad de modificar o refinar la comprensión de los mismos. En vez de ello, la atención pueden concentrarse en formular inquietudes de otros asuntos sin centrarse en lo conceptualizado.

9. CONCLUSIONES

El trabajo de investigación sobre los procesos de formalización, contrastados en la *Óptica* de Newton y los tres casos, permiten acercarnos a las siguientes conclusiones:

- Se identifican los componentes de los procesos de formalización, estos son: caracterización y cuantificación, organización de experiencias, experimentación, matematización y socialización. Al interior de los diferentes componentes o características de los procesos se aprecian algunos aspectos relevantes de los mismos como el papel de la cuantificación y la representación en la caracterización de los objetos, las experiencias complejas y concretas en la organización de la experiencia y el papel de la experimentación mental y tangible en la experimentación. Los componentes de los procesos de la formalización de los fenómenos físicos configuran un entramado en forma de red que conecta cada característica en un sistema de relaciones complejas.
- Los procesos de formalización pueden ser manifestados por aquellos que piensan los fenómenos físicos. Estos procesos se pueden enriquecer favoreciendo ciertas condiciones. En ese sentido, importa el contexto y los conocimientos culturales adquiridos en una época en particular. Newton logra formalizar el color y la propagación de la luz gracias a sus estudios y al contexto científico en el que se desenvuelve, de igual manera, algunas experiencias de las estudiantes, el nivel y contexto educativo son un factor determinante al momento de formalizar los fenómenos físicos.
- Dentro de los procesos de formalización, la socialización resulta ser un componente relevante, pues permite confrontar ideas y discutir los métodos de medición en las estudiantes; además de refinar los argumentos. En este sentido, se observa un trabajo conjunto en la solución de algunos problemas del cuestionario abierto, algunas preguntas en la actividad experimental sobre el espectro de colores, la reflexión y refracción de la luz,

el color, y en especial, el conversatorio. En las diferentes actividades los estudiantes dialogan sobre los fenómenos y la mejor forma de entenderlos. Se da oportunidad al disenso y fortalecimiento de los argumentos o ideas propias.

- A nivel de la enseñanza de la física, la matematización es un componente poco explorado en los procesos de formalización de aquellos que dan forma a un fenómeno, esto viene dado por el requerimiento de un mayor nivel de apropiación de ciertos conceptos y de las relaciones entre los atributos de un objeto, para asociar o construir una forma o modelo matemático que dé cuenta de la relación entre la cuantificación de dichos atributos y su comportamiento futuro. Sin embargo, no se puede pensar que la matematización esté supeditada a los niveles particulares de entendimiento de las personas, pues en los procesos de formalización, la matematización misma es un proceso que se refina, se mejora con la intencionalidad de explicar un fenómeno. En este sentido, la enseñanza de la física debe crear condiciones que permitan en los sujetos el mejoramiento continuo de las abstracciones que viabilicen la matematización de los fenómenos.
- Sobre las representaciones que se exhiben en el clásico *Óptica* de Newton, el estudio histórico epistemológico permite resignificar las formas particulares que adquieren ciertos fenómenos como la descomposición de la luz en el espectro de colores. La lectura de estas representaciones permite valorar su simplicidad, y no por ello carencia de significado, en las posibilidades de ser enseñadas en el aula de clase. Un trabajo de representación permite conjeturar posibles relaciones entre los atributos de un objeto, Newton da muestra de ello. Esto sugiere en la enseñanza de las ciencias promover el uso de la representación en los estudiantes y maestros, en ese sentido, se debe evaluar la comprensión que tienen de sus elaboraciones para mejorar las formas de representación como un modo de significar los fenómenos.
- Algunas acciones pueden favorecer los procesos de formalización y dependen de la forma en que se promueven, entre estas se tienen: medir,

manipular, diseñar métodos de medición, confrontar resultados e ideas, reflexionar, entre otras. Dichas acciones poseen un sentido pedagógico en la orientación de los procesos de formalización de los fenómenos, ya que pueden ser objeto de evaluación de la comprensión de un fenómeno. Las acciones pueden fomentarse y desarrollarse en aquellos que, en su intento por interpretar el entorno, piensan y dan forma a los fenómenos físicos.

