



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

1 8 0 3

Facultad de Educación

El papel de la teoría y el experimento en la clase de física. El caso de la enseñanza de la refracción y el efecto fotoeléctrico.

Trabajo presentado para optar al título de Licenciado en Matemáticas y Física

**DANNY ALEXÁNDER RODRÍGUEZ VILLA
JOHAN ESTEBAN GALEANO CARVAJAL**

Asesora

OLGA LUZ DARY RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

Medellín 2016

RESUMEN

Con base en una imagen tradicional de ciencia, restringimos el papel del experimento en las escuelas a la confirmación de las teorías informativas acumuladas en los libros textos. Al ser los enunciados teóricos sólo validados en los laboratorios, les presentamos a los estudiantes una ciencia acabada y, en consecuencia, ausente de sujetos.

A partir de nuestra interpretación de la refracción de la luz y el efecto fotoeléctrico desde las perspectivas de Newton y Einstein respectivamente, presentamos un conjunto de talleres experimentales implementados en la Institución Educativa Escuela Normal Superior de Medellín y la Institución Educativa Francisco Miranda, en los cuales el experimento está involucrado en la construcción del conocimiento físico y no sólo en su justificación. Esto es, los talleres exhiben que el experimento participa tanto en la concertación, entre un grupo de alumnos, de las explicaciones de los fenómenos ópticos como en su elaboración. En esta investigación damos cuenta que los estudiantes analizan y llegan a consensos con sus intervenciones en los experimentos. Es decir, logramos dar un significado más profundo al papel del experimento y a la teoría en la clase de física, considerar a los estudiantes como sujetos activos en la elaboración del conocimiento, e involucrar en ella la discusión mediada por la argumentación desde la interpretación que cada alumno realizó de los fenómenos.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

ABSTRACT

Based on a traditional image of science, we restrict the role of experiment in schools to the confirmation of the informational theories accumulated in textbooks. As the theoretical statements are only validated in laboratories, we present to students a finished science and, consequently, not thinking people.

From our interpretation of light refraction and the photoelectric effect from the perspective of Newton and Einstein respectively, we present a set of experimental workshops implemented in the Educational Institution School Normal Superior of Medellín and the Educational Institution Francisco Miranda, there, the experiment is involved in the construction of physical knowledge and not only in its justification. Workshops show that the experiment participates both in the concertation, among a group of students, of explanations of optical phenomena as in their elaboration. This research reveals that the students analyze and reach consensus with their interventions in the experiments. So, we can give a broader meaning to the role of experiment and theory in the physics class, considering students as active liables in the elaboration of knowledge, and to involve in it the discussion mediated by argumentation from the interpretation that each student made of the phenomena.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

CONTENIDO

RESUMEN	2
ABSTRACT.....	3
CONTENIDO	4
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABLAS	7
INTRODUCCIÓN	8
Capítulo 1. Nuestra imagen de ciencia involucrada en el papel que le damos al experimento y a la teoría en la enseñanza de la física	10
<i>Nuestra interpretación tradicional de la ciencia y su enseñanza. El caso de las matemáticas y la física</i>	10
<i>Algunos cuestionamientos sobre nuestra interpretación</i>	20
OBJETIVOS	23
Capítulo 2. Nuestra interpretación de la Óptica a la luz de las perspectivas de Newton y Einstein	24
<i>El caso de la refrangibilidad</i>	24
<i>La inducción en la Óptica de Newton</i>	24
<i>La refrangibilidad de los colores</i>	24
<i>La geometría física en la óptica</i>	28
<i>Las proporciones en la refracción de la luz</i>	28
<i>La refrangibilidad de los rayos del Sol</i>	31
<i>Nuestra interpretación de la teoría cuántica de la luz desde la perspectiva de Einstein</i>	34
<i>Aproximación al cuanto</i>	34
<i>La teoría cuántica de la luz</i>	35
<i>La teoría cuántica de la luz y el efecto fotoeléctrico</i>	36
<i>Las narrativas como transgresoras de los discursos hegemónicos. El reconocimiento del otro como sujeto en el aula de clase.</i>	37
<i>El otro en nuestra identidad</i>	37
<i>Las narraciones</i>	38
<i>La medición en la clase de física</i>	39
Capítulo 3. El significado que le confiere el experimento a las construcciones teóricas. Propuesta pedagógico –didáctica.....	42
<i>Caracterización experimental de la refrangibilidad</i>	42

<i>Taller experimental 1.1. La refrangibilidad de la luz a partir de la forma de la imagen coloreada del Sol, la estructura de los sólidos transparentes, y su disposición en los experimentos.</i>	44
<i>Taller experimental 1.2 La refrangibilidad de la luz de un video beam a partir de un envase de vidrio y un prisma de acetato.</i>	47
<i>Taller experimental 1.3 La refrangibilidad de la luz de colores a partir de un video beam y prismas de acrílico.</i>	51
<i>Taller experimental 2.1 y 2.2. Caracterización de la luz de color homogénea</i>	53
<i>Sensor fotoeléctrico</i>	53
<i>Fotodiodo de cristal de silicio</i>	54
<i>Fotodiodo de cristal de Germanio.</i>	54
<i>Taller experimental 2.1. El efecto fotoeléctrico a partir de la caracterización de la luz de color homogénea del Sol.</i>	56
<i>Taller experimental 2.2. El efecto fotoeléctrico a partir de la caracterización de la luz de color homogénea del video beam</i>	58
Capítulo 4. El experimento en la organización de los fenómenos ópticos. La refracción y el efecto fotoeléctrico.....	61
<i>Implementación del taller experimental 1.1. La refracción a partir de la imagen coloreada de la luz de Sol</i>	61
<i>Implementación del Taller experimental 1.2 y 1.3. La refracción a partir de la organización de la luz de colores que pasa a través de un prisma.</i>	70
<i>Implementación del taller experimental 2.1 y 2.2. El efecto fotoeléctrico a partir de la caracterización de la luz de color homogéneo del Sol y del video beam.</i>	74
CONCLUSIONES GENERALES	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cámara oscura con la cual se pretende demostrar que la luz se propaga en línea recta..... 14

Figura 2. Diagrama que describe la propagación rectilínea de la luz 15

Figura 3. Definición física de la línea..... 17

Figura 4. Solución de ejercicios 19

Figura 5. Refracción de la luz de color rojo y azul 27

Figura 6. Representación de la proporción entre el seno de incidencia y el de refracción 29

Figura 7. Refracción de la luz del Sol..... 32

Figura 8. Taller Experimental 1.1: Imágenes coloreadas de la luz del Sol..... 46

Figura 9. Diapositivas en Power Point..... 47

Figura 10. Taller Experimental 1.2 .Construcción de sólidos y colores 49

Figura 11. Taller Experimental 1.3: Organización de la luz de colores que pasa a través de un prisma..... 52

Figura 12. Sensor fotoeléctrico 54

Figura 13. Longitud de onda de la luz de color homogénea 56

Figura 14. Taller Experimental 2.1: Caracterización de la luz de color homogéneo del Sol .. 53

Figura 15. Sensor fotoeléctrico. 57

Figura 16. Fotodiodos de Silicio y Germanio..... 59

Figura 17. Taller Experimental 2.2: Caracterización de la luz de color homogéneo del video beam..... 60

Figura 18. La imagen de la luz del Sol en el suelo antes y después de ubicar el sólido transparente. Estefanía, I.E. Escuela Normal Superior de Medellín. 06 de abril del 2016..... 64

Figura 19. Imagen de la luz del Sol en el piso al ubicar un envase de base circular y rectangular. Daniela, I.E. Francisco Miranda, 08 de abril del 2016..... 66

Figura 20. La imagen en el piso depende del material del envase de vidrio. Steven, I.E. Escuela Normal Superior de Medellín. 12 de abril del 2016..... 69

Figura 21. Rectángulo blanco que proyecta el video beam después de pasar a través de un recipiente transparente Manuela. I.E. Francisco Miranda, 04 de mayo del 2016. 71

Figura 22. Imagen del rectángulo blanco al pasar por un cuerpo transparente redondo. Frank. I.E. Francisco Miranda, 04 de mayo del 2016. 72

Figura 23. Luz de color violeta, azul y verde que incide en el sensor fotoeléctrico. Steven. I.E. Escuela Normal Superior de Medellín. 27 de abril del 2016. 77

Figura 24. Luz de color violeta, azul, verde y roja que incide sobre el sensor fotoeléctrico. Alejandra. I.E. Escuela Normal Superior de Medellín. 27 de abril del 2016..... 78

Figura 25. La luz del Sol está compuesta por la luz de color violeta, azul, verde, amarillo y roja. Daniel. I.E. Escuela Normal Superior de Medellín. 27 de abril del 2016_80

Figura 26. Protocolo ético implementado en la Institución Educativa Francisco Miranda84

Figura 27. Protocolo ético implementado en la Institución Educativa Escuela Normal Superior de Medellín.....85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de los materiales semiconductores55

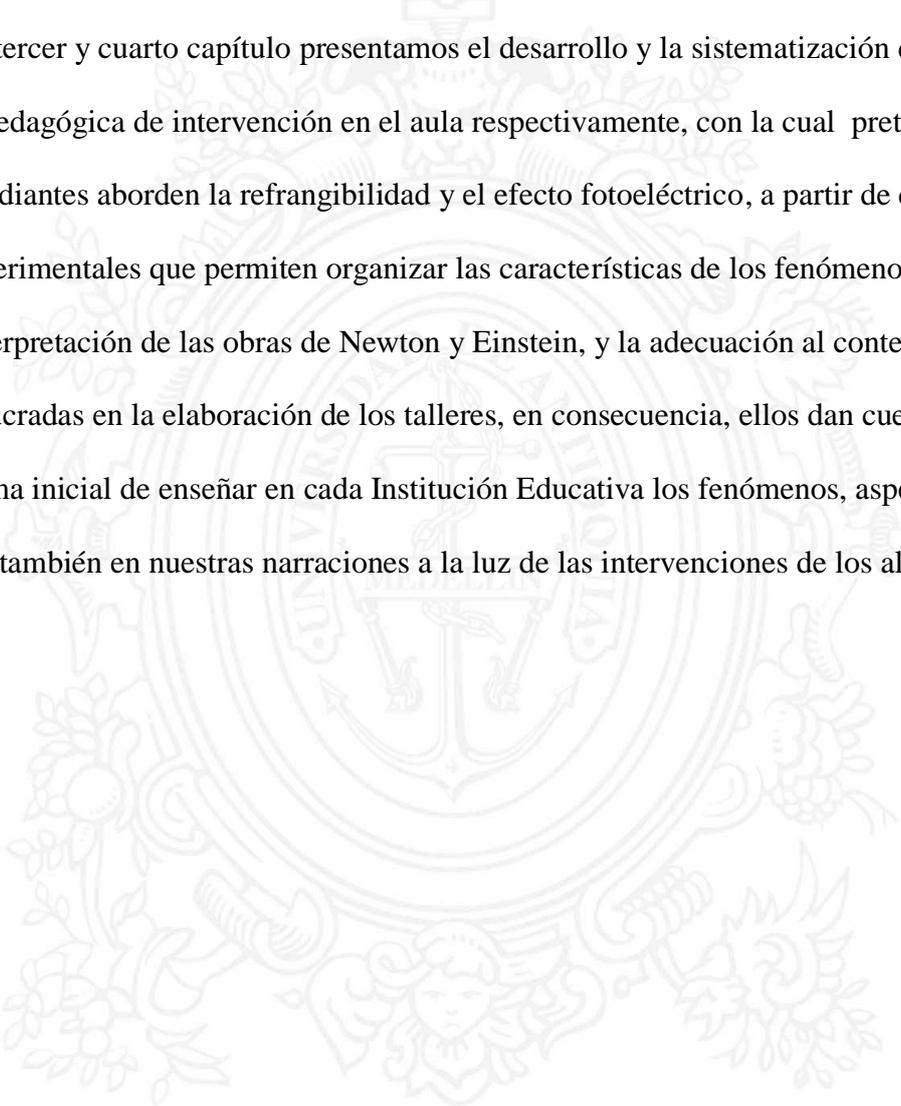
INTRODUCCIÓN

Este trabajo lo dividimos en cuatro capítulos en los cuales abordamos el desarrollo y sistematización de nuestra propuesta pedagógico – didáctica. En el primer capítulo analizamos una imagen tradicional de ciencia en la enseñanza de la luz a partir de los libros de texto. Desde esta perspectiva, evidenciamos que las teorías físicas dependen sólo de la naturaleza y no del ser humano. Por lo cual, los científicos descubren en la naturaleza los conocimientos acerca de la luz, enunciados que permanecen inmutables en el tiempo en los libros de texto que se usan para enseñar física. En consecuencia, el profesor le asigna al experimento sólo el papel de confirmador de los enunciados que los textos presentan y, una vez demostrada la teoría, se asume sin discusión y como única forma de abordar la luz en la escuela, puesto que él y los estudiantes no deciden cómo se comporta el mundo físico.

En el segundo capítulo realizamos el marco conceptual que fundamenta la investigación a partir de nuestra interpretación de la luz desde las perspectivas de Newton (1717, 1977) y Einstein (1938, 1987), analizamos la refracción y el efecto fotoeléctrico respectivamente. Abordamos el método lógico inductivo que, según nuestros análisis, Newton asumió para construir sus explicaciones acerca de la refrangibilidad de las luces de colores y de la luz del Sol. Asimismo, planteamos, desde nuestra interpretación de la obra de Einstein, que la luz está compuesta por paquetes de energía que absorben los electrones, y son emitidos cuando esta radiación incide en la superficie de ciertos metales. Además, presentamos la propuesta metodológica con la que se desarrolló la investigación. A saber, la metodología narrativa, con la cual pretendemos hacer explícita nuestra identidad profesional, reconocer nuestras intenciones involucradas en los conocimientos que les presentamos a los alumnos, y

Facultad de Educación transformar, a partir de las intervenciones en la clase, nuestra forma de relacionarnos con los objetos de enseñanza.

En el tercer y cuarto capítulo presentamos el desarrollo y la sistematización de la propuesta pedagógica de intervención en el aula respectivamente, con la cual pretendemos que los estudiantes aborden la refrangibilidad y el efecto fotoeléctrico, a partir de cinco talleres experimentales que permiten organizar las características de los fenómenos ópticos. Nuestra interpretación de las obras de Newton y Einstein, y la adecuación al contexto escolar están involucradas en la elaboración de los talleres, en consecuencia, ellos dan cuenta de nuestra forma inicial de enseñar en cada Institución Educativa los fenómenos, aspectos que analizamos también en nuestras narraciones a la luz de las intervenciones de los alumnos.



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

Capítulo 1. Nuestra imagen de ciencia involucrada en el papel que le damos al experimento y a la teoría en la enseñanza de la física

Nuestra interpretación tradicional de la ciencia y su enseñanza. El caso de las matemáticas y la física

A partir de nuestra interpretación tradicional de la ciencia y su enseñanza, consideramos que enseñar matemáticas y física a diferencia de otras materias como las ciencias sociales es fácil, puesto que dichas áreas con respecto a las ciencias humanas son estáticas y no se requiere reflexionar acerca de sus contenidos. Todos los días vemos en las noticias como el mundo social cambia, presidentes son remplazados por otros, se establecen leyes, se instalan y configuran continuamente culturas juveniles. Estos asuntos obligan a quienes enseñan ciencias sociales estar todos los días informados, para seguirle el paso y reflexionar una sociedad tan cambiante. Por otro lado, en las escuelas admitimos que las matemáticas y la física ya están realizadas, puesto que, por ejemplo, las leyes de Newton se nos presentan como algo real y, por tanto, ¿por qué entrar en discusión con ellas? Es decir, si la naturaleza quiso que la realidad fuera así, ¿cómo ir en contra de ella?, además no parece haber algo o alguien quien las altere.

Nos refugiamos en las notas de nuestros cuadernos, escritos en los cursos acreditados en la universidad para dictar las clases en los colegios, puesto que los cuestionamientos de antaño son iguales a los contemporáneos. Por ejemplo, las proposiciones y axiomas de Newton, explícitas en su trabajo de óptica y descubiertas por él en la naturaleza, son tan generales y universales que se adaptan y son aún adecuadas en nuestra época y contexto social. Las teorías están allí afuera como revelación de lo natural, a la espera de ser descubiertas por quienes estén dispuestos a poner su atención en estos asuntos.

Nuestro papel como maestros en el descubrimiento del conocimiento científico se ubica en la corroboración de la teoría, escrita en nuestros cuadernos o libros textos, para ello acudimos a los laboratorios de las escuelas, para cortejar la teoría con la naturaleza.

Confirmar la teoría implica enseñarles a los estudiantes que el mundo se comporta y es así. Tratamos de hacerles entender que esa es la forma de abordar los fenómenos, pues no conocemos otra, y, además, le damos al conocimiento un carácter universal, objetivo y atemporal, porque dicho proceso podría haberse realizado en cualquier época y lugar del mundo, los resultados serían los mismos; por ejemplo, que la velocidad de caída de los cuerpos no dependiera de su masa, ya estaba estipulado en la naturaleza incluso mucho antes de que el ser humano se preocupara por estos asuntos; es decir, nadie puede interferir con el devenir natural y, por tanto, sin importar en que momento socio histórico nos encontremos la naturaleza se nos mostrará tal cual es, sin impurezas o contradicciones.

Así no hay lugar a dudas sobre la teoría, porque un experimento la demuestra. Por ejemplo, si estamos enseñando el tema de la caída de los cuerpos, les advertimos a los estudiantes que la velocidad final de dos cuerpos soltados desde cierta altura respecto al piso será siempre igual, porque la gravedad de la tierra es igual para ambos. Así, en la clase los enunciados científicos son objetivos, únicos, universales y válidos según los experimentos.

De este modo, es coherente concentrarnos solamente en la resolución de ejercicios a partir de lo que ya se ha descubierto, aceptar que todos los fundamentos de dichos enunciados ya están hallados y acoger dicho lenguaje universal para demostrar qué tan objetivas son las matemáticas y la física. Admitimos, entonces, que la utilidad de los resultados de las teorías ya reveladas es el objeto de enseñanza y evaluación en nuestras clases de física. Dado que la enunciación científica implícita en la naturaleza posee una forma ya encontrada y establecida,

resulta apropiado ahora aplicarla y, por tanto, nos dedicamos a resolver ejercicios, cuya solución es dada y guiada por ella.

En cuanto a la ciencia, estamos de acuerdo con Ayala, Malagón y Guerrero (2004) en señalar:

Desde esta interpretación tradicional de las ciencias y su enseñanza, es posible un conocimiento del mundo donde se logre concertaciones generales o universales debido a que las afirmaciones que hacen los científicos son abordadas desde lenguajes y criterios comunes que las justifican. Por esta razón, el conocimiento científico posee una autenticidad universal, lo cual implica que las afirmaciones no dependen del lugar, tiempo y contexto social donde son descubiertos. (p.80)

Que las afirmaciones sean descubiertas conlleva a admitir un carácter objetivo para la ciencia; es decir, que ellas están en la naturaleza independientemente de si el ser humano las conoce o no. De aquí, que nosotros presentemos la ciencia en las escuelas como un aglomerado de enunciados. En la figura 1¹ damos cuenta de la única definición acerca de la propagación de la luz que nosotros llevamos a la clase de física

Otros trabajos también han puesto de relieve la física en este contexto tradicional y la forma en que se relaciona el profesor con el conocimiento científico, representaciones que se vienen dando en las escuelas y que aplicamos en nuestros cursos de física. García (2009) al respecto dice:

Desde esta perspectiva tradicional lo importante es enseñar los contenidos científicos como productos ya concluidos, la verdad es absoluta o incuestionable, la existencia de las leyes de la naturaleza no dependen de quienes las descubren y los conceptos que se deducen a partir de ellas son verdaderos y únicos, el experimento se ocupa de confirmar la teoría y le da validez universal (p.22).

¹ Pérez, H. (2006)

A partir de este habitual significado de ciencia y enseñanza, el docente se considera por fuera de la ciencia, por esta razón nosotros sólo somos los intermediarios entre ésta y los alumnos; por lo cual, es indispensable saber las definiciones, utilizar las ecuaciones matemáticas y solucionar los ejercicios; donde estas condiciones hacen parte única de nuestras forma de enseñanza. En la figura 4² presentamos dos ejercicios propuestos en un libro texto, que se resuelven sólo con fórmulas matemáticas y definiciones.

Nuestra interpretación tradicional de la luz en la enseñanza de la física.

De acuerdo con nuestra perspectiva tradicional de la física y su enseñanza, sus enunciados son incuestionables, puesto que ellos permanecen igual desde el momento en que fueron descubiertos en la naturaleza. El largo tiempo que tienen en los estantes los libros texto que utilizamos en las escuelas para enseñar física hacen que las teorías de la luz sean estáticas, las mismas cada año escolar.

Cuando comparamos las definiciones de la luz y su propagación en varios libros de secundaria, encontramos que son iguales, siempre se abordan de la misma manera. En la figura 1 presentamos la definición más recurrente. Como la naturaleza es sólo una, es unívoca la teoría.

En las escuelas abordamos la física de la misma forma en que los libros texto lo hacen (figuras 1 y 4), sin dar lugar a duda, brinda definiciones y ecuaciones matemáticas que permiten dar solución a preguntas y ejercicios. En algunos casos se procura también causar asombro, perplejidad por la secuencia matemática que lleva a las respuestas.

² Pérez, H. (2006)

Propagación rectilínea de la luz

La luz se propaga en línea recta a una velocidad aproximada de 300 mil km/s en el vacío. Una demostración experimental de este principio es el hecho de que los cuerpos produzcan sombras bien definidas. En la **FIGURA 16.2** se observa una cámara oscura que permite demostrar la propagación rectilínea de la luz.

Tipos de cuerpos: opaco, transparente y luminoso. Un cuerpo opaco es aquel que no permite el paso de la luz a través de él, por tanto, si recibe rayos luminosos proyectará una sombra definida. Un cuerpo transparente permite el paso de los rayos luminosos, por lo que se ve con claridad cualquier objeto colocado al otro lado de él. Un cuerpo translúcido deja pasar la luz, pero la difunde de tal manera que las cosas no pueden ser distinguidas claramente a través de él.