- Se descubre que, en los componentes de los procesos de formalización, la acción relacionada con la deducción de leyes debe ser potencializada en los sujetos. Estos poseen diferentes formas de enunciar las relaciones entre las cualidades de un objeto para un mismo fenómeno. En este orden de ideas, se pueden valorar las diferencias en los procesos de formalización que cada individuo lleva a cabo en un esfuerzo por generalizar el comportamiento de las cosas. Al respecto, se deben incluir, en las actividades de aprendizaje de la ciencia, actividades que permitan la deducción de leyes como una alternativa de indagación sobre las diferentes concepciones que tienen y construyen los estudiantes.
- En la aplicación de algunas actividades de indagación y experimentación se observó cierta irregularidad en las afirmaciones de las estudiantes. Es el caso de la actividad sobre el espectro de colores, allí se puede apreciar una discontinuidad o pérdida en el hilo conductor de la observaciones, pues en la identificación de las relaciones entre ciertos atributos sobre la forma del espectro con la forma del objeto óptico, se presentan contrariedades. Se considera, por ejemplo, una dependencia entre la forma del espectro con la forma del objeto óptico (lupa-círculo); no obstante, una de las formas del espectro que aparece al interior de la caja tiene forma circular y el prisma, como tal, no muestra claramente dicha forma geométrica. En este sentido, la aplicación de los diferentes instrumentos no es una garantía de que las estudiantes continúen un proceso de organización de las experiencias sobre la luz y el color.
- La enseñanza de las ciencias debe favorecer los procesos de formalización desarrollados por estudiantes y docentes mediante la implementación de

unos nuevos objetivos pedagógicos. Estos objetivos obedecen a las teorizaciones adelantadas al respecto de la formalización de los fenómenos realizadas en esta investigación. Es decir, de los componentes involucrados, estos a la vez se pueden propiciar por razón de las acciones susceptibles de ser evaluadas por el maestro. El maestro de ciencias posee así una meta más en la enseñanza: formar personas partícipes en la construcción del conocimiento científico, autónomas en sus formas de comprender y reconocer los fenómenos pero conscientes del importante papel que desempeñan los otros en ese proceso.

BIBLIOGRAFIA

- STAKE, R. E. (1998). Paradigmas cualitativos y cuantitativos. En: Investigación como estudio de casos. Madrid: Ediciones Morata.
- AYALA, M. Y *et ál.* (2008). Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos. Editorial Universidad de Antioquia.
- NEWTON, I. (1945). Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz. Traducción: Eugenio Días Del Castillo. Editorial Maestros de la Ciencia.
- ROMERO, A. Ponencia (2010): La cuantificación en D'Alembert. Universidad de Antioquia, encuentro práctica pedagógica Integración IX y Maestría.
- PIERRRE, D. La teoría física, su objeto y su estructura. Cantidad y cualidad.
- SHAPIRO, A. (2006). La "filosofía experimental" de Newton. Universidad de Minnesota. En línea. Citado el 20 de junio de 2010. *ashapiro@physics.umn.edu*
- MATTHEWS, M. R. Historia, Filosofía y Enseñanza de las ciencias: La aproximación actual. En: Enseñanza de las Ciencias. 1994.
- ROMERO, A. La formalización de los conceptos físicos. El caso de la velocidad instantánea. En: *Revista Educación y Pedagogía*. Medellín: Universidad de Antioquia, Facultad de Educación. Vol. XV, No. 35, (enero-abril), 2003.
- RUIZ, F. (2007). Modelos didácticos para la enseñanza de las ciencias. Universidad de Caldas. En línea. Citado el 30 de marzo de 2010.
- GRANÉS, J. *et ál.* (1998) De la producción de conocimientos a la enseñanza: Análisis de una experiencia pedagógica. Revista de educación Volumen I, N° 2.
- MARQUINA, J. (2003). La metodología de Newton. Universidad autónoma de México. En línea. Citado el 13 de julio de 2010.



ANEXOS

ANEXO 1

ENTREVISTA

El trabajo de investigación es sobre la luz y la forma como se entiende y se le da forma. La luz es un fenómeno cotidiano y de algún modo interesante para las personas. El objetivo de esta entrevista es conocer que piensas sobre la luz y como hablarías de ella físicamente.