Figura 1. Cámara oscura con la cual se pretende demostrar que la luz se propaga en línea recta. Física General, Pérez.

Consideramos que la estructura del párrafo de la figura 1 es la ideal para enseñar los enunciados físicos, puesto que presenta la definición acerca de cómo viaja la luz y su demostración experimental, de una forma muy precisa, que no da lugar a dudas. Así, los libros contienen la respuesta y su comprobación. Es decir, la respuesta a las preguntas que se planteen ya están descubiertas y confrontadas con el exterior, de modo que, en el aula no se altera la forma en que se comporta la naturaleza, dado que la existencia de ella es independiente de la nuestra. La ilustración indica que al colocar un objeto que emite rayos luminosos frente a una caja oscura con un orificio, éstos forman al pasar por él una sombra

bien definida. La relación revelada que nos manifiesta el libro entre los rayos y la imagen es clara; es decir, sería imposible obtener dicha imagen si la luz no se propagara en línea recta. Pero este hallazgo muestra los datos que arroja el experimento; es decir, la sombra bien definida es producto de la manera en que obra la naturaleza.

Consideramos en primer lugar que la luz en un medio homogéneo se propaga en forma rectilínea, y su dirección de propagación estará dada por el rayo luminoso que es su abstracción geométrica. En

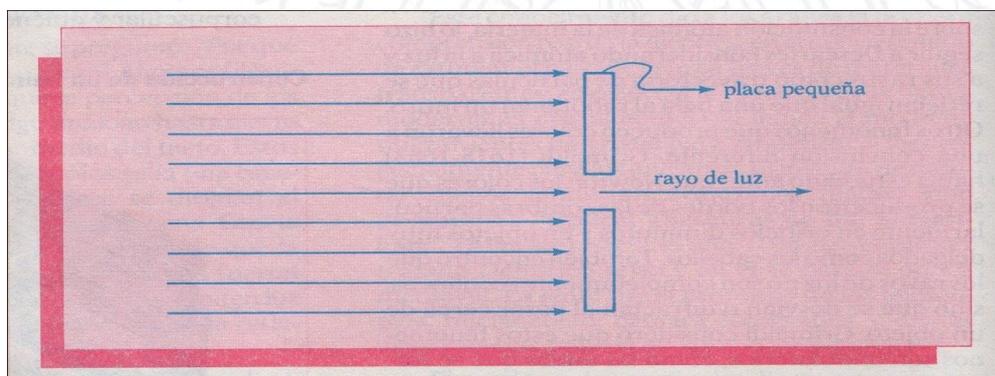


Figura 2. Diagrama que describe la propagación rectilínea de la luz.

Según un párrafo extraído de un libro texto, en la figura 2³, se admite sin discusión alguna que la luz se desplaza en línea recta, quien lo descubre revela el comportamiento de la naturaleza; es decir, el autor del libro texto presenta un diagrama que pretende demostrar que la luz viaja en forma rectilínea (definición), puesto que indica que al colocar dos placas en frente de un haz de luz un rayo continúa y el resto se detiene. Nosotros validamos el enunciado a partir de experimentos. Por ejemplo, a partir del diagrama presentado y la definición notamos que en diferentes líneas hay diferentes rayos de luz, lo cual es demostrable; es decir, si tenemos tres placas y dos aberturas, en una es posible detener la luz y en la otra dejarla pasar en el mismo momento. Este resultado le da validez absoluta y objetiva a la definición, pues independientemente de dónde o quien lo realice se encontrará el mismo efecto.

³Ramírez, R., y Villegas, M. (1989).

Asumimos a partir de esta perspectiva tradicional que los enunciados matemáticos constituyen otros ejemplos de verdades absolutas y objetivas, y esta verdad se la transmitimos a la física, al significar, por ejemplo, algo de la luz con las ecuaciones. Al respecto, ver el fragmento del libro texto que aborda la luz mediante operaciones matemáticas en la figura 4. Así, los resultados cuantitativos de algunos ejercicios resultan incuestionables. En consecuencia, por ejemplo, al establecer correspondencias entre aspectos físicos y definiciones de la geometría euclidiana, le estamos otorgando también la validez objetiva y absoluta de las matemáticas a los descubrimientos. En la figura 3⁴ presentamos los enunciados físicos que, en un libro texto, se hacen corresponder con la línea en la geometría euclidiana.

Como los resultados de las matemáticas son incuestionables y habiendo ya demostrado experimentalmente que la luz viaja en forma rectilínea, entonces utilizamos las operaciones matemáticas o los teoremas ya deducidos de los postulados para demostrar más enunciados físicos para así llegar a verdades universales.

Los diagramas geométricos que describen situaciones experimentales, como los de la figura 3, desempeñan el papel de demostrar la teoría. La precisión de las matemáticas nos ha llevado a aceptar que sus conocimientos son verdades absolutas y universales. y, por tanto, ¿cómo describir y demostrar con más exactitud lo que observamos? Consideramos además que no es posible darle un tratamiento matemático distinto que conlleve a respuestas diferentes, puesto que la certeza del lenguaje formal de las matemáticas nos ha demostrado que no es posible encontrar dos soluciones para un mismo problema. Es decir, en el caso de los ángulos respecto a la normal, la superficie y los rayos incidentes y reflejados que expone la definición, en la figura 3, siempre serán iguales sin importar el procedimiento matemático elegido. Que le hagamos corresponder a una definición de la geometría euclidiana un enunciado físico y podamos demostrar con ello, por ejemplo, la distancia del espejo a la

⁴Pérez, H. (2006).

imagen virtual, nos confirma, sin lugar a dudas, que la luz se desplaza en forma rectilínea y, por tanto, nos lleve a aceptar de forma absoluta la teoría corpuscular descubierta por Newton.

Al respecto Einstein (Op.cit.) nos dice que “todos los cuerpos luminosos emiten partículas, corpúsculos de luz... Estos deben desplazarse a lo largo de líneas rectas a través del vacío con la velocidad conocida, trayendo a nuestros ojos los mensajes de los cuerpos que estén emitiendo luz” (p.78)

1. El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado se encuentran en un mismo plano.
2. El ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia.

En la **FIGURA 16.8** se representan dichas leyes; A — B representa la superficie del espejo; N — N' es una línea imaginaria perpendicular a la superficie reflectora en el punto donde incide el rayo de luz y recibe el nombre de **normal**; I es el rayo incidente; R es el rayo reflejado; i es el ángulo de incidencia; r es el ángulo de reflexión, y O es el punto donde incide el rayo I.

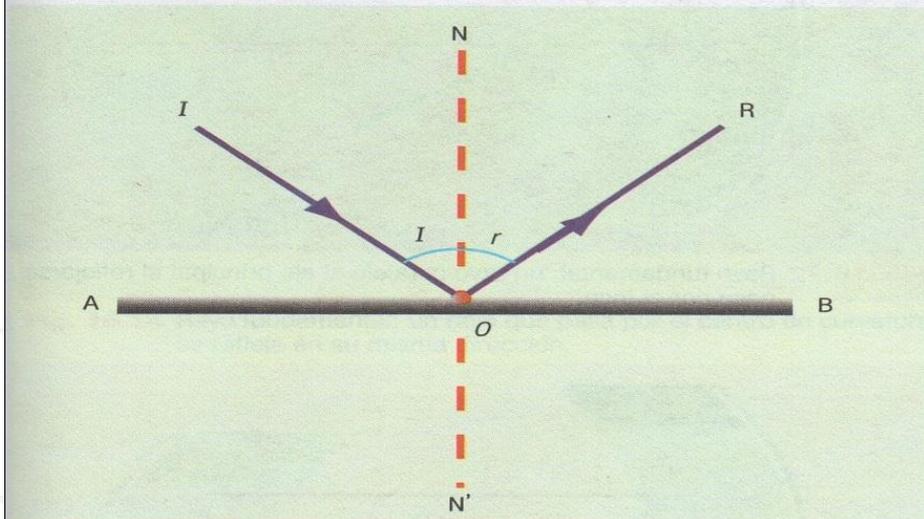


Figura 3. Definición física de línea. Física General, Pérez

Los ejercicios y problemas propuestos al final de cada capítulo del libro texto constituyen nuestros objetos de evaluación, puesto que encontrar la utilidad de las definiciones ya demostradas con los experimentos es lo relevante en la enseñanza de la física. Después de que nosotros exponemos las teorías ya descubiertas acerca de la propagación rectilínea de la luz y su posterior confrontación con la naturaleza, les solicitamos a los estudiantes que resuelvan ejercicios similares a los que nos presenta el fragmento de un libro texto en la figura 4. Con los ejercicios se pretende que los estudiantes utilicen las teorías en diversas situaciones, para que su extensa aplicabilidad reafirme su validez absoluta: como única teoría correcta descubierta en el universo.

En la mayoría de los casos consideramos que estos ejercicios se caracterizan por requerir un amplio dominio de las definiciones matemáticas y de las ecuaciones físicas otorgadas por los enunciados físicos; en consecuencia, lo que evaluamos es si el estudiante emplea correctamente las definiciones matemáticas en la resolución de ejercicios.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

Características de las imágenes formadas en las lentes

1. Una lente convergente tiene una distancia focal de 10 cm y se coloca frente a ella un objeto de 3 cm a una distancia de 12 cm de la lente. Determinar:

- a) ¿A qué distancia de la lente se forma la imagen?
 b) ¿Cuál es su tamaño?

Solución:

Datos

$$f = 10 \text{ cm}$$

$$O = 3 \text{ cm}$$

$$x = 12 \text{ cm} - 10 \text{ cm} = 2 \text{ cm}$$

a) $s' = ?$

b) $i = ?$

Fórmulas

a) $s' = f + x'$

$$xx' = f^2 \therefore x' = \frac{f^2}{x}$$

b) $\frac{O}{i} = \frac{x}{f} \therefore i = \frac{Of}{x}$

Sustitución y resultados

a) $x' = \frac{f^2}{x} = \frac{(10 \text{ cm})^2}{2 \text{ cm}} = 50 \text{ cm}$

Como x' representa la distancia entre la imagen y el foco, la distancia de la lente a la que se forma la imagen, es decir, s' será:

$$s' = f + x' = 10 \text{ cm} + 50 \text{ cm} = 60 \text{ cm}$$

b) $i = \frac{Of}{x} = \frac{3 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}}{2 \text{ cm}} = 15 \text{ cm}$

La imagen será mayor, real y se formará a 60 cm de la lente.

2. Un objeto de 4 cm se coloca a 20 cm de una lente convergente que tiene una distancia focal de 12 cm.

Calcular:

- a) ¿A qué distancia de la lente se forma la imagen?
 b) ¿Cuál es su tamaño?

Solución:

Datos

$$O = 4 \text{ cm}$$

$$s = 20 \text{ cm}$$

$$f = 12 \text{ cm}$$

$$x = 20 \text{ cm} - 12 \text{ cm}$$

$$= 8 \text{ cm}$$

a) $s' = ?$

b) $i = ?$

Fórmulas

a) $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \therefore \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s}$

b) $\frac{O}{i} = \frac{x}{f} \therefore i = \frac{Of}{x}$

Sustitución y resultados

a) $\frac{1}{s'} = \frac{1}{12 \text{ cm}} - \frac{1}{20 \text{ cm}} = 0.083 - 0.05 = 0.033$

$$s' = \frac{1}{0.033} = 30.3 \text{ cm}$$

b) $i = \frac{4 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}}{8 \text{ cm}} = 6 \text{ cm}$

3. Un objeto se coloca a una distancia de 8 cm de una lente convergente cuya distancia focal es de 14 cm. Determinar a qué distancia de la lente se forma la imagen.

Solución:

Datos

$$s = 8 \text{ cm}$$

$$f = 14 \text{ cm}$$

$s' = ?$

Fórmula

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \therefore \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s}$$

Figura 4. Solución de ejercicios. Física General, Pérez

Algunos cuestionamientos sobre nuestra interpretación

Ser consecuentes con nuestra perspectiva tradicional de la ciencia implica reconocer, entonces, que la ciencia es objetiva, puesto que ella se demuestra con experimentos cuyos resultados no pueden ser alterados por el ser humano. En el caso de la luz, por ejemplo, es indiscutible que ella está compuesta por corpúsculos que se propagan en línea recta, dado que al colocar un cuerpo luminoso en frente de dos placas es posible dejar pasar un rayo por una abertura mientras simultáneamente se tapa la otra. Siendo este conocimiento objetivo y universalmente válido según nuestra interpretación tradicional de ciencia, ¿cómo le explicamos a los estudiantes que al situar un objeto con dimensiones similares a las de una moneda al frente de un cuerpo luminoso, la sombra que obtenemos de él no se da bien definida? Esta sombra o resultado que presenta el experimento no es posible explicárselas a los estudiantes si se considera que la luz es una mezcla de corpúsculos que se propagan en línea recta, dado que ellos no pueden bordear obstáculos. Como se mencionó anteriormente, la teoría corpuscular descubierta por Newton había sido demostrada en el salón de clases por un experimento, dándole este proceso una validez absoluta, objetiva y universal.

Si los enunciados encontrados en el mundo no pueden ser modificados y son objetivos, independientes del sujeto. Una prueba experimental, cuyos resultados no fueron alterados por los sujetos, nos llevó a aceptar sin discusión que la luz se propaga en línea recta, pero otro experimento manifiesta que esta propagación no se da de dicha forma, ¿acaso la naturaleza no se ha puesto de acuerdo consigo misma?

Sin entrar en detalles y tratando de ser aún consecuentes con nuestra perspectiva tradicional de ciencia ya expresada, Huygens y Fresnel (1945) nos presentan otro descubrimiento en la naturaleza con el cual se puede abordar este resultado experimental, al respecto dicen. “La luz llega desde el cuerpo luminoso hasta nosotros, por algún movimiento impreso a la materia que se encuentra entre los dos, puesto que no puede serlo debido al

transporte de un cuerpo que pasa del uno al otro” (p.39). Contrario al hallazgo que

realizó Newton acerca de la luz como una mezcla de corpúsculos luminosos que se propagan en línea recta. Ambos hallazgos diferentes entre sí representan un problema para nuestra interpretación acerca de la ciencia y su enseñanza, puesto que según ella los conocimientos descubiertos en el mundo son indiscutibles, permanecen iguales desde el momento de su revelación, es decir, sin que ningún ser humano los altere porque nadie decide el cómo se debe comportar la naturaleza.

Desde esta perspectiva tradicional, las respuestas ocultas en el universo se contradicen entre sí y en consecuencia ¿la verdad absoluta no es más que una ilusión? Otro hallazgo que discrepa con los dos anteriores y que no permite explicar al igual que la teoría corpuscular de Newton el resultado de la sombra, es el que nos presenta la teoría de los cuantos de luz. Al respecto Einstein (Op. cit.) establece que. “la estructura de la luz está formada por cuantos luminosos, pequeñas porciones de energía o fotones que viajan por el espacio vacío con una velocidad de, aproximadamente, 300 000 kilómetros por segundo” (p.195).

Suponer que la naturaleza obra de una manera imperfecta debido al descubrimiento de tres teorías incompatibles entre sí en ella nos parece una hipótesis muy forzada, lo cual nos lleva a cuestionarnos acerca del papel del experimento en la física y, por supuesto, en la enseñanza, es decir, ¿es posible llegar a verdades absolutas a partir de las demostraciones experimentales de las teorías, qué implica esto en la enseñanza de la física?

De acuerdo con estos primeros trazos acerca del experimento como verificador y fuente de enunciados científicos objetivos, si la verdad absoluta no se presenta en la confrontación entre la teoría y el experimento, entonces ¿qué entender por verdad en la ciencia y cómo abordarla en nuestras clases de física? Además, ¿hasta qué punto en la naturaleza se encuentran las teorías?, en otras palabras, si las teorías que decimos encontrar en el mundo no aluden la discusión; entonces, ¿la ciencia es objetiva?

Presentar una imagen de ciencia en la cual está ausente el sujeto en el proceso que permite obtener la teoría científica nos ha llevado a suprimir en nuestras clases de física la deliberación o análisis y toma de decisiones acerca de este proceso, por lo cual nos preguntamos ¿qué papel desempeña el ser humano en la ciencia, qué implica esto en la enseñanza de la física?

Ser consecuentes con nuestra imagen de ciencia implica, entonces, presentarles a los estudiantes una ciencia en la cual el conocimiento es objetivo, absoluto y se descubre. Puesto que nuestra imagen de ciencia está involucrada en la manera en que enseñamos la física, nos planteamos la siguiente pregunta de investigación ¿qué imagen de ciencia tenemos y cómo intervenimos en los cuestionamientos que ella nos genera en la clase a partir del papel que le damos al experimento y a la teoría en la enseñanza de la física, el caso de la luz desde la perspectiva de Newton y Einstein?

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

OBJETIVOS

General

Contribuir a las reflexiones sobre el papel de la teoría y el experimento en la clase de física, a través de una fundamentación teórica y la implementación de una propuesta pedagógica centrada en la refracción de la luz y el efecto fotoeléctrico.

Específico

Analizar las explicaciones que sobre los fenómenos ópticos elaboran los estudiantes, como producto de la socialización entre ellos, durante el desarrollo de actividades experimentales centradas en la construcción de la refracción de la luz y el efecto fotoeléctrico.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

Capítulo 2. Nuestra interpretación de la Óptica a la luz de las perspectivas de Newton y Einstein

El caso de la refrangibilidad

La inducción en la Óptica de Newton

Consideramos que la intención de Newton en su obra Óptica es abordar la luz desde la lógica inductiva. Al respecto Newton (Op. cit.) refiere: “En este libro no pretendo explicar mediante hipótesis las propiedades de la luz, sino presentarlas y probarlas mediante la razón y los experimentos” (p.9). Es decir, él procura a partir de un conjunto de observaciones construir las propiedades de la luz, las cuales abarcan no sólo los resultados de los experimentos ya realizados, sino también los resultados de las observaciones aún no efectuadas que apoyarán las propiedades, la teoría.

En cuanto al apoyo que recibe la teoría del experimento a la luz del método lógico inductivo, Solís (1994) dice: “Es un procedimiento lógico de transmisión de significado y valor de verdad desde los enunciados de observación a los enunciados de las teorías” (p.22). Por lo cual, establecemos que cada observación realizada en los experimentos y descrita por Newton que favorece las propiedades de la luz que él presenta, le transmite un valor de verdad a sus construcciones teóricas.

La refrangibilidad de los colores

Consideramos que es a partir de las observaciones elaboradas en algunos experimentos, más adelante explicitadas, que Newton (Op. cit.) presenta su primera proposición: “La luz que difiere en color, difiere también en grado de refrangibilidad” (p.27). Como el experimento confiere valor de verdad y significado a este enunciado, notamos que las características de los prismas, colores, del papel y su disposición en los montajes que Newton construyó y utilizó, eran descritas con detalle por él en sus enunciados de observación.

En cuanto al papel y colores utilizados en su primer experimento, Newton (Ibídem) dice: “Tomé un papel rígido de forma oblonga, limitado por lados paralelos, y lo dividí en

dos partes iguales mediante una línea recta perpendicular, trazada de uno a otro lado.

Una de las partes la pinté de rojo y la otra de azul. El papel era muy negro y los colores intensos”. Pensamos que el papel rígido permite que sus bordes no se doblen y pierda así la inclinación que él le otorgó durante la realización del experimento. Que los lados del papel oblongo sean paralelos implica que éstos deban ser rectos para que al trazar la perpendicular, ambos lados sean exactamente iguales y se disponga así de la misma cantidad de color rojo y azul. El papel debe ser muy negro para que los colores sean muy intensos.

Newton (Ibídem) continúa: “Observé dicho papel a través de un prisma sólido de cristal, siendo el par de lados, a través de los cuales la luz llegaba al ojo, planos y bien pulidos”. Establecemos que el cristal con el cual fue elaborado el prisma asegura la rigidez del sólido y su transparencia, es decir, impide que se doble y hunda hacia el interior del cuerpo sus lados cuando se utiliza, y permite observar el papel a través de él. Newton (Ibídem) además especifica el grado entre los lados: “El ángulo de refracción del prisma era de unos sesenta grados”. Él no establece los dos ángulos restantes del triángulo que forma el prisma, por lo cual no nos es posible determinar si los dos planos ocupan igual área.

En cuanto a la disposición de estas herramientas en el montaje, Newton (Ibídem) dice: “Mientras observaba el papel, lo sostenía junto con el prisma ante la ventana, de modo que los bordes del papel fuesen paralelos al prisma, y tanto dichos bordes como el prisma y la línea transversal, paralelos al horizonte”. Al respecto observar la figura 5. Como ya hemos dicho, la inclinación respecto al horizonte que él desea obtener mientras hace las observaciones, exige que el material con el cual se elabora el prisma permita que sea rígido, de lo contrario no se podría mantener esta inclinación en el tiempo.

Asimismo, Newton (Ibídem) dice de la luz.” La luz que caía sobre el papel, procedente de la ventana, formaba con este un ángulo igual al que formaba con el papel la luz que de este se reflejaba hacia el ojo”. Observamos que esta disposición de la luz da cuenta de su interés

Facultad de Educación en hacer que el montaje cumpla las condiciones que permiten establecer cuándo la luz de un color es más o menos refrangible que otra.

Newton (Ibídem) define la refrangibilidad de la luz como sigue: “La refrangibilidad de los rayos de luz es su disposición a desviarse de su camino al pasar de un cuerpo o medio transparente a otro. La mayor o menor refrangibilidad de los rayos es su disposición a desviarse más o menos de su camino, dadas iguales incidencias en el mismo medio” (p.10). El proceso que Newton lleva hasta el momento, lo interpretamos así: él posee un cuarto en el cual tiene dos medios: aire y cristal. Esto es, dos cuerpos transparentes por los cuales la luz del Sol, la del color rojo y azul se propagan. Se espera que al ser ambos medios distintos, la luz no siga, por ejemplo, en el cristal, el mismo camino que traía antes de estar en él. Newton además establece que los ángulos entre el rayo de color rojo y el azul, el papel y el punto en el cual se encuentran son iguales. Con esto se garantiza que en un mismo medio (cristal) la luz que proviene de la parte roja y azul del papel incida o tengan el mismo camino cuando llegan a él (prisma). La disposición de las herramientas así permite la posterior comparación de la refrangibilidad de ambos colores con ellos mismos.