1. Gran parte de la luz del día proviene del sol, también sabemos que el sol se encuentra muy lejos de la Tierra ¿Qué opinas del hecho de que la luz del sol se perciba acá en la Tierra?
2. En la cotidianidad en ausencia de luz no se percibe el color de los objetos ¿cómo explicas lo anterior?
3. Durante un día lluvioso y soleado es muy común ver un arcoíris ¿Cómo explicas la aparición de los colores en el arco iris? ¿Qué papel cumple la lluvia en este caso? ¿Cómo explicas el orden de los colores?
4. ¿Cómo explicas que una moneda se vea diferente debajo del agua o a través de una lupa?



1 8 0 3

ANEXO 2

CUESTIONARIO ABIERTO

Nombre _____

*“Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano”
(Isaac Newton)*

Objetivo: Indagar qué piensas sobre la luz y el color, y como hablarías de ella físicamente.

- 1) A continuación te encontrarás con algunas imágenes relacionadas con el fenómeno de la luz.



Realiza un escrito argumentativo de mínimo media página teniendo en cuenta algunas o todas las imágenes.

- 2) Juan en una ocasión sentado en su alcoba cerca a la ventana, por la cual se adentraba ampliamente la luz del sol, observó detenidamente sus discos compactos (Cd's) y curiosamente se preguntó: “¿Por qué en la superficie de mis discos compactos se pueden ver diferentes colores?”.
- Si Juan es tu amigo y quisieras ayudarlo en su inquietud, ¿Qué le dirías? Argumenta tu respuesta.

3) Analiza las siguientes situaciones.



Imagen 1



Imagen 2



Imagen 3

a) ¿Qué sucede en las imágenes 1 y 2? ¿Se debe a algún fenómeno físico? Explica: _____

b) Si el sol desapareciera del universo por algún fenómeno extraño (ver imagen 3) ¿Qué crees que pasaría en ese mismo instante con la luz que se percibe en la tierra? Explica y haz un dibujo.

Explicación: _____

ANEXO 3

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL: ESPECTRO DE COLORES



1803

Nombre _____

OBJETIVO: Generar explicaciones físicas a partir de las características de un montaje experimental sobre la formación de los colores cuando la luz del sol atraviesa un prisma.

INTRODUCCIÓN

Cuando vamos de paseo con nuestra familia o simplemente cuando estamos en nuestras alcobas podemos observar un sinfín de fenómenos físicos; algunos de ellos apreciables a simple vista como el arcoíris, los colores que aparecen en los discos compactos, en las burbujas de jabón y derrames de aceite o petróleo en las calles, entre otros. En estos casos la formación de los colores ha cobrado importancia a través de la historia, muchas personas han tratado de darle explicación a este fenómeno, generando controversias e interrogantes que han conllevado al nacimiento de diferentes teorías. En la siguiente actividad experimental buscamos, a partir de la experiencia y la observación del siguiente montaje, generar explicaciones físicas sobre la formación de los colores cuando la luz del sol atraviesa un prisma. Para ello es importante formular algunas inquietudes que susciten el desarrollo del experimento.

MATERIALES:

- Un prisma de grosor de 1 ó 2cm.
- Caja de cartón con dimensiones de 45cm x 15cm x 15 cm.
- Dos varillas de metal o madera con diámetro entre 5mm y 8mm, y 8cm de largo cada una.
- Tijeras y bisturí.
- Pega Súper Blue (Pega instantánea).
- Colbón.
- Cartulina negra: 1 metro.
- Regla