Por lo anterior, Newton (Ibídem) dice: “Habiendo puesto así las cosas, descubrí que si giraba hacia arriba el ángulo de refracción del prisma, su mitad azul se elevaba más que su otra mitad roja. Pero cuando giraba hacia abajo el ángulo, su mitad azul descendía más que la parte roja” (p.28). De acuerdo con la observación de Newton, la luz azul se desvía más del camino que la roja al girar dicho ángulo hacia arriba y abajo. A partir de este enunciado, consideramos que él le transmite un valor de verdad a su primera proposición, puesto que Newton (Ibídem) establece. “En ambos casos, la luz proveniente de la parte azul del papel sufre una refracción mayor que la luz proveniente de la mitad roja, por lo que es más refrangible”.

Newton abarca en su proposición todos los colores, por lo cual nosotros esperamos que al realizar el experimento con un papel de color verde y violeta, se nos presente una diferencia en los trayectos recorridos por ambos rayos al ser observados a través del prisma.

En la figura 5⁵ se presenta el montaje realizado por Newton, donde MN es la ventana del cuarto, ac el prisma triangular, DE el papel oblongo, donde DG es la parte azul, de y $\delta\epsilon$ es el papel observado a través del prisma cuando se gira el ángulo de refrangibilidad (BAC y bac) hacia arriba y abajo respectivamente.

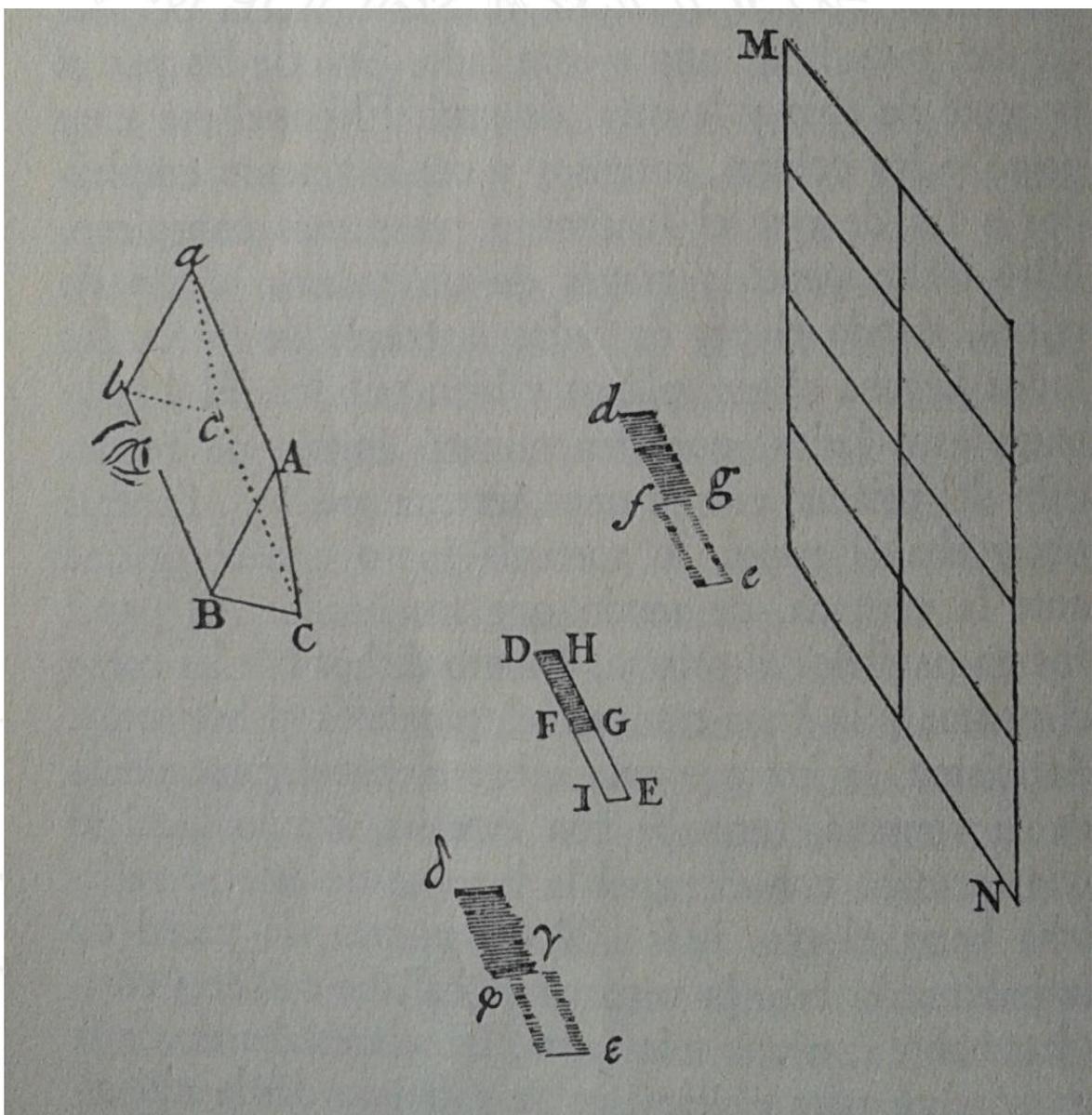


Figura 5. Refracción de la luz de color rojo y azul. Newton

⁵ Newton, I. (1977).

La geometría física en la óptica

Newton define con representaciones físicas algunos conceptos de la geometría euclidiana. Es decir, consideramos que le da un significado físico a línea, ángulo y punto de esta geometría. Al respecto Newton (Ibídem) dice: “El ángulo de incidencia es aquel ángulo contenido entre la línea descrita por el rayo incidente y la perpendicular a la superficie reflectante o refractante en el punto de incidencia” (p.11). En otras palabras, establecemos que él define la línea recta como el trayecto que describen los rayos de luz cuando se propagan en el tiempo desde los cuerpos brillantes, por lo cual representa los rayos incidentes, reflejados y refractados con dichas líneas. Estos rayos se propagan en el tiempo porque según Newton (Ibídem). “Por rayos de luz entiendo las partes menores de la misma, tanto las sucesivas en la misma línea como las contemporáneas en diversas líneas... Y la luz se propaga en el tiempo” (p.10).

Determinamos que Newton también asume la superficie de los objetos refractantes como líneas rectas. El rayo refractado, que describe un trayecto diferente en el medio al cual llega el incidente, y la superficie refractante forman donde se encuentran un punto físico. Esta representación física de los términos de la geometría euclidiana, suponemos que implica pasar de una geometría pura a una física, puesto que la formal está desprovista de contenido empírico. Es decir, según Hempel (1985): “La interpretación física transforma una teoría geométrica pura dada –euclídea o no- en su sistema de hipótesis físicas que, si es verdadero, puede considerarse que constituye una teoría de la estructura del espacio físico” (p.7).

Las proporciones en la refracción de la luz

En su quinto axioma Newton (Op. cit.) establece: “El seno de incidencia y el de refracción están entre sí en una razón exacta o casi exacta” (p.13). Es decir, al dividir el seno del ángulo de incidencia entre el seno del ángulo de refracción, ángulos que forman el rayo incidente y el refractado con una línea perpendicular a la superficie y su punto de encuentro respectivamente, se obtiene una constante. Consideramos, a partir de este postulado, que si

para todos los rayos de luz que emite un cuerpo brillante la razón entre los senos es igual, entonces son igualmente refrangibles. Esta conclusión la deducimos de este axioma, puesto que Newton hace referencia en él a los rayos de igual color que inciden de un medio a otro. La razón depende del medio desde el cual incide y se refracta el rayo de luz, por lo cual al variar el color de los rayos o ambos medios se requiere de constantes distintas.

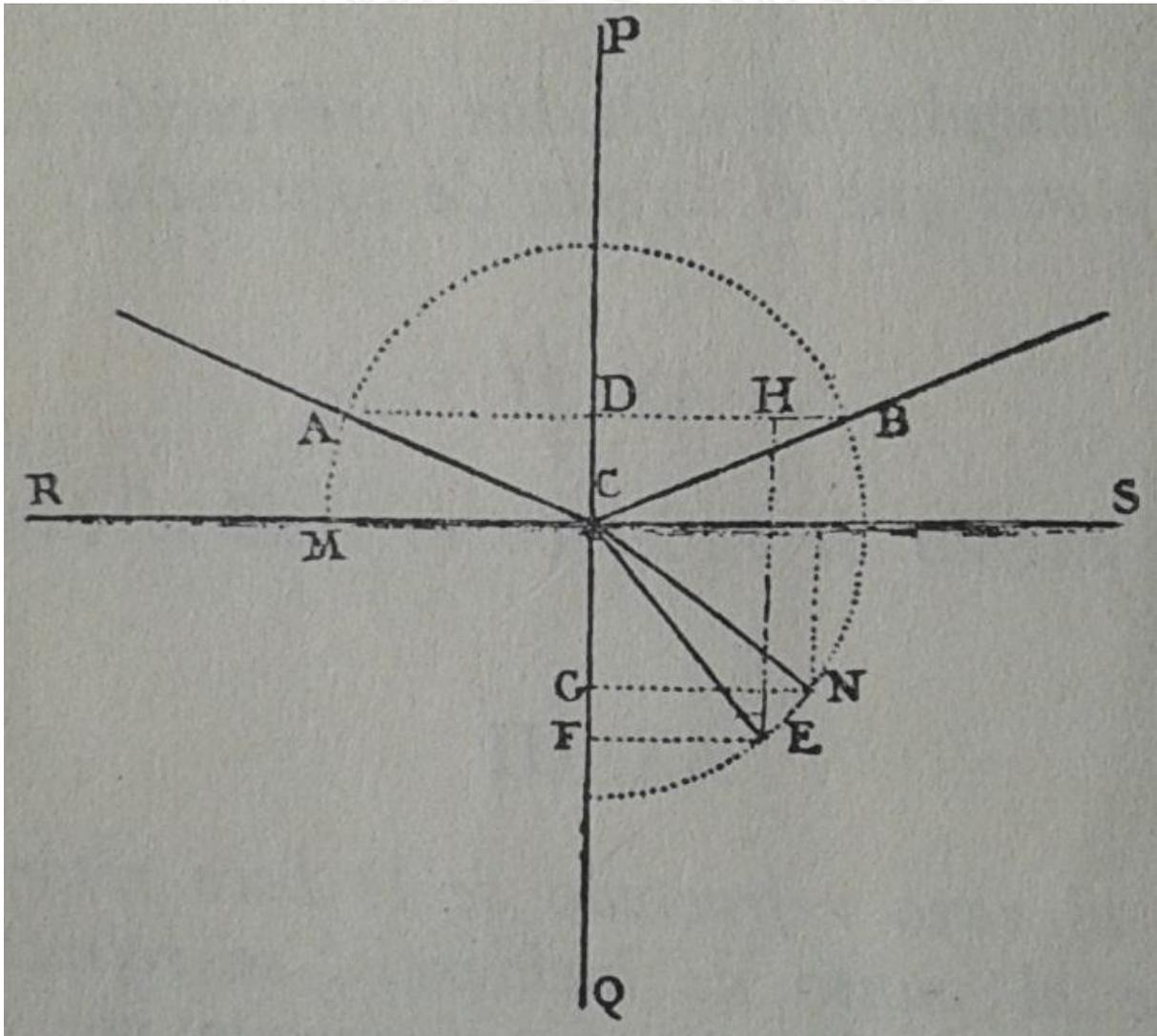


Figura 6. Representación de la proporción entre el seno de incidencia y el de refracción. Newton

En la figura 6⁶ sea AC y ACD el rayo de luz y ángulo incidente respectivamente, CE y FCE el rayo y ángulo refractado respectivamente, y PQ la perpendicular a la superficie refractante RS que separa el medio 1 y 2. Escribimos la razón que propone Newton como sigue: $\frac{\sin ACD}{\sin FCE} = k$. La igualdad anterior es nuestra interpretación del quinto axioma y no de Newton, puesto que él se valió de analogías para dar cuenta de este resultado. Es decir, Newton (Ibídem) refiere: “Si la refracción tiene lugar pasando del aire al agua, el seno de incidencia de la luz roja es al seno de refracción como 4 a 3” (p.14)

En la figura 6 sea RS una superficie refractora que separa el aire y agua, AC un rayo de luz roja que incide en C , y MBE parte de una circunferencia con centro en C y radio CA . Para Newton, el segmento AD de longitud 4 es el seno de incidencia de la luz roja. Para graficar el rayo refractado, él prolonga el segmento AD hasta H donde la longitud del segmento DH es 3. Por tanto, siendo FE y DH paralelos a RS , y HE paralelo a DF , la longitud de FE , el seno de refracción de la luz roja, es 3. Por lo cual, AD es a FE como 4 a 3. Que es la analogía que establece Newton.

Es decir, los interpretamos así: como CA y CE son radios de la circunferencia MBE , ambos son iguales. Por tanto, al dividir el seno del ángulo ACD entre el seno del ángulo FCE , la hipotenusa de ambos se cancelan, por lo cual la división resulta ser 4 sobre 3. Esto es:

$$\frac{AD}{FE} = \frac{4}{3}. \text{ Esta igualdad es nuestra interpretación de la analogía de Newton y no de él.}$$

Observamos que Newton utiliza en la representación de su analogía algunos teoremas de la geometría euclidiana, sin demostrarlos con los conceptos primitivos ya definidos con aspectos empíricos. Al respecto Hempel (Op. Cit.) dice: “Si todo término geométrico se toma ahora con su significación física, todo postulado y todo teorema de la teoría considerada se convierte en una afirmación de la física” (p.7). Por lo cual, Newton dispuso de todos los teoremas ya demostrados de esta geometría en su trabajo, sin tener que demostrarlos.

⁶ Newton, I. (1977).

La refrangibilidad de los rayos del Sol

Consideramos que Newton observa en la luz que utiliza en sus experimentos rayos que describen líneas al propagarse, puntos y ángulos que forman con las superficies. Él espera en sus observaciones poder medir un ángulo de incidencia distinto al refractado cuando la luz cambia de medio, o de acuerdo a su primera proposición, notar que los ángulos de refracción son distintos para dos rayos que difieren en color e inciden con el mismo ángulo en otro medio. Al respecto Kuhn (1980) afirma: “La educación científica inculca lo que la comunidad científica conquistó anteriormente con dificultad: una profunda adhesión a un modo particular de contemplar el mundo y de practicar la ciencia en él” (p.81). Un sólo resultado que vaya en contra de lo que él espera observar, implica que la teoría es falsa, por lo cual se debe modificar de manera que este resultado lo abarque el enunciado teórico.

Quienes observaban en la luz del Sol, al igual que Newton, rayos que se propagaban en el tiempo y aceptaban los axiomas y definiciones propuestas por él para realizar sus trabajos, consideraban que la luz de esta estrella tenía rayos de igual refrangibilidad. Es decir, sus rayos se refractan con igual ángulo al incidir con la misma inclinación con respecto a la superficie del otro medio transparente. Este enunciado implica, según el quinto postulado, que la razón entre los senos de incidencia y refracción se mantiene para todos los rayos que componen la luz del Sol.

Newton observó en un experimento un contraejemplo y lo describió en su obra *Óptica*, en el cual la inclinación de incidencia de los rayos del Sol, con respecto a la superficie de un prisma transparente, no era la misma cuando estos rayos emergen del cuerpo. Entendemos que esta igualdad entre las inclinaciones se esperaba cuando el ángulo de refracción de un rayo proveniente de la parte superior del Sol, y que pasaba a través de un agujero hacia una habitación oscura hasta el prisma triangular, fuese igual al ángulo de incidencia del rayo que

recorría el mismo trayecto que el otro rayo, pero que provenía de la parte inferior del Sol e incidía ya no en la primera cara del prisma, sino en la segunda.

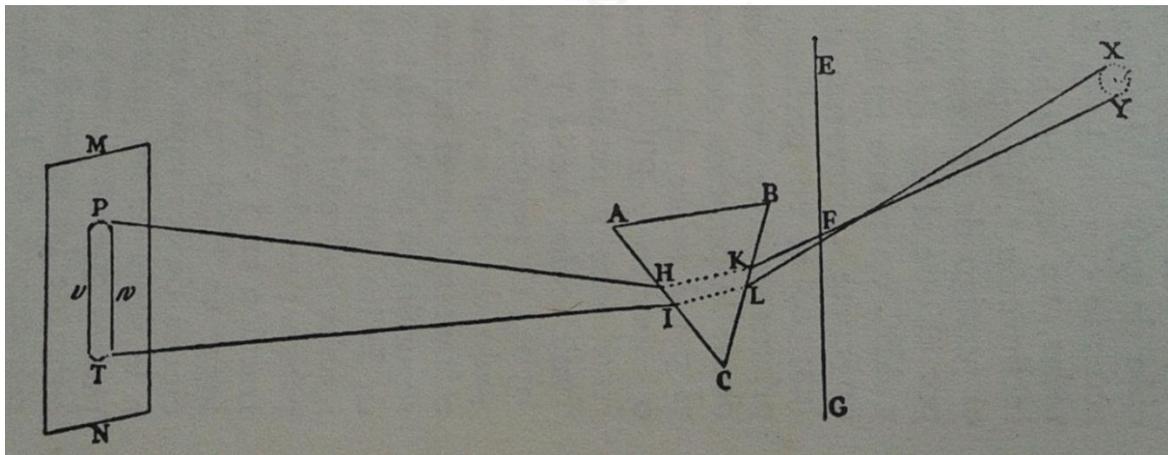


Figura 7. Refracción de la luz del Sol. Newton

En la figura 7⁷ sea XL y YK el rayo que proviene de la parte superior e inferior del Sol XY respectivamente, EG es la ventana de la habitación oscura, donde F es el agujero, ABC es el prisma triangular. El ángulo de incidencia del rayo KH en la cara AC del prisma es igual al ángulo de refracción del rayo XL en la cara BC .

Para abarcar el resultado de esta observación Newton (Op. cit.) presenta su segunda proposición: “La luz del Sol consta de rayos de diferente refrangibilidad” (p.32). Al igual que en la primera proposición, notamos que él describe con detalle las características de las herramientas y su disposición en el experimento con el cual se logra observar el contraejemplo, puesto que el enunciado de observación le confiere significados al enunciado teórico.

En cuanto a la habitación, Newton establece que debe estar oscura y debe tener una ventana a la cual la luz del Sol llegue. Con respecto a las dimensiones del agujero, hecho en la ventana, por donde ingresa la luz, Newton (Ibídem) dice: “Es un agujero redondo de aproximadamente un tercio de pulgada”. Newton no establece el por qué debía ser redondo, pero observamos que él consideraba el Sol como una esfera, puesto que lo representa con circunferencias en sus ilustraciones, por lo cual el agujero debía mantener esta

⁷ Newton, I. (1977).

forma. En el frente de luz, de forma circular que pasaba por el agujero, Newton colocó un prisma de vidrio por el cual dicha luz pudiese pasar y, por tanto, refractarse en sus caras interiores hasta llegar a la pared opuesta a la ventana y formar allí una imagen. Notamos que él esperaba que la luz se refractara al pasar del aire al cristal y del cristal al aire, puesto que ambos medios son distintos y transparentes. En la figura 7 sea *MN* la pared opuesta a la ventana y *PT* la imagen allí formada.

El prisma que Newton utilizó para este experimento fue triangular, por lo cual él dispone una de las dos caras en forma de triángulo paralela al piso de la habitación, donde la luz pasa por una de las tres caras rectangulares y sale por la otra. Para lograr que los dos rayos del Sol provenientes de la parte superior e inferior de él formaran con el prisma los ángulos de incidencia y de refracción que ya expusimos, Newton giró el prisma en torno al eje perpendicular a las dos caras triangulares y observó como la imagen en la pared de la habitación ascendía y descendía. Al respecto Newton (Ibídem) dice: “En aquella posición entre el ascenso y el descenso en la que la imagen parecía estacionaria detuve el prisma y lo fijé para que no se moviese. En esa posición resultan ser iguales las refracciones de la luz en ambas caras de refracción”.

Las características de la imagen que en la pared de la habitación se obtiene, es descrita por Newton con detalle, puesto que en su forma y dimensiones está involucrada la refracción de los rayos que pasan por el agujero o la luz del Sol. En cuanto a su forma, Newton (1977) dice. “Esta imagen no era ovalada, sino oblonga y limitada por dos lados paralelos y rectilíneos y por dos extremos semicirculares” (p.33). Consideramos que él esperaba que la imagen en la pared fuese redonda, porque si todos los rayos del Sol mantienen una razón constante entre los senos de incidencia y refracción, entonces los ángulos de las refracciones en las caras del prisma serían iguales.

La inclinación de los rayos que salen del prisma y forman la imagen en la pared, también da cuenta de la refrangibilidad de la luz, por lo cual Newton (Ibídem) dice. “La anchura de la imagen respondía al diámetro del Sol, siendo de unas dos pulgadas y un octavo” (p.33). Por lo tanto, observamos que si los rayos del Sol son igualmente refrangibles, entonces, el ángulo entre los rayos incidentes y el punto en el cual se encuentran en el prisma hacen que el diámetro del Sol sea de dos pulgadas y un octavo. Él no observa en los rayos incidentes dicho diámetro, puesto que Newton (Ibídem) dice: “Subtendía en el prisma un ángulo de medio grado aproximadamente, que corresponde al diámetro aparente del Sol”.

En cuanto a la inclinación de los dos rayos emergentes del prisma, que formaban entre ellos y el punto donde se encontraban en dicho cuerpo un diámetro de dos pulgadas y un octavo, Newton (Ibídem) manifiesta: “Sin embargo, de acuerdo con las leyes de la óptica normalmente aceptadas, no era posible que mantuviesen entre sí tal inclinación” (p.36). Como la inclinación con respecto a la superficie del prisma de los rayos incidentes y refractados no eran iguales, y la imagen no era redonda, sino oblonga, entonces Newton (Ibídem) concluye: “Para incidencias iguales, hay una considerable desigualdad de refracciones” (p. 38). Por lo cual los rayos del Sol no son igualmente refrangibles.