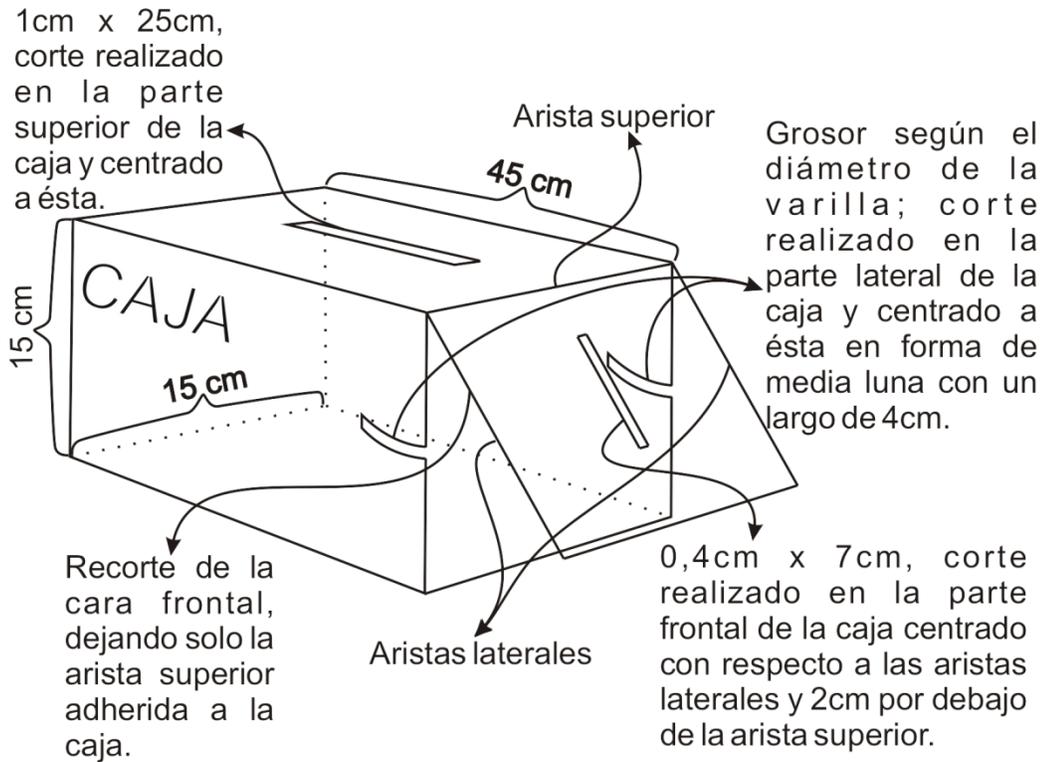
- Cuatro engranajes de radio entre 0.5cm y 1cm cuyo centro agujerado tenga un diámetro de 5mm o del diámetro de la varilla que se vaya a utilizar

- Caja de colores.
- Hojas de block.
- Lápiz
- Lupa



PROCEDIMIENTO:

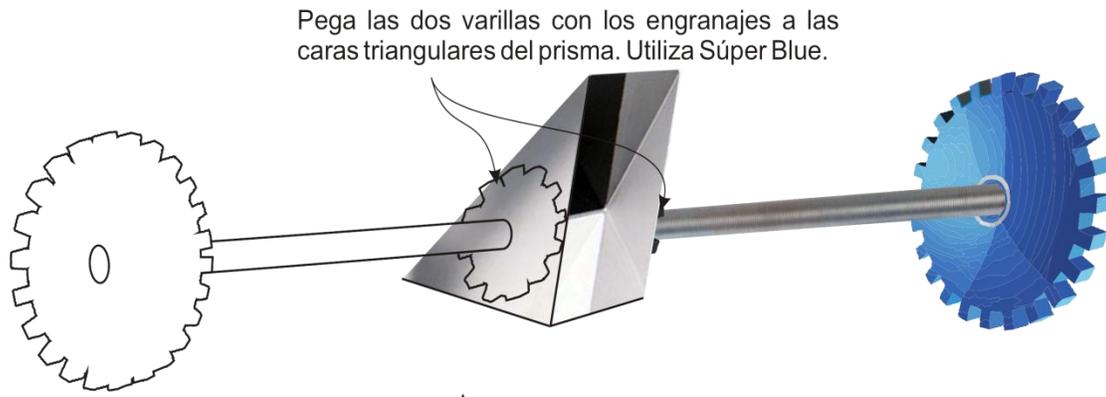
1. Coge la caja de cartón y realiza con el bisturí o las tijeras los siguientes cortes. (Ver ilustración)