Nuestra interpretación de la teoría cuántica de la luz desde la perspectiva de Einstein

Aproximación al cuanto

Notamos que la distancia entre un punto específico A dentro de la biblioteca central de la Universidad de Antioquia y una persona en el punto B , puede reducirse de manera continua. Es decir, la distancia con respecto al punto de salida B entre la persona y el punto A puede disminuir tanto como el sujeto desee acercarse a dicho punto.

Si la persona está ubicada afuera de la biblioteca en el punto B y no tiene acceso al interior donde se encuentra el punto A , entonces observamos que la distancia entre la persona y el punto A con respecto al punto B se reduce de manera discontinua. Esto es, existe una

distancia mínima a la cual él se puede acercar hasta ese punto. Esta diferencia o distancia indivisible entre la persona y el punto A con respecto al punto B Einstein la denomina el cuanto mínimo de dicha distancia. Al respecto, Einstein (Op. Cit.) dice: “Ciertas magnitudes cambian de una manera continua y otras discontinuamente, es decir, por cantidades que no se pueden reducir indefinidamente. Estos pasos indivisibles se llaman cuantos elementales de la magnitud en cuestión” (p.86).

La teoría cuántica de la luz

Según esta teoría, la radiación transporta energía que no se puede reducir indefinidamente. Es decir, consideramos que al igual que la distancia entre la persona y el punto A con respecto a B cuando él no puede ingresar a la biblioteca, la luz está compuesta por cuantos mínimos de energía que se denominan fotones. Al respecto, Einstein (Ibídem) dice: “Cuantos de luz, que llamaremos fotones, pequeñas porciones de energía que viajan por el espacio con la velocidad de la luz” (p.193). Esta velocidad es de $3 \times 10^8 m/s$ según él.

De acuerdo con esta teoría, establecemos que a cada luz de color homogéneo, que no está mezclada con otros colores, le corresponde una longitud de onda que determina la energía que transporta dicha radiación. Por lo cual, Einstein (Ibídem) refiere: “La energía de un cuanto de luz, correspondiente a un color homogéneo, decrece proporcionalmente al aumento de la longitud de onda correspondiente” (p.194). Es decir, lo interpretamos así: la energía del cuanto de luz es inversamente proporcional a la longitud de onda de la luz de color no heterogéneo. La constante de proporcionalidad k que presenta Einstein es la constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34} J \cdot s$) por la velocidad de la luz. A saber,

$$k = 1,9878 \times 10^{-25} J \cdot m$$

Con respecto a la longitud de onda y energía de la luz de color homogéneo, Einstein (Ibídem) también dice: “La energía de un fotón del extremo rojo del espectro visible es la mitad de la de un fotón del extremo violeta” (p.195). Por lo cual, consideramos que la

longitud de onda de la luz de color rojo es el doble que la del color violeta, puesto que esta longitud es inversamente proporcional a la energía que transporta la luz de cada color.

En consecuencia, a cada luz de color homogéneo, de longitud de onda definida, le corresponde unas pequeñas porciones de energía indivisibles que aumenta o disminuye al reducir o incrementar dicha longitud respectivamente.

La intensidad de la luz homogénea es directamente proporcional al número de fotones que componen la radiación. Por lo cual, Einstein (Ibídem) dice: “Aumentar la intensidad de los haces luminosos significa, aumentar el número de fotones” (p.194). Por lo tanto, decimos que al incrementar o disminuir el número de fotones de la luz de un color homogéneo o su intensidad, no se reduce o aumenta su longitud de onda y la energía de los cuantos de luz.

La teoría cuántica de la luz y el efecto fotoeléctrico

Cuando cierta radiación homogénea incide sobre algunos metales, la energía de sus cuantos de luz son absorbidas por los electrones de este material y son emitidos hacia el exterior del metal. Esta observación se llama el efecto fotoeléctrico. Al respecto, Einstein (Ibídem) dice: “Un haz de fotones cae sobre una placa metálica... un fotón choca contra un átomo y le arranca un electrón... el electrón extraído tendrá la misma energía en todos los casos “. Es decir, el metal está compuesto por electrones de los cuales uno es extraído por un fotón con la misma energía que los demás electrones son emitidos por los otros fotones.

La energía del electrón extraído depende de la energía del cuanto de luz de la radiación de color homogéneo y de su longitud de onda. En consecuencia, notamos que si se aumenta o disminuye el número de fotones del haz incidente o su intensidad, la energía del electrón permanecerá constante. Es decir, Einstein (Ibídem) refiere: “El número de electrones arrancados del metal debe aumentar, pero la energía de cada uno de ellos no cambiará”. Por lo tanto, establecemos que la energía de los electrones emitidos es directamente proporcional

a la energía de los fotones que transporta la luz incidente, por lo cual la energía de los electrones arrancados por la luz violeta es mayor que la del color rojo.

Las narrativas como transgresoras de los discursos hegemónicos. El reconocimiento del otro como sujeto en el aula de clase.

El otro en nuestra identidad

Si consideramos que somos los mismos al finalizar una clase de estudio, un trabajo grupal, un diálogo, o que nuestras intenciones, deseos e intereses no se ven afectados después de relacionarnos con el otro, implica aceptar que él no nos modifica, no nos altera. Por lo cual, es posible un yo sin un otro o un ser que no depende de los demás. Este supuesto no lo comparte Tirado (1995), puesto que al respecto dice: “Es solo en referencia al otro, al semejante, como el viviente puede acceder a una imagen de sí; ésta nace en una relación especular de tal manera que el yo nace en referencia al tú” (p.23)

Por lo cual, la identidad del sujeto, o los deseos, intenciones, intereses de los demás, se reconfiguran en la relación con el otro. Es decir, no es posible establecerla y, por tanto, hablar desde lo que debería ser. Con respecto a la identidad Frigerio y Lambruschini (2002) dicen: “La identidad se constituye y está trabajando y re –elaborando permanentemente los trazos, las marcas, las memorias de encuentros previos, lo que podríamos llamar el rastro de los otros en nosotros” (p.40).

En nuestras relaciones con los estudiantes, reconstruimos, por tanto, nuestra identidad. Así pues, debemos estar dispuestos a ser alterados por ellos, dejar de ser los mismos al reconocer en los otros intereses e intenciones que nos modifican y que están involucrados en la forma en que desempeñamos nuestra labor. Al respecto Bolívar (2016) dice: “Aquello que se llega a ser como persona o como docente es el resultado del proceso por el que se ha ido configurando la identidad del profesional” (p.1).

Las narraciones

Relatar nuestra identidad implica construirla, dar cuenta del como el otro nos modifica y nosotros a él, estar dispuestos a tomar el riesgo de ser diferentes al dejar de hablar desde los discursos hegemónicos que presentan un yo único o inalterable. Es decir, narrar no es establecer una identidad que se mantendrá fija en el tiempo, puesto que ella se actualiza en la relación con los otros. Incluso, consideramos que las narrativas son fundamentales para la comunicación entre los seres humanos, pues según Frigerio y Lambruschini (2002). “El relato de sí, de la propia identidad, es un género discursivo que asienta en la pragmática cotidiana de los actos del habla expresivos o auto –representativos que permanente hacemos como condición necesaria para comunicarnos” (p.41)

Narrar nuestra identidad profesional requiere, por tanto, que nosotros reconozcamos al otro como sujeto o un ser cuyos deseos están involucrados en los nuestros, puesto que tras el reconocimiento la identidad adquiere un papel fundamental, porque se habla ya de una relación entre dos sujetos atravesados por la cultura y esto de entrada advierte que habrá cambios, modificaciones. Es decir, no seguiremos siendo los mismos, ya que nuestros intereses y deseos están en juego.

Este reconocimiento permite presentar nuestro yo, forma de hacer y relacionarnos con los demás, sin recurrir a identidades preestablecidas, en las cuales no se logra observar nuestras intenciones. Al respecto Bolívar (2016) dice: “Las historias de vida explicitan y hacen visibles (para sí mismos y para otros) aquel conjunto de percepciones, intereses, dudas, orientaciones, hitos y circunstancias que han influido y configurado, de modo significativo, quién se es y por qué se actúa como se hace” (p.2).

Nuestros deseos, intereses, intenciones son los que emergen en las narrativas, por lo cual ellas deben significar, decirnos algo acerca de nuestra identidad y prácticas. Es decir, narrar no consiste en redactar los sucesos que se viven en el aula tal cual como suceden, sin que ellas nos atraviesen, puesto que ella exige de la argumentación, dado que somos nosotros

quienes según nuestras intenciones materializamos una historia reflexiva que nos permite situarnos en el presente y reconstruirla en el futuro. En cuanto a los significados de las narrativas, Bolívar (Ibídem) dice. “La característica propia de la (auto) biografía es ser una construcción y configuración de la propia identidad, más que un relato fiel de la propia vida, que siempre está en proyecto de llegar a ser. Esta auto interpretación de la propia vida permite hacerla inteligible al darle significado”.

Es decir, es la argumentación y la reflexión de los sucesos en el aula las que construyen nuestra identidad profesional y la están reelaborando a partir de los significados o desde lo que representa para nosotros. En consecuencia, en la narración se debe presentar siempre explícita o implícitamente el ¿por qué de lo relatado?, ¿cómo el escrito construye el yo?, ¿qué elementos de los sucesos pasados fueron escogidos para esta configuración?, y, ¿qué significa para su continua construcción? Puesto que, según Bolívar (Ibídem): “La enunciación reflexiva puede ser, debidamente situada, un poderoso dispositivo para producir la vida y configurar la identidad” (p.2).

La medición en la clase de física

Medir es comparar cuerpos respecto a una propiedad, lo cual hace necesario establecer un proceso que permita determinar si la propiedad de un cuerpo es mayor, menor o igual que la de otro. Este proceso se caracteriza por depender de leyes que se construyen y validan con un experimento, es decir, experimento y ley se adecuan para formar leyes experimentales de las cuales depende la medición. Usualmente, esta dependencia la hemos invisibilizado al considerar la medición, en la enseñanza de la física, como una simple toma de datos. Romero y Rodríguez (2005) refieren que generalmente los procesos de medición, en la clase de física, se centran en la aplicación de instrumentos, previamente diseñados, a los cuerpos o sistemas en

consideración. Cuestiones como la construcción de los instrumentos y su relación con la construcción de los conceptos son sustituidos por manuales que indican cómo leer el valor numérico de la escala del instrumento y representar la propiedad.

Aunque representar propiedades con valores numéricos o cifras aplicando instrumentos, hace parte de la medición, asumimos la parte como el todo al reducir los procesos de medición, en la enseñanza de la física, solo a la toma de datos. Por lo tanto, y puesto que no tenemos una clara relación entre el instrumento y los procesos que permiten medir la propiedad, esta perspectiva conlleva a una separación entre la teoría y el experimento. García (2011) dice que el conocimiento experimental no solo interviene al diseñar, construir y utilizar aparatos, sino que también se manifiesta en la construcción de fenómenos y en la manipulación de entidades. No reconocemos, entonces, que en la actividad experimental hay una riqueza conceptual o un lenguaje diferente del cual surgen pensamientos e ideas que posteriormente se articulan conceptualmente, lo cual implica una distinción y dicotomía entre las construcciones experimentales y las conceptuales. Desde esta perspectiva, la construcción del conocimiento la asumimos desde dos escenarios distintos que no se complementan entre sí, esto es, el desarrollo de ambos son totalmente independientes entre sí.

Por lo tanto, enseñar solo el cómo se utilizan los instrumentos implica ignorar aspectos cruciales como la construcción misma del instrumento y su relación con el proceso que permite medir la propiedad. Giraldo (2014) al respecto dice, se le presenta a los estudiantes una imagen reduccionista y unilateral del instrumento, que no permite establecer una relación entre su construcción y las elaboraciones conceptuales. Además, cuando enseñamos los procesos que permiten comparar cuerpos respecto a una propiedad, representar propiedades con valores numéricos o cifras, se nos presentan dificultades pues, Campbell (1921) refiere que los procesos de medición dependen de leyes que se construyen con

Facultad de Educación experimentos y observaciones adecuadas del mundo externo; estas leyes no son, entonces, evidentes por sí mismas.



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

Capítulo 3. El significado que le confiere el experimento a las construcciones teóricas. Propuesta pedagógico –didáctica

Caracterización experimental de la refrangibilidad

En los talleres experimentales (1.1), (1.2) y (1.3); figuras 8, 10 y 11 respectivamente, abordamos la refrangibilidad a partir de nuestra interpretación de la perspectiva de Newton que ya expusimos en el capítulo dos.

No aspiramos inducir a los estudiantes para que construyan las proposiciones de Newton guiados, en parte, por un modelo matemático, puesto que no pretendemos evaluarles el qué tanto saben de geometría, algebra y trigonometría; sino, por los conocimientos que se pueden organizar y construir a partir de la información que reciben de los experimentos por medio de los sentidos. Es decir, por ejemplo, los estudiantes pueden abordar la refrangibilidad a partir de las diferencias entre dos imágenes: una que proyecta la luz del Sol que pasa por un agujero en el techo y llega hasta el suelo, y la otra imagen que proyecta la luz que sigue el mismo camino, pero pasa, por ejemplo, por un envase de vidrio. Newton, como lo expusimos en el capítulo dos también, se refiere a la refrangibilidad a partir de estas diferencias. Por lo cual, estas diferencias tomadas en cuenta por Newton, para demostrar la proposición dos ya expuestas en el capítulo dos, manifestarán en los talleres experimentales (1.1), (1.2) y (1.3) que su construcción depende de la organización de la experiencia sensible y que, por tanto, constituyen una parte esencial en las explicaciones que nos propone Newton y, además, en las explicaciones que los estudiantes puedan elaborar.

Con estos talleres experimentales pretendemos dar cuenta de que los enunciados teóricos y de observación no se descubren o sólo se perciben en la naturaleza, dándoles un papel protagónico a los estudiantes en la organización y construcción de ellos. Es decir, las diferencias entre las imágenes y su dependencia, por ejemplo, de la posición del envase de vidrio que se coloca entre el piso y el agujero en el techo, pueden ser abordadas por los

estudiantes de distintas maneras; por ejemplo, unos pueden recurrir a figuras

geométricas y otros no, atribuirle la diferencia entre las imágenes a la posición del envase y, además, a la forma de sus caras y otros no. Por lo cual, aspiramos que los estudiantes socialicen sus enunciados teóricos, y reconocer entre todos que estas diferencias entre las imágenes se pueden abordar de distintas formas.

Para lograrlo, aspiramos involucrar al estudiante en la elaboración de los experimentos y de la teoría, y así, mostrar el desarrollo simultáneo de ambos aspectos en la construcción del conocimiento. Es decir, por ejemplo, ellos deben realizar los montajes, y observar cómo dependen las diferencias entre las imágenes del envase de vidrio para poder elaborar sus propias explicaciones. Por lo cual, no será posible que ellos privilegien sus explicaciones sin antes haber hecho sus intervenciones en los experimentos.

Esto es, el experimento estará involucrado en la teoría. De acuerdo con nuestra interpretación en el capítulo dos, Newton nos presenta una forma de abordar la refrangibilidad, él interviene en lo que observa no con la simple contemplación, sino con la organización de la dependencia entre las imágenes y, en vez de un envase de vidrio, un prisma de vidrio triangular. En consecuencia, consideremos las organizaciones de los estudiantes acerca de las diferencias entre las imágenes, y su dependencia del envase de vidrio como una ley experimental, puesto que tanto la elaboración conceptual como experimental se dan en un mismo escenario. Es decir, no es posible privilegiar primero el desarrollo de la teoría sin antes haber organizado experiencias.

La intención de los estudiantes también estará presente en dicha organización, porque no todos, por ejemplo, tomarán en cuenta la forma, el material del envase de vidrio en sus explicaciones. Es decir, la intención de cada estudiante estará siempre presente es sus análisis, por lo cual es otro aspecto que deseamos rescatar en esta actividad, pues el sujeto participa en la organización de los fenómenos con sus deseos e intereses. Por tanto,

buscamos, por ejemplo, que la dependencia entre las diferencias en las imágenes y el envase de vidrio no sea el que confirme la refrangibilidad que ya interpretamos en el capítulo dos, sino darle un papel en la construcción de ella. Es decir, construir y modificar teoría, desde la organización de experiencias.

Taller experimental 1.1. La refrangibilidad de la luz a partir de la forma de la imagen coloreada del Sol, la estructura de los sólidos transparentes, y su disposición en los experimentos.

Con este taller experimental, figura 8, pretendemos que los estudiantes caractericen la imagen que forma la luz del Sol en el suelo al pasar a través de un agujero en el techo, una ventana y en la pared. No esperamos que ellos observen rayos de luz que pasan por el orificio, y a partir de las definiciones y postulados que Newton presenta en su obra Óptica, ellos expliquen el ¿por qué y cómo depende la forma y el color de la imagen en el piso de la forma del agujero por donde entran los rayos de luz? La caracterización o el enunciado de observación al cual se aspiran, no involucra información que no se pueda obtener a partir de los sentidos. Es decir, por ejemplo, las diferencias entre la forma del agujero y la imagen proyectada en el suelo se pueden abordar con la comparación entre figuras geométricas, y no solo con modelos abstractos.

Los estudiantes dispondrán, según la abertura del sitio donde esté dando el Sol, de imágenes con distinta forma, las cuales serán observadas en el piso de la habitación, y caracterizadas por ellos. Es decir, por ejemplo, para caracterizar es necesario responder: ¿La forma de la imagen en el suelo depende de la forma del agujero por donde ingresa la luz del Sol?

Con la pregunta 2.1 de este taller experimental no pretendemos, por supuesto, que los estudiantes tengan, en este primer momento, los mismos intereses de Newton en la búsqueda de la forma del orificio. A saber, según nuestra interpretación en el capítulo dos, cuando Newton realizó el orificio circular en la ventana, tenía la intención de demostrar la refrangibilidad de los rayos del Sol, donde ésta era la forma más conveniente. Porque

Facultad de Educación aspiramos que los estudiantes establezcan a partir de la pregunta 3.1, 3.2 y 3.3

diferencias y dependencias entre las imágenes que se obtiene antes y después de ubicar un envase transparente entre el suelo y la abertura en el techo. Este análisis, según nuestra interpretación de las propuestas de Newton, en el capítulo dos, nos permite abarcar la refrangibilidad, porque la imagen proyectada por la luz al pasar por dos medios transparentes (aire y vidrio) o por uno solo (aire) recorre diferentes caminos.

El sólido transparente por el cual pasa la luz que proviene del orificio, no tendrá una estructura física predeterminada por nosotros, dado que, además del agujero, su forma será una variable del experimento. El material del cuerpo tampoco será establecido. De acuerdo con nuestra interpretación en el capítulo dos, Newton utilizó un sólido transparente en forma de prisma triangular, en el cual pretendía medir los ángulos de incidencia y refracción que los rayos del Sol hacían con él; en consecuencia, las caras del sólido debían ser planas. En el punto 3.2 del taller se pretende, además, involucrar la posición del envase de vidrio, puesto que el aire y el material del sólido se conservan, pero la luz que llega desde el agujero y pasa por el aire, atraviesa el sólido de distintas maneras. Por lo cual, la posición no será establecida por nosotros. Estos aspectos del sólido no se tendrán en cuenta, porque uno de los objetivos principales del taller experimental es abordar la refrangibilidad de la luz a partir de las diferencias entre las imágenes en el piso con la utilización de diversos envases.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

Taller Experimental (1.1): Imágenes coloreadas de la luz del Sol

Nombre: _____

Practicantes: *Danny Alexander Rodríguez Villa, Johan Esteban Galeano Carvajal* Fecha: _____

1. Materiales

Sólidos transparentes

2. La luz del Sol después de hacerla pasar por un sólido transparente.

2.1 Busca en el Colegio algún lugar donde esté dando el Sol, asegúrate que en este espacio la luz entre desde, por ejemplo, una abertura en el techo, en la ventana, en la pared, y llegue hasta el piso. Describe con detalle la forma del agujero de donde proviene la luz, y el color y la forma de la imagen que ella produce en el piso.

2.2 Describe con detalle la forma del sólido transparente que llevó a clase. Cerciórate de tener en cuenta el material, la forma de las caras exteriores, el tamaño.

2.3 Ubique el sólido transparente entre la imagen en el piso y la abertura de donde proviene la luz. Describe con detalle la posición del sólido, y la forma y el color de la nueva imagen que se produce en el piso. Compruebe que la luz pase total o parcialmente a través del sólido. Realice cuatro veces este proceso, pero cambiando la posición del sólido.

3. Las características de la imagen en el piso y la forma y posición del sólido transparente.

3.1 Según la descripción realizada en el punto 2.3, ¿está usted de acuerdo en que la forma y el color de la imagen en el piso cambia después de ubicar el sólido transparente entre el suelo y la abertura de donde proviene la luz? Justifique su respuesta con la descripción.

3.2 De acuerdo con la descripción elaborada en el punto 2.3, ¿considera usted que la forma y el color de la imagen en el piso cambia al ubicar de diferentes maneras el sólido transparente entre el suelo y la abertura de donde proviene la luz? Justifique su respuesta con la descripción.

3.3 Compare las descripciones realizadas en el punto 2.3 con la de los compañeros del salón. ¿Considera que la forma y el color de la imagen en el piso cambia al ubicar un sólido transparente de distintos materiales entre el suelo y la abertura de donde proviene la luz?

Según nuestra interpretación, del capítulo dos, Newton había establecido que los rayos de luz recorrían un trayecto distinto al que traían antes de estar en otro medio transparente. Es decir, el camino que recorre la luz en el vidrio es diferente al que traía cuando incidió sobre el vidrio. Esta observación en los montajes fue fundamental para decidir acerca de la refrangibilidad de los rayos del Sol. Por lo cual, con este taller experimental también se pretende que los estudiantes determinen si el color, la forma y la posición de la imagen, cuya luz proveniente del agujero pasa sólo por el medio transparente de la habitación (aire), cambia al ubicar otro medio transparente (envase de vidrio) entre dicha imagen y el orificio, por el cual la luz también debe atravesar. Es decir, la diferencia en los caminos se evidenciará en la imagen en el piso antes y después de ubicar el envase.

Taller experimental 1.2 La refrangibilidad de la luz de un video beam a partir de un envase de vidrio y un prisma de acetato.

En este taller experimental, figura 10, pretendemos abordar la luz que proyecta un video beam. Con una diapositiva realizada en el programa Power Point de un computador, se proyectan con el video beam rectángulos o círculos de colores en un fondo negro (cartulina). Al respecto ver la figura 9.



Figura 9. Diapositivas en Power Point.

Newton en su segunda proposición sólo utiliza la luz del Sol, pues su intención era establecer la refrangibilidad de los rayos que la componen. Al respecto, retomar el capítulo dos. Las diapositivas que realizamos en el computador permiten proyectar luces de diferentes

colores con formas distintas. Nosotros aspiramos con este taller experimental a construir la segunda proposición de Newton que interpretamos en el capítulo dos sin recurrir a la luz del Sol, porque en el taller experimental 1.1 se abordó con dicha luz. En otras palabras, y de acuerdo con lo que expusimos en el capítulo dos, Newton consideraba la luz del Sol blanca, pero ¿qué podemos decir acerca de la refrangibilidad de los rayos de la luz de color rojo, azul, verde?

En consecuencia, la luz del video beam pasará a través de las caras de un envase de vidrio y un prisma de acetato propuesto en los puntos 2.1 y 3.1. Pretendemos abordar la refrangibilidad de la luz con la posición y colores de la imagen que el video beam proyecta en una cartulina antes y después de colocar el prisma y el envase. Por lo cual, la actividad consiste en organizar las diferencias entre las imágenes a partir de las luces. Es decir, ¿qué luces de colores cambian de trayectoria (posición de la imagen en la cartulina) al pasar por el prisma y el envase? Los enunciados de observación construidos por los estudiantes, le transferirán, al igual que a Newton, significados a los enunciados teóricos que ellos realizarán.

No esperamos, por tanto, que los enunciados teóricos de los estudiantes sean los mismos que propone Newton en su obra, sino que evidencien, al igual que los de él, las relaciones que se pueden establecer entre las características observadas en los experimentos. Es decir, por ejemplo, ¿cómo depende la forma y los colores de la imagen en la pared de las luces proyectadas por el video beam, el envase y el prisma? De acuerdo con el capítulo dos y lo que ya hemos expuesto, la respuesta a una pregunta similar a esta fue fundamental para que Newton decidiera acerca de la refrangibilidad de la luz del Sol. A saber, según nuestra interpretación del trabajo de Newton: ¿cómo depende la imagen en la pared de la luz del Sol que proviene de un agujero en la ventana y del prisma de vidrio?

Taller Experimental (1.2): Construcción de sólidos y colores

Nombre: _____

Practicantes: *Danny Alexander Rodríguez Villa, Johan Esteban Galeano Carvajal* Fecha: _____

1. Materiales

Hoja de acetato
Envase de vidrio

Tijeras
Jeringa

Silicona

2. Organización de la luz que pasa a través del envase de vidrio con agua

2.1 En una diapositiva de Microsoft Power Point inserte un rectángulo de color negro que cubra toda la parte blanca y otro más angosto de color blanco en el centro de este fondo. Conecte el computador al video beam y permita que la luz que proyecta éste pase a través del envase de vidrio con agua y llegue hasta una cartulina blanca. Responda las siguientes preguntas

2.1.1 ¿De qué color, forma y tamaño es la imagen proyectada en la cartulina blanca antes y después de colocar el sólido al frente del video beam?

2.1.2 ¿El color, la forma y el tamaño de la imagen proyectada en la cartulina dependen de la posición del cuerpo, por qué?

3. Organización de la luz que pasa a través de un sólido o prisma de caras triangulares y rectangulares.

3.1 Construye el sólido de la figura 1.1. con una hoja de acetato y llene su interior con agua. Realice el procedimiento (2.1) y Responda las preguntas (2.1.1) y (2.1.2), pero con este cuerpo.

3.1.1 ¿Qué diferencia se presenta en la imagen proyectada en la cartulina al utilizar el envase con agua y este último sólido?

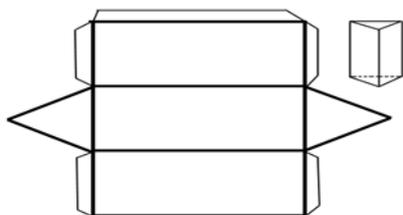


Figura 1.1 Canon del sólido de caras triangulares y rectangulares

Figura 10. Taller Experimental 1.2 .Construcción de sólidos y colores

La reconstrucción de la segunda proposición requiere también de una habitación oscura, por lo tanto, las ventanas del salón serán cubiertas para que no ingrese luz.

La luz que entra por el agujero que realiza Newton en la ventana es, por tanto, sustituido por la luz que proyecta el video beam. La forma de la figura geométrica, ubicada en el fondo negro de la diapositiva, determina la estructura del orificio realizado por Newton y la imagen proyectada. Con el punto 2.1.1, por tanto, esperamos que los estudiantes realicen la caracterización, ya expuesta, del color, la forma y posición de la imagen que proyecta el video beam en la cartulina.

Con la intención de averiguar si la imagen proyectada por el video beam cambia de color, forma y posición al situarle al frente un sólido regular, les solicitamos a los estudiantes que construyan un prisma triangular con papel acetato y agua. Estos dos materiales, a diferencia del cristal que utilizó Newton, permiten que las caras del sólido se hundan hacia el interior, pero no es necesario que las caras del prisma se mantengan planas como lo esperaba Newton, puesto que la refrangibilidad de la luz se abordará, como ya lo expusimos, a partir de las diferencias en las imágenes de la pared y no con ángulos. La posición, por tanto, la determinan los estudiantes, siendo las caras triangulares o rectangulares paralelas al piso.

Con las caracterizaciones realizadas por los estudiantes de las imágenes, del sólido y su posición en los montajes pretendemos, también, que ellos dispongan de un escrito que sirva como referencia para saber, por ejemplo, que si desean obtener cierta imagen, entonces, deben proyectar en el video beam cierta figura geométrica y ubicar de cierto modo el sólido transparente al frente de él. Estos enunciados de observación fueron fundamentales para Newton en la demostración de su segunda proposición, porque al girar el prisma entorno a su eje perpendicular a las caras triangulares, él sabía que la imagen del Sol proyectada en la pared ascendería y descendería, y entre dichos movimiento contrarios, la imagen se quedaría quieta en algún lugar con una forma oblonga y no circular. Al respecto, leer el capítulo dos.

Claro está que los intereses de los estudiantes no serán los mismos que los de Newton, puesto que dicha posición significaba para él que las refracciones en ambas caras del prisma eran iguales. Además ellos no observan que la luz está compuesta de rayos. Por lo cual, los enunciados teóricos que los estudiantes elaboran se infieren de los enunciados de observación. Es decir, son contruidos a partir de las relaciones que ellos establezcan entre las características descritas en cada punto del taller experimental, sin acudir a modelos abstractos. Esto implica para ellos que el experimento no sólo le da validez a sus construcciones teóricas, sino que la disposición y las características de las imágenes y sólidos transparentes que lo componen, le confieren significados a dichos enunciados.

Taller experimental 1.3 La refrangibilidad de la luz de colores a partir de un video beam y prismas de acrílico.

En este taller experimental, figura 11, se utiliza un prisma de acrílico. Este material mantiene las caras del sólido planas. En consecuencia, los estudiantes podrán comparar las imágenes que se obtienen de él y las del prisma de acetato con agua, y así disponer de más variables para sus explicaciones.

Las preguntas de este taller, al igual que las preguntas de los anteriores, guían al estudiante en la construcción de sus enunciados teóricos. Es decir, éstas se responden al justificar con las descripciones realizadas en los puntos. La pregunta 2.1.1, por ejemplo, requiere que los estudiantes deban realizar primero los montajes para determinar si los colores que se obtienen en la pantalla son independientes o no del color proyectado. Las respuestas, por tanto, constituyen un enunciado teórico en el cual se evidencia sus propias elaboraciones e intervenciones en los montajes.

Taller Experimental(1.3): Organización de la luz de colores que
pasa a través de un prisma

Nombre: _____

Practicantes: *Danny Alexander Rodríguez Villa, Johan Esteban Galeano Carvajal* Fecha: _____

1. Materiales

Video Beam

Prismas

Pantallas de cartulina

2. Organización de la luz de colores del video beam a partir de un prisma.

2.1 De acuerdo con el taller experimental 1.3., cuando la luz blanca proyectada por un video beam pasa por las caras rectangulares del sólido o prisma se obtiene diversos colores en una cartulina en la parte posterior del cuerpo. Debido a que solo se tuvo en cuenta el color blanco y negro en la elaboración del montaje, varíe el color del rectángulo en el centro de la diapositiva de Microsoft Power Point para que la luz proyectada por el video beam cambie de color y permita que esta luz pase a través de las caras rectangulares del prisma. Responda la siguiente pregunta.

2.1.1 ¿Considera usted que se obtienen diferentes colores en la pantalla posterior al prisma independientemente del color proyectado por el video beam?

3. Organización de la luz de colores obtenidos al hacer pasar la luz blanca por un prisma

3.1 A partir de los colores que se obtienen en la pantalla posterior al prisma al proyectar el rectángulo de color blanco en el centro de la diapositiva, se puede separar un solo color en forma de rectángulo si se recorta dicha figura en la pantalla. Esta es otra forma de obtener luz de diferentes colores. Separe todos los colores que llegan a la pantalla recortando un rectángulo en ella y permita que la luz de un solo color que pasa a través de la figura recortada pase también por las caras rectangulares de otro prisma ubicado al frente de la pantalla. Responda la siguiente pregunta.

3.1.1 ¿Considera usted que se obtienen diferentes colores en la pantalla posterior al segundo prisma independientemente del color separado al recortar en la primera pantalla un rectángulo?

3.2 Para obtener otra característica de los colores obtenidos en la pantalla al hacer pasar la luz blanca por las caras rectangulares del prisma, se varía el tamaño de este y su inclinación respecto al piso para determinar si el orden de los colores cambia. Incline de varias formas el prisma respecto al piso y responda la siguiente pregunta.

3.2.1 ¿Considera que el orden de los colores depende de la posición del prisma, por qué?

Figura 11. Taller Experimental 1.3: Organización de la luz de colores que pasa a través de un prisma

Con el taller experimental 2.1 y 2.2, figura 14 y figura 17 respectivamente, pretendemos a partir de sensores fotoeléctricos caracterizar la luz de color homogénea. No esperamos que los estudiantes observen en dicha luz longitudes de onda, porciones de energía, sino encontrar relaciones entre los diferentes colores de luz y los cristales empleados en los sensores.

Sensor fotoeléctrico

Este sensor fotoeléctrico, figura 12, requiere de cristales como el Silicio y el Germanio para funcionar. Cada cristal responde de forma distinta al color de la luz que incide en ellos. La respuesta se da con el apagado de un LED.

De acuerdo con el capítulo dos, la energía con la cual son emitidos los electrones desde ciertos metales depende de la energía de los fotones que transporta la radiación que incide en ellos. En el caso del sensor fotoeléctrico, electrones en los cristales de Silicio y Germanio absorben la energía de los fotones de la radiación de color homogéneo que inciden en ellos y pueden ser emitidos con cierta energía. Esta energía debe estar entre la especificada por el fabricante de los cristales, sino el LED no se apagará.

Según el capítulo dos, a cada luz de color homogénea le corresponde una porción de energía indivisible, la cual de manera inversamente proporcional depende de su longitud de onda. Por lo cual, para reducir la energía de la radiación de color homogénea que incide sobre el cristal, se debe cambiar la longitud de onda, puesto que no es posible hacerlo con un mismo color.

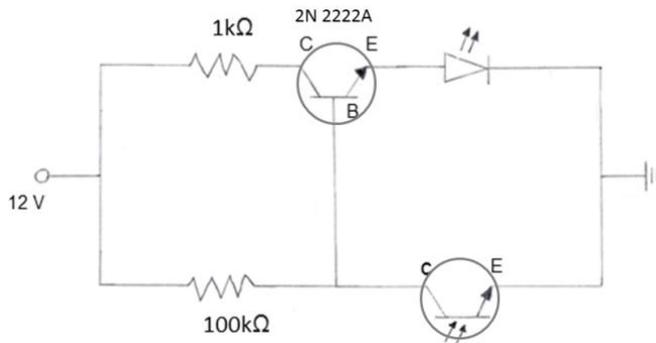


Figura 12. Sensor fotoeléctrico

Foto diodo de cristal de silicio

A partir de la tabla⁸, la mínima energía de los fotones que transportan la radiación de color homogénea que incide sobre el cristal de Silicio en el sensor fotoeléctrico debe ser de $1,77822 \times 10^{-19} J$ para lograr apagar el LED. Como la energía de los fotones es inversamente proporcional a la longitud de onda, con $1,9878 \times 10^{-25} J \cdot m$ constante de proporcionalidad, entonces la longitud máxima que apaga el LED debe ser de $1110 nm$. De acuerdo con la figura 13⁹, esta longitud de onda corresponde a luz infrarroja. La máxima energía de los fotones debe ser de $1,04 \times 10^{-18} J$ en consecuencia, la mínima longitud de onda con la cual el sensor fotoeléctrico responde es de $190 nm$ que, según la figura, es luz ultravioleta.

Los intervalos de energía y longitud de onda a los cuales el sensor responde son, por tanto, $(1,77822 \times 10^{-19} J, 1,04 \times 10^{-18} J)$ y $(190 nm, 1110 nm)$ respectivamente. Según la figura 13, al hacer incidir sobre el cristal de Silicio luz ultravioleta, infrarroja, y de color violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo homogéneo, entonces el LED se apagará.

Fotodiodo de cristal de Germanio

Según la tabla 1, la mínima energía de los cuantos de luz que transporta la radiación de color homogénea que incide sobre el cristal de Germanio en el sensor fotoeléctrico debe ser de $1,05732 \times 10^{-19} J$ para lograr apagar el LED. En consecuencia, la longitud de onda

⁸ Tomado de Streetman, B. (2006). Solid state electronic devices. New Jersey, United States: Prentice Hall

⁹ Tomado de Serway, R., Jewett, J. (2009). Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Santa Fe, México: Cengage Learning.

Facultad de Educación máxima con la cual el sensor responde es de $1880nm$ que según la figura 13,

corresponde a luz infrarroja. La máxima energía que detecta el sensor en la luz homogénea que incide sobre el cristal es de $2,88 \times 10^{-19} J$. Es decir, la radiación homogénea con longitud de onda mínima de $690nm$ que, según la figura 13, corresponde a luz de color rojo.

Material semiconductor	Brecha de energía (ev) a 300K
<i>Si</i>	1,11
<i>Ge</i>	0,67

Tabla 1. Propiedades de los materiales semiconductores. Streetman

Los intervalos de energía y longitud de onda de la luz incidente sobre el cristal de Germanio que se deben cumplir para que el sensor responda son, por tanto, $(1,05732 \times 10^{-19} J, 2,88 \times 10^{-19} J)$ y $(690nm, 1880nm)$ respectivamente. Según la figura 13, luz infrarroja, y de color rojo homogéneo.

A la radiación de color violeta, por ejemplo, le corresponde una longitud de onda, según la figura 13, de $400nm$, y cuantos de energía de $4,9695 \times 10^{-19} J$. Por lo cual, al hacerla incidir sobre el cristal de Germanio, entonces el LED no se apagará. Según el capítulo dos, no es posible reducir la energía de los cuantos de luz del color violeta hasta $1,05732 \times 10^{-19} J$, una energía con la cual el sensor fotoeléctrico responda, sin cambiar o aumentar la longitud de onda. Es decir, se debe cambiar el color homogéneo de la luz para variar su energía.

Incluso, al reducir la intensidad de la luz del color homogéneo violeta, no se logra reducir o aumentar la energía de los fotones que la componen, porque, según el capítulo dos, variar su intensidad implica aumentar o disminuir el número de los cuantos que inciden sobre el cristal, y no su energía. Por lo cual, no es posible que los electrones del Germanio sean emitidos con una energía mayor a los $1,05732 \times 10^{-19} J$ al hacer incidir en él luz violeta de diferentes intensidades. De igual modo, no es posible obtener esta energía en los electrones con luz ultravioleta, y de color azul, verde, amarillo y naranja homogénea.

Correspondencia aproximada entre longitudes de onda de luz visible y color

Intervalo de longitud (nm)	Descripción de color
400–430	Violeta
430–485	Azul
485–560	Verde
560–590	Amarillo
590–625	Naranja
625–700	Rojo

Figura 13. Longitud de onda de la luz de color homogénea. Serway

Taller experimental 2.1. El efecto fotoeléctrico a partir de la caracterización de la luz de color homogénea del Sol

En este taller experimental se pretende que los estudiantes a partir de la caracterización de la luz del Sol que construyeron en el taller experimental 1.1 dispongan de luces de colores homogéneos, las cuales se harán incidir en los cristales de Germanio y Silicio.

En la figura 15 y figura 16 se presenta el sensor fotoeléctrico y los cristales respectivamente a los cuales se hace referencia en el punto 2.1 de este taller.

Esperamos que al hacer incidir sobre el cristal de Silicio la luz de color azul, verde, amarillo, naranja y rojo, que se obtiene al interponer el prisma de acrílico entre la abertura por donde ingresa la luz del Sol y el suelo, entonces el sensor fotoeléctrico responda. Esperamos, también, que al hacer incidir directamente la luz del Sol que proviene de la abertura, entonces el LED de color rojo se apague, puesto que esta luz, de acuerdo con el capítulo dos, está compuesta, en parte, por el color violeta, azul, verde, amarillo y naranja.

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA

I.E Escuela Normal Superior de Medellín, Grado 9-D
I. E Francisco Miranda, Grado 11-1



Taller Experimental (2.1): Caracterización de la luz de color homogéneo
del Sol

Nombre: _____

Practicantes: *Danny Alexander Rodríguez Villa, Johan Esteban Galeano Carvajal* Fecha: _____

1. Materiales

Luces de varios colores
Sensor fotoeléctrico

Cristales de Germanio y Silicio
Prisma de acrílico

2. Sensor fotoeléctrico

2.1 En los talleres experimentales 1.2 y 1.3 se logró comparar la luz con otras por su color, establecer categorías en las cuales se daba cuenta de los colores que al pasar por el prisma luego de ser proyectados por el video beam presentaban otras formas y colores. El sensor fotoeléctrico permite, al igual que los sólidos transparentes en los talleres pasados, caracterizar, comparar y establecer categorías entre las luces. En la figura 15 y figura 16 se describe el sensor y los cristales respectivamente.

Este sensor consiste de un LED de color rojo que permanece encendido (“A” en la figura 15). Los cristales de Germanio y Silicio, “B” y “C” en la figura 16 respectivamente, tienen dos alambres que se introducen en los dos orificios indicados por “D” en la figura 15.

Cuando uno de los dos cristales está instalado en el sensor, entonces se le hace incidir luz sobre él, y se observa si el LED de color rojo continua o no encendido.

3. Color de la luz del Sol que incide en los cristales del sensor

3.1 Busque un lugar del Colegio donde ingrese luz solar, asegúrate que en este espacio la luz entre por un agujero en la ventana, un muro y el techo, y llegue hasta el piso. Ubique el sensor entre el suelo y el agujero de tal modo que la luz incida en el cristal de Germanio. Observe si el LED de color rojo se apaga. Realice este mismo proceso con el cristal de Silicio.

3.2 En el taller experimental 1.1 se estableció con todos los integrantes del grupo que al ubicar un sólido transparente entre el suelo y el agujero por donde ingresaba la luz del Sol, entonces se obtenía una imagen de color violeta, azul, verde, amarillo, rojo, de forma distinta a la que tenía antes de interponer el sólido. Sitúe un prisma de acrílico entre el suelo y el agujero, y permita que la luz de cada color que obtiene de esta imagen incida en el cristal de Germanio. Observe en cada caso si el LED de color rojo se apaga. Realice este mismo proceso con el cristal de Silicio.

4. Características de la luz que apaga el LED de color rojo.

4.1 De acuerdo con los puntos 3.1 y 3.2, ¿Considera usted que el LED se apaga según el color que incide sobre el cristal de Germanio y Silicio? Justifique su respuesta.

4.2 Según el punto 3.2, ¿Considera usted que los colores que apagan el LED dependen del cristal instalado en el sensor? Justifique su respuesta.

Figura 14. Taller Experimental (2.1): Caracterización de la luz de color homogéneo del Sol

En consecuencia con el cristal de Germanio aspiramos que al hacer incidir directamente dicha luz, entonces el sensor responda, pues el rojo también hace parte de esta radiación. Igualmente, esperamos que al hacer incidir los colores azul, verde, amarillo y naranja en el suelo luego de interponer el prisma de acrílico, entonces el LED no se pague.

Al igual que en los talleres experimentales 1.1, 1.2 y 1.3 no esperamos que los estudiantes observen rayos que difieren en grado de refrangibilidad, longitudes de onda y en la energía de los fotones que transportan, porque no pretendemos que ellos demuestren, confirmen o validen los discursos de Newton y/o Einstein, sino que aspiramos a que caractericen, construyan enunciados teóricos, a partir de los significados que le transfieren los enunciados de observación que se realizan desde las preguntas elaboradas en cada punto del taller.

Taller experimental 2.2. El efecto fotoeléctrico a partir de la caracterización de la luz de color homogénea del video beam

En este taller experimental, figura 17, pretendemos que los estudiantes dispongan, al igual que en el taller experimental 2.1, de luces de colores a partir de la caracterización realizada con la luz del video beam en el taller experimental 1.3.

Esperamos que los colores homogéneos separados en la luz del Sol al interponer el prisma, y con los cuales el sensor responde al hacerlos incidir en los cristales de Germanio y Silicio, entonces sean los mismos con los que la luz del video beam hacen que el LED se apague. Puesto que, según el capítulo dos, si es la intensidad la que diferencia los colores del Sol y del video beam, entonces no habrá diferencia en cuanto a la respuesta del sensor. Esta observación no se pretende demostrar en el taller experimental, sino caracterizarla. Es decir, qué significados le transfieren los estudiantes a la diferencia entre las luces de color del Sol y el video beam.