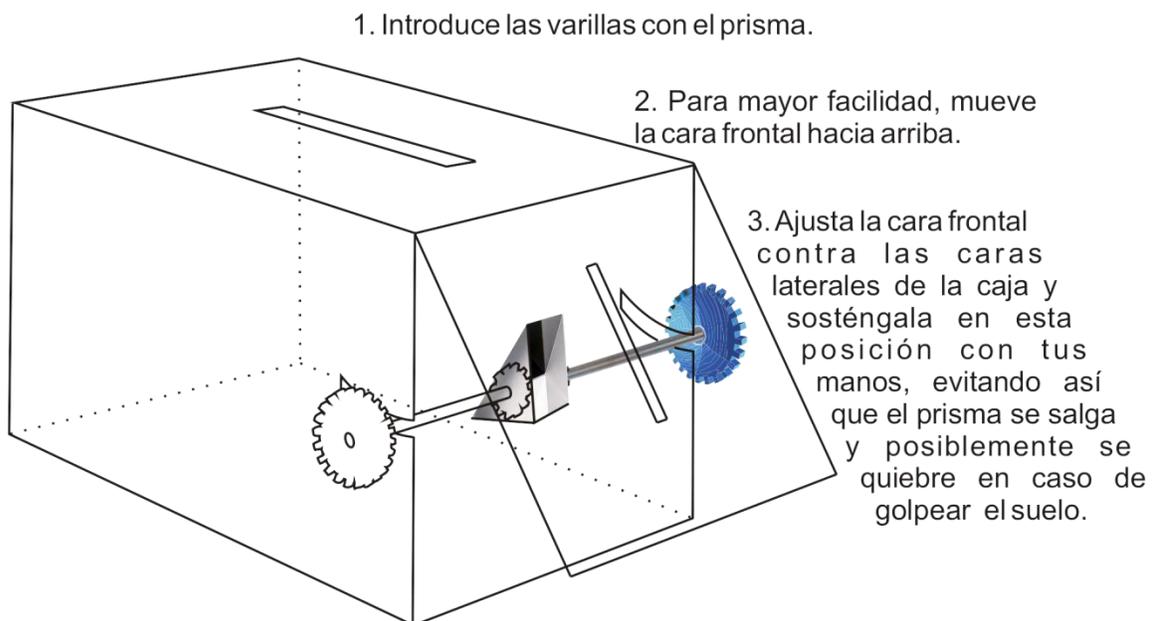
2. Pega los engranajes en cada varilla de metal o de madera de tal forma que cada par de engranajes estén ubicados en los extremos de las varillas, utiliza la pega Súper Blue. (Ver figura).



- Ahora, ubica cada varilla con sus engranajes en las caras triangulares del prisma de tal forma que estos queden en el centro de dichas caras.



- Lleva el conjunto de varillas adheridas al prisma y ubícalas en la caja como se muestra en la ilustración.

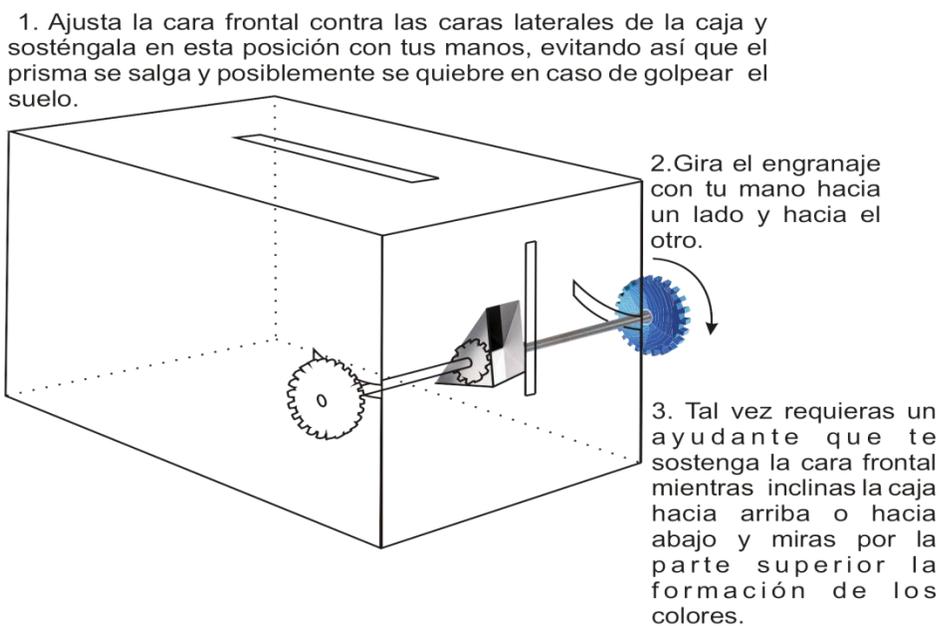


- Si al interior de la caja se percibe mucha luz cuando se ajusta la cara frontal contra las caras laterales de la caja, pega cartulina negra al interior de la caja cubriendo las seis caras, utilizando para ello Colbón. Posteriormente, realiza con el bisturí los cortes que deben quedar al descubierto en la caja.

PONIENDO EN MARCHA EL EXPERIMENTO

1) Para dar cuenta de la formación de los colores cuando la luz del sol atraviesa el prisma, debemos buscar un lugar donde la luz del sol se observe fácilmente. Evita mirar la luz del sol directamente con tus ojos, puesto que podría alterar la observación del experimento debido al encandilamiento.

2) Ubica la caja de tal forma que la luz del sol atraviese la abertura de la cara frontal y observa por la parte superior de la caja la formación de los colores al interior de ésta. Para una mejor observación de los colores, introduce una tira de papel blanco en donde se observan dichos colores. Si aún no los ves, inclina hacia arriba o hacia abajo la parte frontal de la caja, rotando en cada posición el prisma (Ver figura).



Preguntas:

1) ¿Cuántos colores puedes identificar? ¿De qué forma están distribuidos? Haz una ilustración

Explica: _____

Ilustración:

2) Cuando logres mirar los colores en el interior de la caja, haz un dibujo de la posición en que se encuentra el prisma con respecto a esta. ¿Existirá alguna relación entre la distribución de los colores y la posición del prisma?

Explica: _____

Dibujo:

3) ¿Por qué crees que un color está después de otro?, ¿será posible una distribución diferente?

Explica: _____

4) ¿Qué forma geométrica tiene el conjunto de colores? Haz una ilustración.

Respuesta: _____

Ilustración:

5) Toma una lupa y enfoca la luz del sol en algún punto en específico y observa que figura geométrica se forma en la superficie. Realiza un dibujo de esta imagen.

Dibujo:

6) ¿Tiene la misma forma geométrica la imagen formada por la lupa que la imagen formada por el prisma dentro de la caja? Si – No ¿Por qué?

Respuesta: _____

7) ¿Te suscita alguna pregunta la distribución de los colores? ¿Cuáles?

Preguntas: _____

8) ¿Cómo explicar la formación de colores?

Explicación: _____

ANEXO 4



1 8 0 3

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL: REFRACCIÓN Y REFLEXIÓN

Nombre _____

A continuación vamos a desarrollar una serie de experimentos en los cuales podremos observar algunas propiedades de la luz cuando esta incide en ciertos materiales.

Primer Experimento: Reflexión

Cojamos un láser, un espejo, un compás y un tarro con talco. Proyectemos la luz del láser sobre el espejo y desparramemos un poco de talco de tal manera que nos permita ver la luz. Analicemos que sucede después.

Cuando la luz se proyecta sobre el espejo:

- a) ¿Puedes distinguir los ángulos que se forman entre el espejo y la luz incidente, y entre el espejo y la luz reflejada? ¿Son iguales o diferentes?

- b) ¿De qué método nos podemos valer para medirlos? ¿Servirá el compás?

- c) Mide algunos ángulos y anótalos en esta hoja en un dibujo representativo en donde se muestre el camino de la luz del láser.

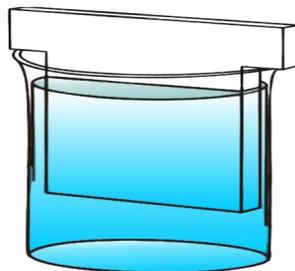
Dibujo 1	Dibujo 2

Cuando un haz de luz incidente encuentra una superficie pulida o lisa, el haz reflejado está muy bien definido. Cuando esto sucede decimos que la reflexión es especular, pues dicho fenómeno se observa comúnmente cuando la luz se refleja en un espejo.