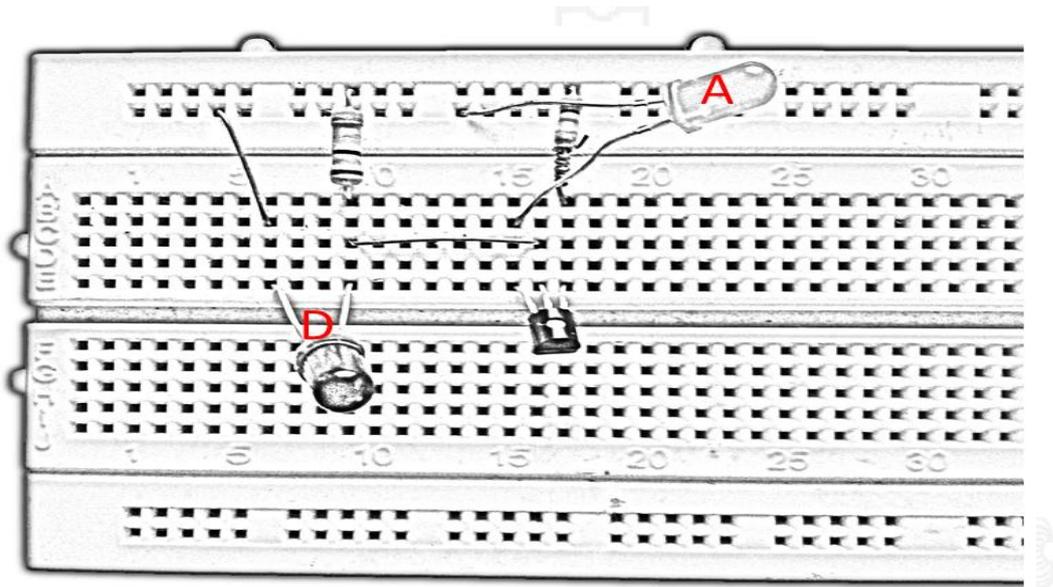


Figura 15. Sensor fotoeléctrico.

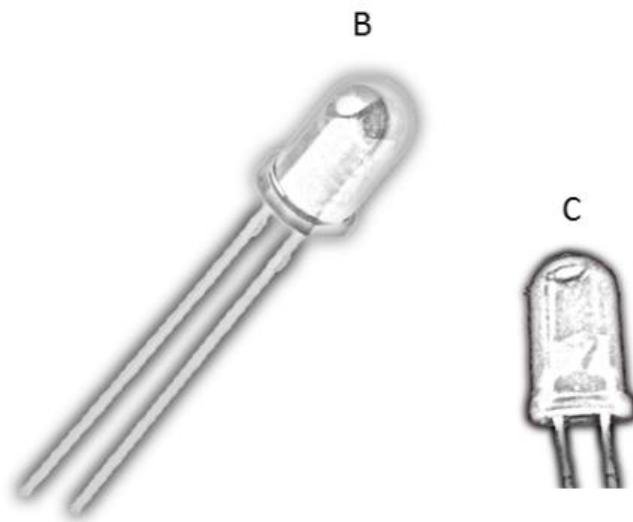


Figura 16. Fotodiodos de Silicio y Germanio.

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA



I.E Escuela Normal Superior de Medellín, Grado 9-D
I. E Francisco Miranda, Grado 11-1

Taller Experimental (2.2): Caracterización de la luz de color
homogéneo del video beam

Nombre: _____

Practicantes: *Danny Alexander Rodríguez Villa, Johan Esteban Galeano Carvajal* Fecha: _____

1. Materiales

Video beam de TRC
Sensor fotoeléctrico

Cristales de Germanio y Silicio
Prisma de acrílico

2. Color de la luz del video beam que incide en los cristales del sensor

2.1 En una diapositiva de Microsoft Power Point inserte un rectángulo de color negro que cubra toda la parte blanca y otro más angosto de color azul en el centro de este fondo. Conecte el computador al video beam y permita que la luz que proyecta éste incida en el cristal de Germanio del sensor fotoeléctrico. Observe si el LED de color rojo del sensor se apaga. Realice este mismo proceso, pero con el rectángulo angosto de color verde y rojo. Desarrolle el punto 2.1 con el cristal de Silicio.

2.2 En el taller experimental 1.3 se estableció con todos los integrantes del grupo que al ubicar un prisma de acrílico entre la pared y la luz que proyecta un video beam, entonces se obtenía una imagen de color violeta, azul, verde, amarillo, rojo, de forma distinta a la que tenía antes de interponer el sólido. Sitúe un prisma de acrílico entre la pared y la luz que proyecta el video beam, y permita que la luz de color azul, verde y roja que obtiene de esta imagen incida en el cristal de Germanio. Observe en cada caso si el LED de color rojo se apaga. Realice este mismo proceso con el cristal de Silicio.

3. Características de la luz que apaga el LED de color rojo.

3.1 De acuerdo con el punto 2.1 y 2.2, ¿considera usted que el LED se apaga según el color que incide sobre el cristal de Germanio y Silicio? Justifique su respuesta.

3.2 Según el punto 2.2, ¿considera usted que los colores que apagan el LED dependen del cristal instalado en el sensor? Justifique su respuesta.

Figura 17. Taller Experimental (2.2): Caracterización de la luz de color homogéneo del video beam

Capítulo 4. El experimento en la organización de los fenómenos ópticos. La refracción y el efecto fotoeléctrico.

Implementamos los cinco talleres experimentales en los colegios públicos: I.E. Escuela Normal Superior de Medellín, e I.E. Francisco Miranda en los grados noveno y undécimo respectivamente. Ambas instituciones se encuentran en la ciudad de Medellín. Cada grupo estaba compuesto por treinta y cinco estudiantes de estrato socioeconómico entre 2 y 3. Los cooperadores fueron los profesores: Julián Medina y Patricia Villa.

Los cinco talleres experimentales fueron desarrollados en grupos de tres estudiantes. Las construcciones de cada equipo las sociabilizamos al finalizar cada taller. Para llegar a consensos entre todos los integrantes del salón, cada equipo debía exponer sus elaboraciones y tratar de convencer a los otros.

La socialización publicada de los escritos elaborados por los estudiantes fueron aceptados por medio de los protocolos éticos (figura 26 y figura 27) que firmaron sus representantes legales.

Implementación del taller experimental 1.1. La refracción a partir de la imagen coloreada de la luz de Sol

Como lo expusimos en el capítulo tres, con este taller experimental, pretendimos que los estudiantes elaboraran enunciados en los cuales dieran cuenta de las características de la imagen que formaba la luz del Sol, en el suelo antes y después de interponer cualquier sólido transparente entre el piso y la ranura por donde ingresaba. Además, esperábamos que estos enunciados nos contaran acerca del cómo varía la forma y el color de estas imágenes en el piso según la posición en la que es ubicado el sólido.

También establecimos en el capítulo tres, que no aspirábamos a que el objetivo de este taller fuera únicamente la descripción de dichas imágenes, la caracterización de los cuerpos transparentes y su posición en cada momento, sino que los estudiantes también elaboraran enunciados teóricos a partir de los significados que le transfieren las anteriores descripciones.

Por lo cual, ellos debían responder las preguntas propuestas en el taller experimental

1.1 con el fin de guiar dicha escritura.

Como lo manifestamos en el capítulo tres, para el punto 2.1 de este taller experimental, les solicitamos a los estudiantes que buscaran en el colegio algún lugar donde estuviera dando el Sol. La luz debía ingresar por un agujero en el techo, una ventana o la pared. Consideramos que la iluminación de la habitación en la cual se encontraba la ranura por donde ingresaba la luz del Sol, también hacía parte de los enunciados de observación, si a los estudiantes les conferían significados estos detalles. Es decir, con respecto a la claridad de la imagen en el suelo y las características de la habitación, Manuela del grado noveno nos dice. “Es mejor que la habitación esté oscura y la abertura sea la única parte de ella por donde el Sol llega, pues la imagen en el piso es más clara, sino se desvanece con el resto de la iluminación”. Manuela establece que una condición de la habitación que permite la mayor claridad en la imagen en el suelo, con respecto a otros sitios, es la oscuridad.

La intervención de Manuela nos hizo añadirle al taller experimental 1.1, expuesto en el capítulo tres, otra pregunta acerca de las características que deseaban encontrar en los lugares donde se desarrollaría la actividad. A saber, ¿Qué características de la habitación son favorables para la realización del taller? Esteban del grado noveno respondió. “La imagen en el suelo después de colocar el envase de vidrio en la luz del Sol se pierde, si lo hago en el patio del colegio, es mejor que el lugar este oscuro”. A diferencia de Manuela, Esteban se refería a la imagen después de interponer el sólido transparente entre la luz y el suelo, pero él también consideraba la oscuridad del sitio como una condición para obtener una imagen clara, que se pueda distinguir entre la imagen que forma la luz que proviene del orificio y la luz, por ejemplo, de un foco.

Entre todos los estudiantes del salón, se acordó que el sitio en el cual la luz del Sol solo entraba por el agujero era el más favorable para realizar la actividad, porque de lo contrario

las imágenes en el piso se desvanecería a causa de las otras luces. Nosotros esperábamos este consenso, puesto que hace parte de la socialización de los enunciados de observación de todos los integrantes del salón.

Para dar cuenta del color, la forma y posición de la imagen antes y después de ubicar el cuerpo transparente entre el suelo y la luz, les solicitamos a los estudiantes que caracterizaran, en ambos momentos las imágenes, los sólidos y su disposición: inclinación, descripción de las caras por las cuales la luz entra y sale.

Ellos encontraron varios lugares en los cuales la luz del Sol solo entraba por una ranura en el techo, la ventana, un muro y llegaba hasta el piso. La ranura y la imagen allí formada fueron descritas por Estefanía del grado noveno como sigue. “El agujero en la pared de madera es como un cuadro alargado. La longitud de la altura es de 6cm y su ancho mide 4cm”. Estefanía describió la forma del agujero con formas geométricas que ella conocía y con las longitudes de la altura y ancho. Esta forma no se conserva en la imagen que la luz genera en el piso al pasar por dicho agujero, puesto que ella nos dijo. “El cuadro es más alargado, su altura mide 10cm y su ancho 3cm”. (Figura 18)

Al ubicar el sólido transparente de modo que la luz pase a través de él, la imagen en el suelo fue descrita por Estefanía así: “Son tres rectángulos, la altura del rectángulo azul y rojo es de 8cm y la del verde de 4cm”

Además de establecer descripciones de las imágenes, nosotros pretendíamos que los estudiantes comentaran acerca de los significados que estas características les conferían a sus explicaciones. Al respecto, Estefanía manifestó. “la forma, posición y los colores de la imagen cuando la luz pasa por el envase de vidrio, no son las mismas que cuando por él no pasa”. Esto es, ella realizó una comparación entre las imágenes que forma la luz en el suelo antes y después de ubicar el sólido. Ella nos cuenta que no son iguales, pues su color, tamaño y forma cambian.

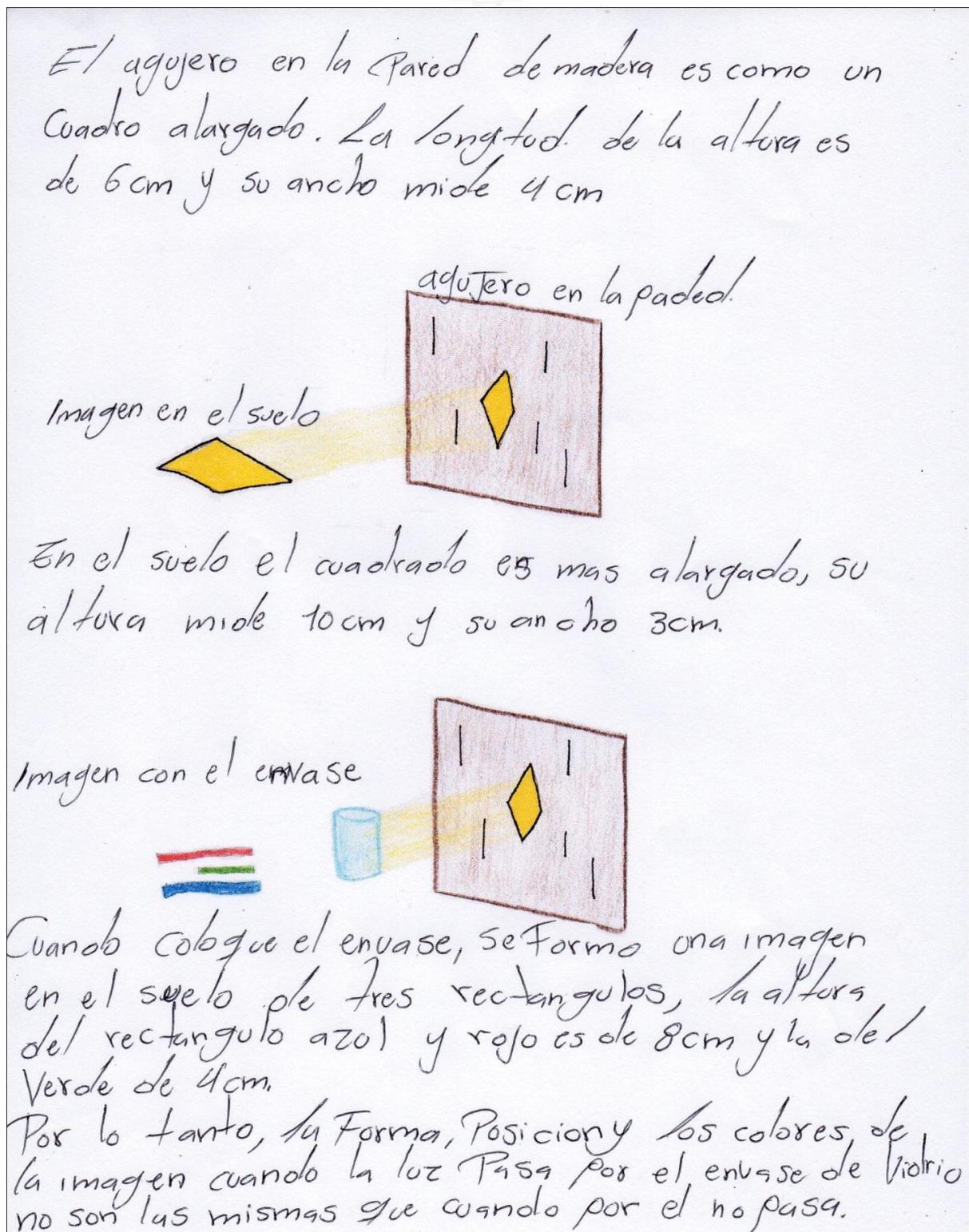


Figura 18. Imagen de la luz del Sol en el suelo antes y después de ubicar el sólido transparente. Estefanía, I.E. E.N.S de Medellín. Ab 6 2016.

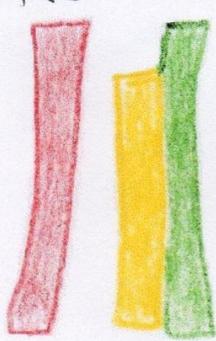
Consideramos que el aporte de Estefanía, como lo expusimos en el capítulo tres, está entre los resultados que esperábamos, puesto que ella, a diferencia de Newton, no recurre a definiciones como rayo, refrangibilidad, sino a la comparación entre figuras geométricas. Es decir, este resultado es posible abordarlo desde los axiomas que Newton propone en su obra *Optica*, pero Estefanía nos presenta otra manera de hacerlo, por lo cual se cumple nuestra pretensión de no confirmar o validar las proposiciones de Newton, sino trabajar a partir de lo que los estudiantes observan en los montajes.

Con la intervención de Estefanía, notamos que ella sólo involucra la presencia del sólido transparente como el causante de la diferencia entre ambas imágenes. Es decir, sólo cuando interviene el envase, entonces la imagen cambia. A diferencia de Estefanía, Daniela del grado undécimo señala que la forma de las caras del envase también provoca que las imágenes sean distintas entre sí. Ella nos describe la abertura y la imagen en el suelo antes de situar el envase de vidrio entre el piso y la ranura así. “La forma del hueco en la ventana se asemeja a la de una campana aplanada, porque se parece a un triángulo, pero de lados circulares”. Ella también recurre a figuras geométricas para caracterizar el agujero.

Al igual que Estefanía, Daniela notó diferencias en el contorno de la abertura y la imagen del piso, pues ella nos manifestó. “La imagen no es como la del agujero, porque el triángulo es más alargado y uno de sus lados es recto, los otros están curvados”. Además, ella nos expresó que dicha diferencia no representa ningún problema, porque la comparación se realiza entre la imagen que forma la luz que llega al suelo que pasa por el frasco y la que no lo hace. Por lo cual, el contorno del agujero en la ventana no se tiene que conservar en la forma de la imagen en el piso.

La forma del hueco en la ventana se asemeja a la de una campana aplanada porque se parece a un triángulo pero de lados circulares

En el suelo el triángulo es más alargado y uno de sus lados es recto los otros están curvados



Al poner en el camino de la luz el envase circular la imagen se divide en cuatro partes, tres de ellas son rectangulares de color rojo, amarillo y verde

La otra parte es una curva de color violeta



Con el frasco de base rectangular la imagen solo se divide en dos partes rectangulares de color rojo y verde

R/ Las imágenes en el piso varían según la forma del envase que se usa porque la cantidad de rectángulos y colores que se obtienen con el envase circular no es igual a la que se ve con el rectangular.

Figura 19. Imagen de la luz del Sol en el piso al ubicar un envase de base circular y rectangular. Daniela, I.E. Francisco Miranda, Ab 8 2016.

Dado que Daniela involucra la forma de las caras del envase transparente como una de las causas que genera la diferencia entre las imágenes (figura 19), entonces ella nos describió los dos sólidos con lados distintos entre sí que empleó. Al respecto, Daniela dice. “Uno de los dos frascos es de base circular y el otro tiene una base rectangular”. Según ella, la base de los envases determinan la forma de los lados.

De acuerdo a las imágenes que la luz del Sol describió al pasar por cada uno de los recipientes, ella mencionó. “Al poner en el camino de la luz el envase circular, la imagen se divide en cuatro partes: tres de ellas son rectangulares de color rojo, amarillo y verde, la otra parte es una curva de color violeta”. Al usar el otro envase, Daniela nos contó. “Con el frasco de base rectangular, la imagen solo se divide en dos partes rectangulares de color rojo y verde”. (Figura 19)

Estas dos imágenes que se obtienen con dos sólidos diferentes le sirvieron de base a Daniela para hacer su comparación. De acuerdo con ella. “Las imágenes en el piso varían según la forma del envase que se usa, porque la cantidad de rectángulos y colores que se obtienen con el envase circular no es igual a la que se observan con el envase rectangular”.

Al comparar los resultados de Estefanía y Daniela, notamos que ambas le atribuyeron la diferencia de las imágenes en el piso a distintas cuestiones, pero estas discrepancias también las esperábamos, porque habíamos previsto la diversidad en sus explicaciones, pues cada una de ellas observa aspectos diferentes en los montajes.

Hasta el momento, Estefanía y Daniela le atribuyeron la diferencia de las imágenes al sólido transparente y la forma geométrica de sus lados. Steven del grado noveno, además de esos aspectos, consideró que el material con el cual están llenados los envases juega un papel en la imagen que la luz describe al pasar por ellos. Para dar cuenta de esto, Steven (figura 20) describió la forma del agujero en el techo y la imagen en el suelo así. “La ranura en el tejado

consiste de un rectángulo unido a un triángulo. La imagen en el suelo es más grande que la ranura”.

Como la intención de él era establecer que el material del envase determina la imagen en el suelo, entonces Steven nos contó. “A un envase de vidrio de lados rectangulares, lo llené de agua. Luego lo puse al frente de la ranura. La imagen en el piso son varios rectángulos pequeños separados. Dos rectángulos o tres próximos entre sí, siempre tienen el mismo color”. Esto es, con el primer material (agua), él observa diferencias en la imagen antes y después de ubicar el envase.

En cuanto al segundo material Steven nos dice: “Después de vaciar el agua del envase, lo llené de glicerina. La imagen son dos rectángulos curvados de color rojo y violeta”. Con base a estos dos resultados, Steven concluye: “Considero que el material del sólido transparente determina la forma, la posición y el color de la imagen en el suelo, porque con el agua no se obtiene las mismas figuras que cuando se utiliza la glicerina” (Figura 20).

Con los otros integrantes del salón, acordamos que la imagen en el suelo depende de la forma de los lados y los materiales del envase transparente que se ubica entre el piso y la ranura en el techo, la ventana y el muro de donde proviene la luz. Este consenso también lo esperábamos, puesto que hace parte de la socialización, reconstrucción de las explicaciones de todos los integrantes del grupo al final del taller experimental.

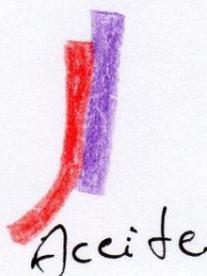
Según las respuestas de los estudiantes, consideramos que nuestros objetivos trazados para este taller experimental se cumplieron, porque no esperábamos que ellos observaran que la luz describe líneas rectas, rayos que siguen trayectos distintos al pasar de un medio a otro, ángulos de refracción. Es decir, confirmar las definiciones, axiomas y proposiciones que Newton presenta en su obra Óptica, sino que los estudiantes a partir de sus propias observaciones caracterizaran la luz del Sol al pasar por sólidos transparentes. La técnica con la cual los estudiantes abordaron dichas características fue la comparación de las imágenes

La ranura en el tejado consiste en un rectángulo unido a un triángulo. La imagen en el suelo es más grande que la ranura.

- A un envase de vidrio de lados rectangulares, lo llene de agua. luego lo puse al frente de la ranura. la imagen en el piso son varios rectángulos pequeños separados. Dos rectángulos o tres próximos entre ellos siempre tienen el mismo color.



Agua.