Segundo Experimento: Refracción

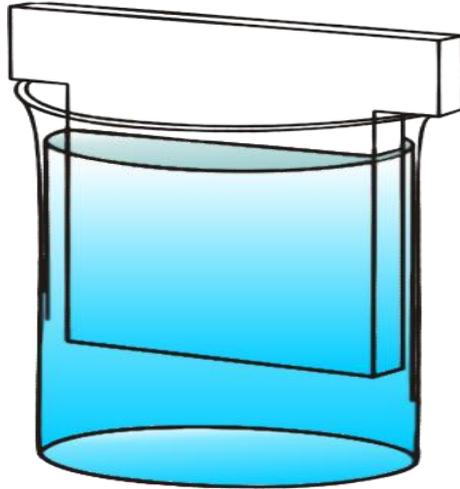
Llena un vaso transparente con agua e introduce en él una pieza de cartón u otro material blanco en la forma que se indica en la figura.

Figura



Usando el láser, proyecte el haz de luz a lo largo del material blanco. Observe sobre este material la trayectoria del haz luminoso antes y después de penetrar en el agua. Haga variar el ángulo de incidencia y observe qué pasa cuando el haz incide perpendicularmente a la superficie y cuando el ángulo de incidencia es mayor. Si dispone de otros líquidos, intente repetir el experimento usando estos materiales.

a) Trata de medir los ángulos que se forman tanto del rayo incidente y del rayo refractado con la normal. Anótalos en la siguiente figura dibujando tanto el rayo incidente como el refractado.



b) Realiza otras tres mediciones para tres rayos de incidencia diferentes con sus respectivos rayos refractados. Anótalos en los siguientes dibujos.

Dibujo 1	Dibujo 2	Dibujo 3



1803

ANEXO 5

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL: EL COLOR

Nombre _____

Introducción

Un gran ingrediente de la luz que contribuye a la riqueza visual de la naturaleza es el color, éste en algunos casos es difícil de definir a simple vista; seguramente le ha sucedido que compra usted un objeto de determinado color, y al salir de la tienda descubre que ese no era el color que usted buscaba. El mundo está lleno de colores, pero detengámonos a pensar, con la ayuda de tres experimentos, cuál es la explicación de que exista una gran variedad y no un solo color en el mundo que nos rodea.

Experimento 1: Utilizando varias fuentes de luz, tres vidrios o papel transparente de color rojo, verde y azul, y una fotografía a color, llevamos a cabo el siguiente procedimiento:

- 1) Ilumina la fotografía con luz roja, observe detenidamente y después retira la luz, haga lo mismo con la luz verde y azul.
- 2) Encienda simultáneamente la luz roja, la verde y la azul e ilumina la fotografía.
- 3) Ilumina simultáneamente con luz roja, verde y azul una superficie blanca de tal forma que se puedan ver los tres colores por separado pero también la intersección entre dos de ellos y los tres a la vez.



Preguntas

a) ¿Cuántos colores puedes apreciar en la fotografía sin ser iluminada por la luz de color?

Nómbralos:

b) ¿Qué colores percibes en la fotografía cuando se ilumina por separado con luz azul, verde y roja?

c) ¿Qué sucede cuando se ilumina la fotografía con la luz roja, azul y verde simultáneamente?

Explica:

d) Para el **procedimiento 3** ¿Qué colores observas en las intersecciones de las luces de color?

Describe:

Experimento 2: Utilizando papel blanco y papel transparente de color rojo, verde y azul, responde las siguientes preguntas:

a) ¿Qué colores podemos formar con la combinación de los papeles transparentes entre dos de ellos y los tres a la vez, ubicados sobre el papel blanco?

b) Confronta los resultados obtenidos en el experimento 1 y 2. Establece algunas diferencias o similitudes.

c) Teniendo en cuenta todas las observaciones hechas, qué podrías decir del origen del color y el color de las cosas. Explique:

d) Pídele a tu compañera que sostenga la botella y desempeñe el papel que estabas haciendo. Camina alrededor de la lluvia, salta, agáchate y determina en que posiciones puedes ver el arco iris. ¿Hay alguna relación entre la posición de observación y la formación del arco iris? Explica (ayúdate de un dibujo):

e) ¿Qué sucede entre la interacción de las gotas de agua y la luz, para que se forme el arco iris? Ten en cuenta lo que aprendiste sobre reflexión y refracción. Realiza una representación de cómo crees que llega la luz sobre una gota de agua.