Aceite

Después de vaciar el agua del envase, lo llene con aceite transparente. La imagen son los rectángulos curvados de color rojo y violeta.

violeta

3.3. R: considero que el material dentro del envase determina la forma, la posición y el color de la imagen en el suelo, porque con el agua no se obtiene los mismos figuras que cuando se utiliza el aceite.

antes y después de que la luz pasara por los sólidos transparentes. A saber, ellos observaron semejanzas y diferencias en las figuras geométricas con las cuales representaban las imágenes en el piso.

Implementación de los Talleres experimentales 1.2 y 1.3. La refracción a partir de la organización de la luz de colores que pasa a través de un prisma

Con estos talleres experimentales pretendimos que los estudiantes, de acuerdo con sus construcciones teóricas y experimentales realizadas en el taller 1.1, abordaran los colores obtenidos al hacer pasar la luz blanca por las caras rectangulares de un prisma con la intención de organizar las características de lo que observaban o construir dicho fenómeno.

Como lo manifestamos en el capítulo tres, para el punto 2.1 de los talleres experimentales 1.2 y 1.3, les solicitamos a los estudiantes que proyectara luces de colores con un computador y un video beam. Los estudiantes determinaron que la imagen proyectada por el video beam y la que llegaba a una pantalla en frente de ella difería dependiendo de si un envase transparente estaba en este trayecto o no. Manuela del grado undécimo da cuenta de ésto al establecer:

Cuando se proyecta la imagen de la diapositiva de Microsoft Power Point con el video beam de manera que llegue a la pantalla en frente de él sin que el envase obstaculice su trayecto, la imagen es de forma recta y de color blanco y muy luminoso, pero cuando el envase está presente la forma es demasiado deforme, el color es como azul, verde, naranjado y blanco. Además, el tamaño es más grande y no brilla tanto como el anterior (Figura 21).

También se utilizó un prisma o sólido de caras triangulares y rectangulares construido por ellos con una hoja de acetato y agua para analizar la imagen obtenida al colocarlo en frente del video beam. Se declaró un cambio en la imagen antes y después de situar el sólido tal y como lo expresa Jhonatan del grado undécimo. “Antes de ubicar el prisma de acetato la

Facultad de Educación imagen es rectangular, blanca y más larga que ancha, pero después el rectángulo se pone oscuro y a los lados de la imagen aparecen unos reflejos grandes de color morado”

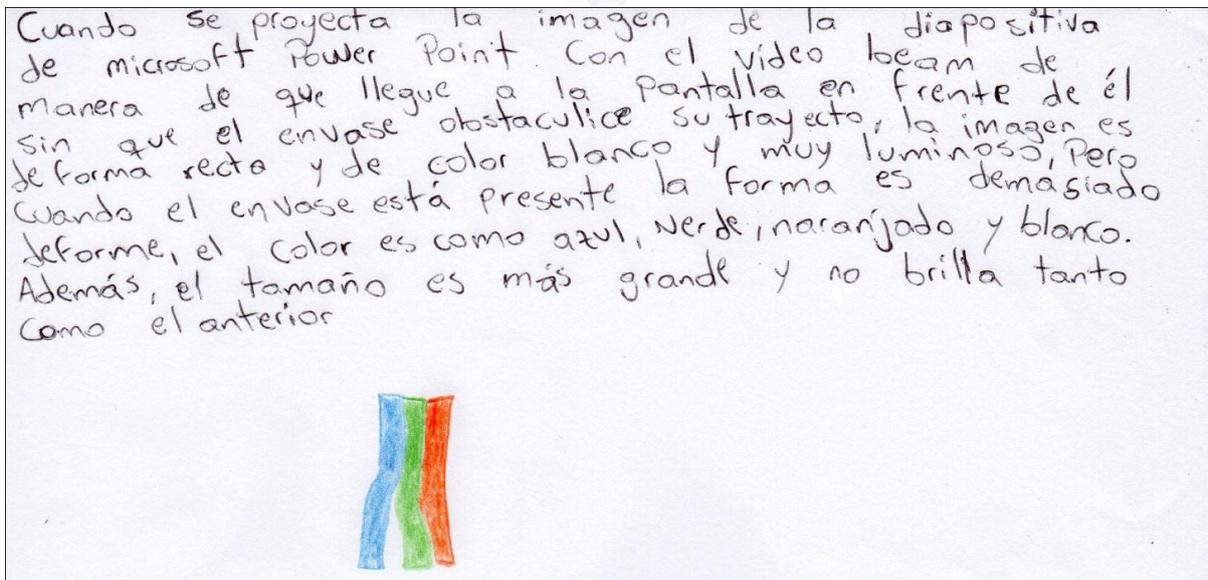


Figura 21. Rectángulo blanco que proyecta el video beam después de pasar a través de un recipiente transparente. Manuela, I.E. Francisco Miranda, May 4 2016.

Por lo tanto, Manuela establece que las características iniciales de un rectángulo de color blanco proyectado por el video beam no se conservan cuando la luz pasa por las caras transparentes de un recipiente; además, de acuerdo con Jhonatan, esto también se presenta cuando se cambia el envase por un prisma de acetato y agua, puesto que los colores se oscurecen y aparecen otros. Se acordó entre todos que la forma, el color, el tamaño y la posición de la imagen del rectángulo de color blanco elaborado en una diapositiva de Microsoft Power Point y proyectada con un video beam conserva la estructura inicial dependiendo de si antes pasa o no por las caras transparentes de los sólidos.

La forma, el color, el tamaño y la posición de la imagen obtenida en la pantalla posterior al envase y al prisma de acetato, al variar la inclinación de los sólidos respecto a la horizontal del piso también fue objeto de estudio, se evidenció que dichas características dependen de la posición del cuerpo puesto que, como lo expresa Daniela del grado undécimo: “Al colocar el envase de vidrio de base cuadrada en una posición predeterminada se observó un rectángulo dividido en dos, por un lado hay tonos azulados y en el otro amarillosos, pero

Facultad de Educación al mover el envase por donde está pasando la luz, la forma de la imagen se distorsiona y va cambiando de lugar y tonos”; asimismo, Frank del grado undécimo estableció diferencias en las imágenes no sólo al cambiar la inclinación del sólido respecto al piso, sino que también las notó al cambiar la geometría del envase, al respecto nos dice: “Cuando colocamos un cuerpo redondo la línea recta se divide en dos, una permanece en la parte superior y la otra se desplaza hasta la parte inferior de la pantalla con un color azul, la línea en la parte de abajo es más ancha que la del extremo de arriba pues ella contiene dos franjas cada una del mismo ancho que la de arriba, pero una es de color azul y la otra café” (Figura 22).

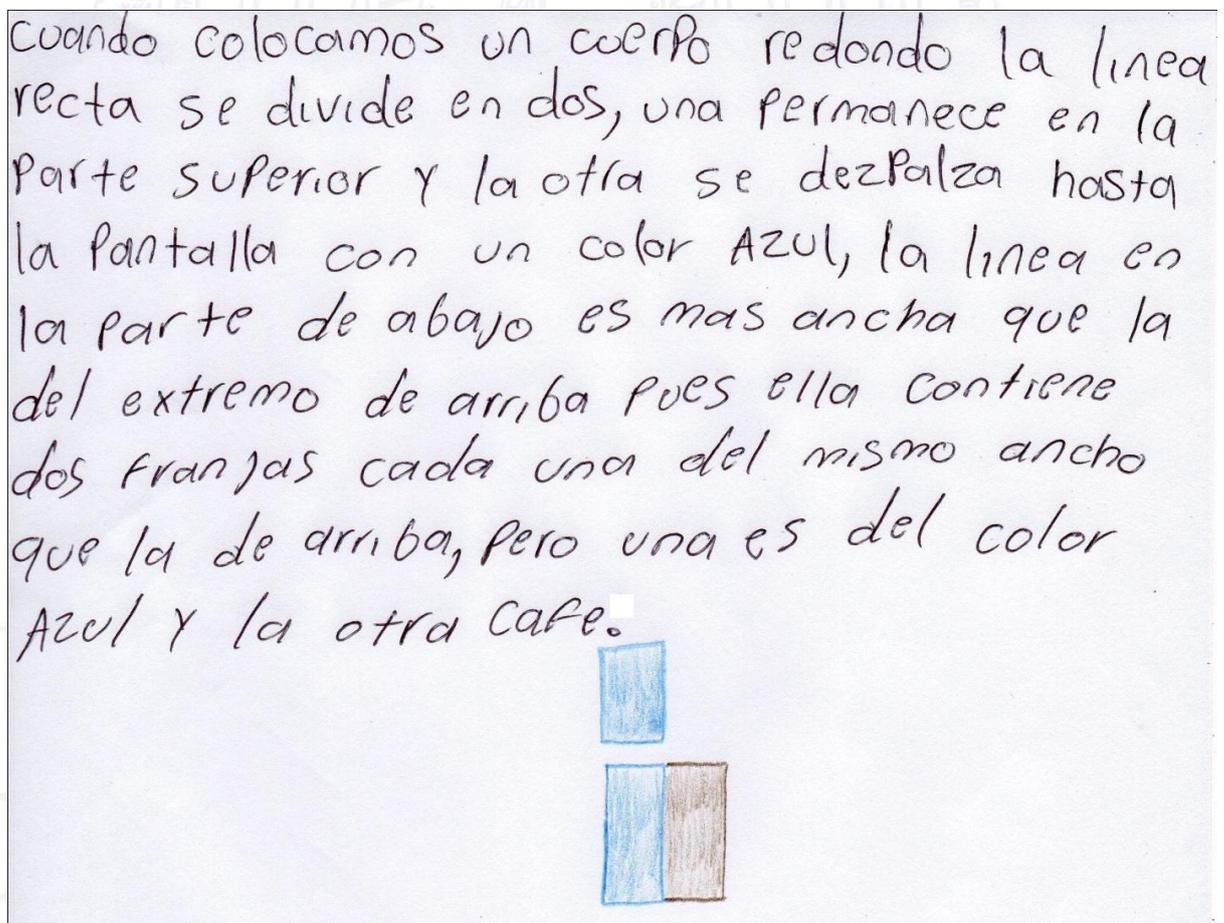


Figura 22. Imagen del rectángulo blanco al pasar por un cuerpo transparente redondo. Frank, I.E. Francisco Miranda, mayo 4 2016.

Ahora Daniela establece que no sólo la imagen proyectada en la pantalla transparente cambia de forma, color, tamaño y posición al colocar el sólido al frente del video beam,

puesto que si varía la inclinación del cuerpo respecto al piso la imagen presenta otros tonos, otro lugar y se distorsiona. Frank además de notar lo mismo, expresa que también se obtienen cambios en la imagen si cambia la geometría del envase de vidrio, dado que si la base es redonda y no cuadrada obtiene dos franjas unidas de colores azul y café, y otra franja de color azul pero en la parte superior de las otras dos.

En el salón analizamos también los colores, el tamaño, la forma y la posición de la imagen en la pantalla con un prisma de acrílico, cuyas caras, por supuesto, eran más rígidas que las de los prismas elaborados con hojas de acetato, se evidenció cambios en la imagen ya que, como lo presenta Julián del grado noveno: “Al situar el prisma de acrílico se forma un arcoíris, el cual expone los colores rojo, amarillo, verde, azul y morado”; es decir, se obtienen, como lo expresa Alejandra del grado noveno: “Más colores y más intensos que los provocados por el envase de vidrio y el sólido de acetato”; además, se logró también cambios en la imagen variando la inclinación del prisma, al respecto nos dice Juan del grado noveno: “Si se pone el prisma con la cara triangular paralela al piso, noto los colores amarillo, azul y rojo, pero si ubico el prisma de manera de que la cara rectangular esté paralela al piso, se puede apreciar un color rojo con una línea blanca a su lado en la pantalla y en el techo se proyecta una línea verde” incluso si se coloca un prisma en frente de otro la imagen en la pantalla cambia porque, como nos cuenta Jennifer del grado noveno: “Aparece una línea fucsia al lado izquierdo de la pantalla al superponer los prismas”

Ahora Julián y Alejandra establecen que con el acrílico, al igual que con el acetato, se obtienen diferencias en el color, y la intensidad es distinta. Jennifer además expone que uniendo dos prismas de acrílico se presenta un color no visto a partir de uno sólo.

La pregunta 2.1.1 contextualizada en el trabajo de Newton del taller experimental 1.2 permitió avanzar en la organización de la luz que pasa por las caras de un sólido transparente, puesto que de acuerdo con Manuela y el común acuerdo final de todo el grupo fue que el color, la

forma y el tamaño de la imagen proyectada en la cartulina depende de si el haz de luz del video beam había pasado o no por el envase. Esta pregunta se extendió a la utilización de un prisma construido con hojas de acetato y llenado con agua, se obtuvieron resultados similares. Por tanto, los estudiantes pudieron encontrar relevante que la forma del sólido transparente: prisma triangular y las diversas formas del envase de vidrio, por el cual pasa el haz de luz determina un cambio en la forma rectangular de la imagen proyectada por el video beam.

Para que los estudiantes organizaran la luz respecto a la posición del envase de vidrio, o dieran cuenta de la forma de la imagen al variar la inclinación del tarro respecto al horizonte les preguntamos: ¿El color, la forma y el tamaño de la imagen proyectada en la cartulina dependen de la posición del cuerpo y por qué? Esta pregunta nos permitió adelantar dicha organización puesto que la intervención de Daniela y el común acuerdo final con el grupo evidenció que el color no era el mismo al rotar el envase de vidrio, puesto que iba cambiando de tonos y la imagen se distorsionaba. Así mismo, el aporte de Frank y de todo el grupo manifiesta que también la geometría del cuerpo desempeña un papel en el color, la forma y el tamaño de dicha imagen, pues ella se divide en dos, cambia de grosor y de color.

La pregunta 3.1.1 del taller experimental 1.2 permitió que los estudiantes organizaran los colores de la imagen posterior al prisma de acetato y acrílico, y el envase de vidrio porque, como lo manifiesta Julián y el común acuerdo del grupo, al situar el prisma de acrílico se obtiene los colores violeta, azul, verde, amarillo y rojo. Además, Alejandra expresa que si bien con el prisma de acetato se obtiene dichos colores, solo con el prisma de acrílico los colores son más intensos.

Implementación de los talleres experimentales 2.1 y 2.2. El efecto fotoeléctrico a partir de la caracterización de la luz de color homogéneo del Sol y del video beam.

Con estos talleres experimentales nosotros esperábamos que a partir de la caracterización de la luz del Sol elaborada por los estudiantes en el taller 1.1, ellos obtuvieran al interponer un sólido transparente entre la luz del Sol y una pantalla (suelo, cartulina blanca en la pared) luz de color violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo. Es decir, por ejemplo, en la implementación del taller experimental 1.1, Valeria del grado noveno nos dice:

“Cuando la luz del Sol llega al suelo es de color blanca, pero al pasar por un prisma de acrílico es de color violeta, amarillo y rojo”.

Esta organización que nos presenta Valeria de los colores que se obtienen de la luz del Sol al hacerla pasar por el prisma, es necesaria para el desarrollo de este taller, puesto que la luz que proyecta cada color que ella observa en el suelo, se hará incidir sobre los cristales de Germanio y Silicio del sensor fotoeléctrico; se observará si el LED de color rojo se apaga o no. Al respecto, ver el capítulo tres.

Al igual que en los talleres experimentales pasados, nosotros no pretendimos con su implementación que los estudiantes organizaran la luz del Sol por su longitud de onda y energía, sino que la caracterizaran a partir de sus propias observaciones en los experimentos con el sensor fotoeléctrico. Steven del grado noveno, por ejemplo, nos manifiesta: “La luz del Sol es diferente a la luz que proyectan los colores en el suelo, colores que surgen al colocar el prisma triangular al frente de la luz del Sol, porque el LED de color rojo se apaga cuando la luz del Sol llega hasta el cristal de Germanio, pero no se apaga con la luz de colores”.

Esto es, Steven compara la luz del Sol y las diversas luces de colores que componen la imagen en el suelo, después de ubicar entre el piso y la ranura por donde ingresa la luz del Sol, el prisma con el sensor fotoeléctrico. Él observa que dichas luces: la del Sol y las de colores son distintas. Para llegar a esta conclusión Steven nos expone el siguiente proceso: “Al frente de una ranura del techo en forma de rectángulo que produce en el suelo una imagen rectangular y de color blanco, ubiqué un prisma triangular transparente de acrílico, la

imagen nueva que obtuve estaba constituida por las luces que proyectaban varios rectángulos unidos de color violeta, azul y verde en el piso”.

A saber, él nos expone la imagen que la luz del Sol forma al pasar por la ranura y las luces de colores que se obtienen cuando se ubica el prisma entre la ranura y el piso. Es decir, las cuatro luces de colores que hará incidir sobre el cristal de Germanio del sensor fotoeléctrico.

Después de describir estas luces, Steven nos manifiesta: “En el rectángulo de color blanco ubiqué el sensor fotoeléctrico de manera de que la luz del Sol llegara directamente desde la ranura hasta el cristal de Germanio, entonces observe que el LED de color rojo se apagaba, pero al ubicar el sensor fotoeléctrico en los rectángulos de color violeta, azul y verde, el LED no se apagaba. Por lo cual, la luz del Sol es diferente a la luz de esos colores” (Figura 23).

La intervención de Steven la consideramos interesante, puesto que él nota que las luces de colores se obtienen a partir de la luz del Sol, pero son distintas porque no logran, al igual que la del Sol, apagar el LED. A partir de esta exposición, nosotros le preguntamos a los estudiantes: ¿La diferencia entre la luz del Sol y la de color violeta, azul, y verde, que presenta Steven, se mantiene para el cristal de Silicio?

Algunos estudiantes nos manifestaron que no estaban de acuerdo con Steven, porque con la luz de color rojo que incide sobre el cristal de Germanio, el LED de color rojo si se apaga. Al respecto, Alejandra del grado noveno nos dice: “La luz de color violeta, azul y verde es diferente a la luz blanca del Sol, pero es igual a la del color rojo”. Nosotros sentimos, al igual que los otros estudiantes, curiosidad en cuanto al comentario de Alejandra, puesto que les preguntamos: ¿consideran que la diferencia y la igualdad entre las luces que presentan Steven y Alejandra

Al frente de una ventana del techo en forma de rectángulo que produce en el suelo una imagen rectangular y de color blanco, ubique un prisma triangular transparente de acrílico, la imagen nueva que obtiene es talba construida por las luces que proyectaban varios rectángulos unidos de color violeta, azul y verde en el piso.



En el rectángulo de color blanco ubique el sensor fotoeléctrico de modo que la luz del sol llegara directamente desde la ventana hasta el cristal de Germanio, entonces observe que el led de color rojo se apaga, pero al ubicar el sensor fotoeléctrico en los rectángulos de color violeta, azul y verde, el led no se apaga, por lo cual la luz del sol es diferente a la luz de esos colores.

La luz del sol es diferente a la luz que proyectan los colores en el suelo, colores que surgen al colocar el prisma triangular al frente de la luz del sol, porque el led de color rojo se apaga cuando la luz del sol llega hasta el cristal de Germanio, pero no se apaga con la luz de colores.

Figura 23. Luz de color violeta, azul y verde que incide en el sensor fotoeléctrico. Steven, I.E. E.N.S. de Medellín. Ab 27 2016.

depende del material del cristal? Además, Santiago pregunta: “¿Cómo es posible que la luz de color blanco sea igual a la del color rojo?”.

Alejandra nos responde la pregunta que realizó Santiago con el proceso con el cual llegó a su conclusión. Al respecto, ella nos manifiesta: “Ubique el cristal de Germanio del sensor fotoeléctrico en el círculo de color blanco que formaba la luz del Sol al pasar por una ranura en el techo, observe que el LED de color rojo se apagaba. Cuando ubique el prisma transparente de acrílico al frente de la ranura, puse el cristal en cada rectángulo de color violeta, azul, verde y rojo que se formaba en el piso, solo en el rectángulo rojo el LED se apagaba” (Figura 24).

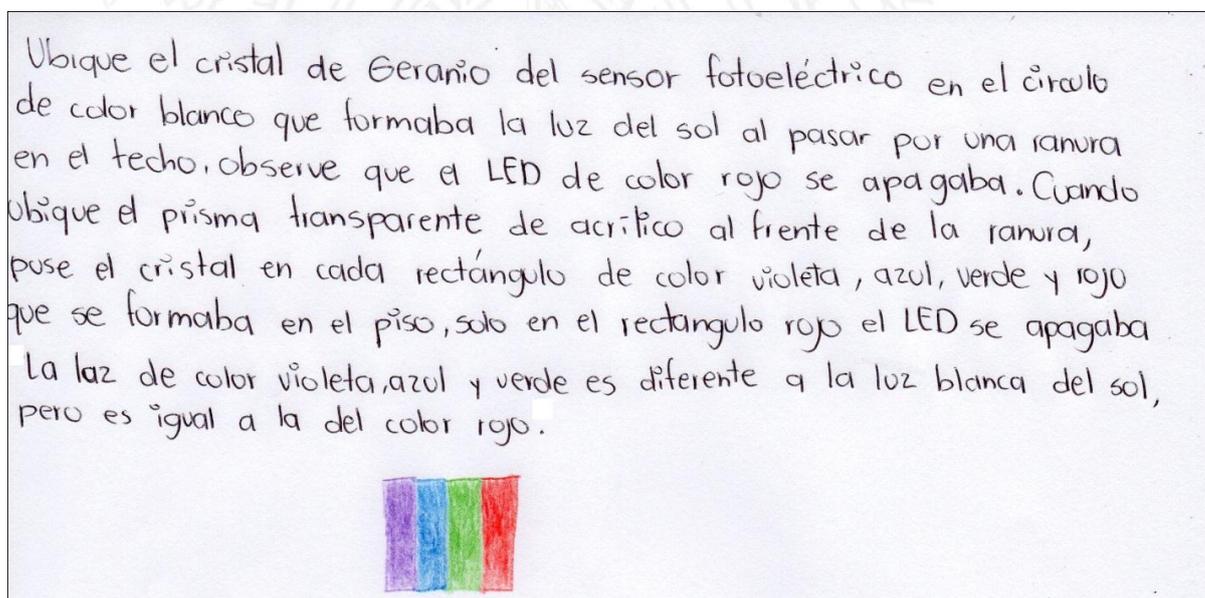


Figura 24. Luz de color violeta, azul, verde y roja que incide sobre el sensor fotoeléctrico. Alejandra, I.E. E.N.S. de Medellín. Ab 27 2016.

Nosotros esperábamos que Alejandra utilizara sus propias observaciones para responderle a Santiago. Ella, por ejemplo, compara la luz blanca y de color violeta, azul, verde y rojo a partir del apagado o no del LED. Es decir, consideramos que estas explicaciones son adecuadas, puesto que, a diferencia de Einstein, los estudiantes no observan en los colores de las luces que abordaron distintas longitudes de onda y energía. A partir de la respuesta de Alejandra, nos damos cuenta que ella no va más allá de lo que se percibe o de la información que logra obtener por medio de los sentidos. En consecuencia, logramos darle otro papel al experimento, más que confirmar la respuesta. Alejandra utiliza la

disposición del prisma, los colores y su forma en la imagen en el piso para elaborar

sus propias explicaciones. En este caso, el experimento le confiere significados a las propias construcciones teóricas de ella, y no trata de demostrar los discursos de Einstein o de Newton.

Daniel, del grado noveno, nos presenta otro ejemplo de cómo el experimento les confiere significados a sus enunciados teóricos, pues a diferencia de Steven y Alejandra él manifiesta:

La luz del Sol está compuesta por la luz de color violeta, azul, verde, amarillo, naranja y roja, puesto que al incidir la luz del Sol sobre los cristales de Germanio y Silicio el LED se apaga, pero al separarlos con el prisma triangular, entonces el sensor fotoeléctrico solo responde cuando se le hace incidir sobre el cristal de Germanio luz de color roja. Con el cristal de Silicio, el LED siempre se apaga.

Es decir, Daniel no considera la luz de color violeta, azul y verde distinta a la luz del Sol, y la luz de color rojo igual a la del Sol, puesto que él no solo compara las luces con el apagado del LED al usar el cristal de Germanio, sino que las compara con los cristales de Silicio y Germanio. En consecuencia, en vez de establecer diferencias e igualdades entre las luces, él determina que la luz del Sol está compuesta de todas las luces de colores.

Estas explicaciones diferentes también las esperábamos, porque no todos los estudiantes observan lo mismo en los experimentos, disponen de igual manera el prisma triangular entre el piso y la abertura por donde ingresa la luz del Sol, le hacen incidir los mismos colores a los cristales. Por lo cual, a cada estudiante le confiere el experimento significados distintos.

Coloque el cristal de germanio en un ovalo blanco en la pared que proyecte la luz del sol que entra por un agujero en la ventana, note que el LED se apaga. Realice este proceso con el cristal de silicio y obtube el mismo resultado. Cuando puse el prisma en el hueco de la ventana, obtuve varios rectángulos de color violeta, azul, verde, amarillo y rojo. Al poner el cristal de Germanio sobre dichos rectángulos, entonces el LED solo se apaga con la luz roja, con el cristal de silicio el LED se apaga con todas las luces de colores. Por lo cual, la luz del sol esta compuesta por todas las luces de colores.

La luz del sol está compuesta por la luz de color violeta, azul, verde, amarillo, naranja y roja, puesto que al incidir la luz del sol sobre los cristales de Germanio y silicio el LED se apaga, pero al separarlos con el prisma triangular, entonces el sensor fotoeléctrico solo responde cuando se le hace incidir sobre el cristal de Germanio luz de color roja. Con el cristal de silicio, el LED siempre se apaga.

Figura 25. La luz del Sol está compuesta por la luz de color violeta, azul, verde, amarillo y roja. Daniel. I.E. Escuela Normal Superior de Medellín. 27 de abril del 2016.

Daniel nos expone el proceso con el cual llegó a su explicación así:

Coloque el cristal de Germanio en un ovalo blanco en la pared que proyecta la luz del Sol que entra por un agujero en la ventana, noté que el LED se apaga. Realicé este proceso con el cristal de Silicio y obtuve el mismo resultado. Cuando puse el prisma en el hueco de la ventana, obtuve varios rectángulos de color violeta, azul, verde, amarillo y rojo. Al poner el cristal de Germanio sobre dichos rectángulos, entonces el LED solo se apaga con la luz roja, con el cristal de Silicio el LED se apaga con todas las luces de colores. Por lo cual, la luz del Sol está compuesta por todas las luces de colores. (Figura 25)

Con los otros estudiantes acordamos que la luz del Sol está compuesta por las luces de color violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo. Establecer que la luz de color rojo es igual a la luz del Sol, y distintas a la luz de color violeta, azul y verde, entonces es inadecuado cuando la comparación entre todas las luces se hace solo con el cristal de Germanio. Por ejemplo, Manuela nos manifiesta:

La luz de color rojo se comporta igual que la luz blanca del Sol cuando incide sobre el cristal de Germanio, pero de forma distinta con respecto a las luces de color violeta, azul y verde. Pero tampoco es posible establecer que la luz de color rojo es igual a la luz del Sol, porque la luz blanca y de color violeta, azul, verde, amarillo, naranja y roja se comporta igual cuando inciden sobre el cristal de Silicio. Por lo tanto, la luz blanca del Sol contiene las otras luces.

Nosotros esperábamos realizar este consenso con todos los integrantes del grupo, puesto que esto, hace parte de los resultados de la socialización de los enunciados teóricos que cada uno construye a partir de sus intervenciones en los montajes. Según este consenso, los estudiantes no se refieren a las luces por su longitud de onda y energía, sino por las luces de colores que apagan el LED cuando llegan hasta el cristal de Silicio y Germanio. Las explicaciones propuestas por los estudiantes dan cuenta de la diferencia entre las luces de

colores que se obtienen al hacerla pasar por un prisma, pues establecen unos criterios de comparación con el sensor fotoeléctrico.

Esta comparación que se puede abordar con el discurso de Einstein al establecer, según con lo que expusimos en el capítulo dos, una energía específica para cada color que compone el espectro visible, los estudiantes la caracterizan al determinar, por ejemplo, que la luz de color rojo se comporta diferente a la luz de color azul cuando inciden sobre el cristal de Silicio y Germanio.

Uno de los aportes de los estudiantes que nos llaman la atención, es la caracterización que Camilo del grado noveno logró hacer con la luz de colores del video beam. Al respecto, él nos dice:

Proyecté desde el video beam un rectángulo de color blanco en un fondo negro en la pared, al colocar el cristal de Silicio y Germanio en frente del rectángulo, entonces el LED se apagó. Cuando separe la luz del rectángulo blanco con un prisma obtuve los rectángulos de color violeta, azul, amarillo y rojo. Con la luz de color azul y el cristal de Silicio el LED se apagaba, pero con dicha luz y con el cristal de Germanio no. Por lo tanto, no es posible establecer que la luz es igual o diferente a otras con este experimento, pues la respuesta del sensor depende de los cristales y de la luz y no solo del color.

Nosotros también esperábamos que los estudiantes elaboraran la conclusión que Camilo nos presenta con la luz del video beam, pues decir que la luz de color azul es diferente a ella misma porque se comporta diferente con el cristal de Germanio y Silicio es una hipótesis muy forzada. Por lo cual, esta diferencia que se presenta con la utilización de ambos cristales los estudiantes se la atribuyeron tanto a los cristales como a las luces de color. Este análisis es posible abordarlo también desde el discurso de Einstein al establecer una energía específica para el Germanio y Silicio, energía con la cual debe incidir la luz sobre ellos para que el

sensor responda, como se logró hacer en el capítulo dos, pero nuestro objetivo no era la confirmación de la teoría que Einstein presenta, sino la caracterización de los cristales y las luces de colores a partir de los significados que su disposición en los montajes les conferían a cada estudiante.



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3



PROTOCOLO DE COMPROMISO ÉTICO Y ACEPTACIÓN DE LOS PARTICIPANTES EN LA INVESTIGACIÓN

Nombre del trabajo: La enseñanza de la óptica desde los conceptos iniciales de la mecánica cuántica.

Encargado: Johan Esteban Galeano Carvajal C 1035863008

Esta investigación tiene como propósito elaborar y argumentar una propuesta pedagógico-didáctica en Ciencias Naturales, para el grado once, apoyada en la experimentación como eje en la construcción de conocimiento científico, relacionado con problemáticas sobre la luz.

Enmarcada en la Línea de Epistemología e Historia de la Física del grupo de investigación ECCE, esta investigación propone como protagonista al docente practicante del grado 11º1 de la Institución Educativa Francisco Miranda y para ello se considera como espacio de reflexión el aula de clase y las experiencias que de ella se desprenden, las cuales involucran tanto a docente como estudiantes.

En virtud de lo anterior, les comunicamos que los estudiantes del grado 11º1 del 2016 de la Institución Educativa Francisco Miranda son partícipes de esta investigación y les solicitamos su aceptación como representantes legales de los estudiantes para socializar públicamente los resultados de este proceso.

Presentamos para ello nuestro compromiso ético, concerniente al uso adecuado, respetuoso y discrecional de la información por ellos suministrada. Esta información sólo será utilizada para los propósitos enunciados en el marco de esta investigación y presenta total independencia de la evaluación del año escolar en curso. Garantizamos además el proceso de retroalimentación con base en lo analizado y los créditos de carácter investigativo que como protagonistas de la investigación se merecen.

Así pues, las personas que firman este documento autorizan a los investigadores para que las fuentes de información como escritos, fotografías, entrevistas, grupos de discusión, y demás sean la base de análisis de esta investigación. Toda esta información se protege en atención a la Ley 1581 de 2012 cuyo objeto es el de proteger la información personal que se recoge en bases de datos, archivos o similares. Les solicitamos comunicarnos las recomendaciones o sugerencias que consideren pertinentes.

Johan Esteban Galeano Carvajal



PROTOCOLO DE COMPROMISO ÉTICO Y ACEPTACIÓN DE LOS PARTICIPANTES EN LA INVESTIGACIÓN

Nombre del trabajo: El papel de la teoría y el experimento en la clase de física. El caso de la enseñanza de la refracción y el efecto fotoeléctrico.

Encargado: Danny Alexander Rodríguez Villa CC 1036400159

Esta investigación tiene como propósito elaborar y argumentar una propuesta pedagógico-didáctica en Ciencias Naturales, para el grado noveno, apoyada en la experimentación como eje en la construcción de conocimiento científico, relacionado con problemáticas sobre la luz.

Enmarcada en la Línea de Epistemología e Historia de la Física del grupo de investigación ECCE, esta investigación propone como protagonista al docente practicante del grado 9ºD de la Institución Educativa Escuela Normal Superior de Medellín y para ello se considera como espacio de reflexión el aula de clase y las experiencias que de ella se desprenden, las cuales involucran tanto a docente como estudiantes.

En virtud de lo anterior, les comunicamos que los estudiantes del grado 9ºD del 2016 de la Institución Educativa Escuela Normal Superior de Medellín son partícipes de esta investigación y les solicitamos su aceptación como representantes legales de los estudiantes para socializar públicamente los resultados de este proceso.

Presentamos para ello nuestro compromiso ético, concerniente al uso adecuado, respetuoso y discrecional de la información por ellos suministrada. Esta información sólo será utilizada para los propósitos enunciados en el marco de esta investigación y presenta total independencia de la evaluación del año escolar en curso. Garantizamos además el proceso de retroalimentación con base en lo analizado y los créditos de carácter investigativo que como protagonistas de la investigación se merecen.

Así pues, las personas que firman este documento autorizan a los investigadores para que las fuentes de información como escritos, fotografías, entrevistas, grupos de discusión, y demás sean la base de análisis de esta investigación. Toda esta información se protege en atención a la Ley 1581 de 2012 cuyo objeto es el de proteger la información personal que se recoge en bases de datos, archivos o similares. Les solicitamos comunicarnos las recomendaciones o sugerencias que consideren pertinentes.

Danny Alexander Rodríguez Villa

CONCLUSIONES GENERALES

Nuestra interpretación acerca de la construcción del conocimiento físico está involucrada en la forma de abordar la teoría y el experimento en el aula de clase. A partir de una imagen de ciencia en la cual las explicaciones de la naturaleza se descubren en ella, consideramos en el aula el experimento como verificador de las teorías en los libros textos. Además, le suprimimos a los enunciados teóricos las intenciones de los autores que los construyeron. Es decir, les presentamos a los estudiantes con estos libros un conocimiento en el cual no están involucrados los sujetos en su elaboración. Esta situación no sólo se presenta cuando recurrimos únicamente a estos textos e ignoramos las obras que trataron al principio las explicaciones de los fenómenos ópticos, sino cuando nuestras propias interpretaciones acerca de las teorías que enseñamos está ausente.

Hacer explícitas en esta investigación las intenciones de Einstein y Newton en sus obras, y realizar nuestras interpretaciones de ellas, nos permitió diseñar y desarrollar unos talleres experimentales en los cuales no intentamos que se produzca un enfrentamiento entre el contexto del estudiante y los de dichos autores, puesto que resaltamos con ellos que las explicaciones que cada sujeto elabora dependen del contexto histórico y social, sino abordar las propuestas de estos autores a partir de los análisis que los estudiantes realizan desde la caracterización de, por ejemplo, las luces de colores, los prismas, los envases de vidrio, y su disposición en los experimentos que Newton y Einstein nos presentan.

Desde esta perspectiva, el experimento no sólo confirma la teoría, sino que le otorga significados a las explicaciones que cada estudiante elabora a partir de sus propias observaciones. Se evidenció que ellos logran llegar a consensos, recurren a la caracterización de cada experimento para tratar de convencer al otro.

La forma en que cada estudiante abordó los talleres experimentales no es distinta a la forma como lo hicieron Newton y Einstein en sus obras, aunque todos organizan el conocimiento de diversas maneras, porque estos autores, al igual que los estudiantes, se valieron de la interpretación de la información que por medio de los sentidos recibían de cada montaje. Es decir, los enunciados de observación estuvieron involucrados en la construcción de explicaciones, fueron fundamentales para el desarrollo de las diversas perspectivas a las que llegaron.

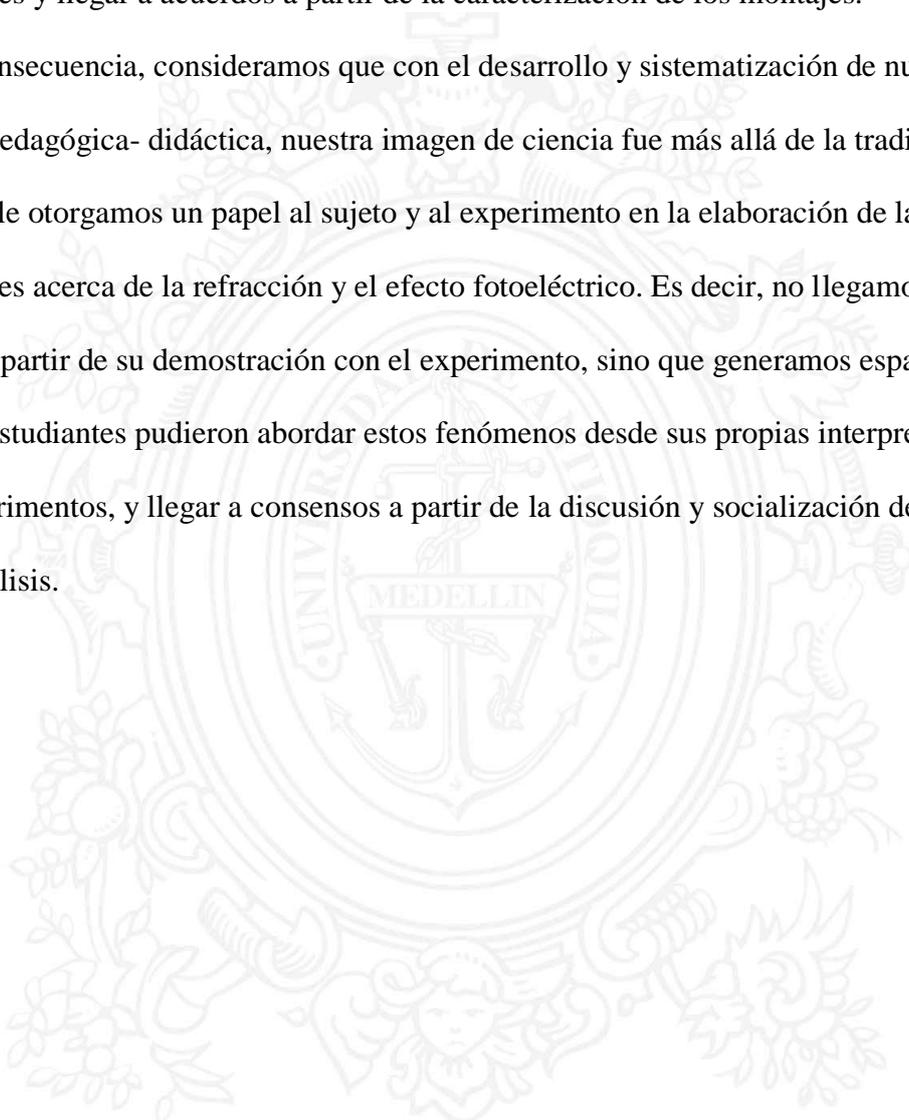
El análisis de los consensos a los cuales los estudiantes llegaron con el desarrollo de los talleres experimentales, da cuenta de aspectos fundamentales que Newton aborda en la refrangibilidad de la luz y Einstein en el efecto fotoeléctrico. A saber, en cuanto a la refrangibilidad, por ejemplo, los estudiantes establecieron que la luz blanca del Sol y la del video beam forman imágenes distintas en una pantalla (suelo, pared) cuando pasan o no por un sólido transparente. También determinaron que la posición, el material y la forma en que incide la luz en las caras del sólido estaban involucrados en el aspecto de las imágenes que se obtuvieron. En cuanto al efecto fotoeléctrico, los estudiantes manifestaron que, por ejemplo, la luz azul no es igual a la luz blanca sólo porque el sensor fotoeléctrico con el cristal de silicio y ambas luces responde, puesto que serían distintas con el cristal de Germanio, pues sólo con la luz blanca el sensor responde, sino que la luz del Sol y la blanca del video beam están compuestas por la luz de color violeta, azul, verde, amarillo, naranja y roja.

Una de las diferencias que notamos en las explicaciones que los estudiantes nos presentaron con respecto a las de Newton y Einstein, son que ellos no se refieren a la energía, longitud de onda y refrangibilidad, sino a sus propias interpretaciones de los experimentos; los conocimientos que se pueden desarrollar a partir de la percepción, que al compararlos con los propuestos por estos científicos en sus obras, encontramos que eran idénticos. Es decir, logramos darle un significado al papel del experimento en el aula con el cual no se pretende

demostrar las teorías de Newton y Einstein, sino, al igual que ellos, construir

explicaciones y llegar a acuerdos a partir de la caracterización de los montajes.

En consecuencia, consideramos que con el desarrollo y sistematización de nuestra propuesta pedagógica- didáctica, nuestra imagen de ciencia fue más allá de la tradicional, puesto que le otorgamos un papel al sujeto y al experimento en la elaboración de las explicaciones acerca de la refracción y el efecto fotoeléctrico. Es decir, no llegamos a teorías absolutas a partir de su demostración con el experimento, sino que generamos espacios en los cuales los estudiantes pudieron abordar estos fenómenos desde sus propias interpretaciones de los experimentos, y llegar a consensos a partir de la discusión y socialización de sus propios análisis.



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, M., Malagón, J., y Guerrero, J. (2004). La enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural. *Física y cultura: Cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias* (07), 79-91.
- Bolívar, A. (2016). Las historias de vida y construcción de identidades profesionales. En M. H. Abrahão., L. Frison., C. Barreiro. (Ed.), *A Nova Aventura* (pp. 251-287). Porto Alegre, Brasil: Edipucrs.
- Campbell, N (1921). Medición. En J. Newman. (Ed.), *Sigma, el mundo de las matemáticas* (pp. 186-201). Barcelona, España: Grijalbo.
- Einstein, A. (1938, 1986). *La evolución de la física*. Barcelona, España: Salvat Editores.
- Frigerio, G., Lambruschini, G. (2002). *Educación: Rasgos filosóficos para una identidad*. Buenos Aires, Argentina: Santillana.
- García, E. (2009). *Historia de las ciencias en textos para la enseñanza-Neumática e hidrostática*. Cali, Colombia: Universidad del Valle
- García, E. (2011). Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. *Praxis Filosófica* (31), 7-24.
- Giraldo, S. (2014). *La actividad experimental en la clase de física y la construcción social de conocimiento: el caso de las escalas termométricas*. Tesis de Maestría en Educación, línea de Educación en Ciencias Naturales. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Hempel, C. G. (1985). La geometría y la ciencia empírica. En J. R. Newman. (Ed.), *Sigma, el mundo de las matemáticas*. Barcelona, España: Grijalbo
- Huygens, C., y Fresnel, A. (1945). *La teoría ondulatoria de la luz*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Losada.

- Kuhn, T. (1980). Parte II. Caracteres estructurales y culturales de la ciencia pura contemporánea. Los paradigmas científicos. En: Estudios sobre sociología de la ciencia. Madrid. Alianza Editorial.
- Newton, I. (1717, 1977). Óptica. Madrid, España: Alfaguara.
- Pérez, H. (2006). Física general. Colonia San Juan, México: Grupo Patria Cultural.
- Ramírez, R., y Villegas, M. (1989). Investiguemos. Bogotá, Colombia: Voluntad.
- Solís, C. (1994). Razones e intereses: la historia de la ciencia después de Kuhn. Madrid, España: Paidós.
- Streetman, B. (2006). Solid state electronic devices. New Jersey, United States: Prentice Hall
- Serway, R., Jewett, J. (2009). Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Santa Fe, México: Cengage Learning
- Romero, Á., Rodríguez, O (2005). El concepto magnitud como fundamento del proceso de medición: La cuantificación de los estados de movimiento y sus cambios. Educación y Pedagogía (17), 127-140.
- Tirado, M. (1995). El juego y el Arte de Ser... humano. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia, Facultad de Educación.