



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

1 8 0 3

Facultad de Educación

**CÓMO CAMBIAMOS NUESTRA VISIÓN TRADICIONAL DE LA ENSEÑANZA
DE LA ÓPTICA**

**Una reflexión narrativa en torno al fenómeno de la refracción desde el vínculo teoría-
experimento**

MÓNICA MARÍA RUÍZ MOLINA

GIOVANNY ALBEIRO TORO MONTOYA

BRAULIO ANDRÉS GIRALDO VALENCIA

Universidad de Antioquia

Facultad de Educación

Medellín

2016



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
1803

Facultad de Educación

Biblioteca Digital CEDEO

CÓMO CAMBIAMOS NUESTRA VISIÓN TRADICIONAL DE LA ENSEÑANZA DE LA ÓPTICA

**Una reflexión narrativa en torno al fenómeno de la refracción desde el vínculo teoría-
experimento**

Mónica María Ruíz Molina

Giovanny Albeiro Toro Montoya

Braulio Andrés Giraldo Valencia

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

Asesora:

Olga Luz Dary Rodríguez Rodríguez

Medellín

Universidad de Antioquia

Facultad de Educación

Departamento de Enseñanza de las Ciencias y las Artes

2016

1 8 0 3



Universidad de Antioquia

Facultad de Educación

Trabajo de investigación de pregrado

Cómo cambiamos nuestra visión tradicional de la enseñanza de la óptica

Una reflexión narrativa en torno al fenómeno de la refracción desde el vínculo teoría-
experimento

Mónica María Ruíz Molina

Giovanny Albeiro Toro Montoya

Braulio Andrés Giraldo Valencia

Asesora:

Olga Luz Dary Rodríguez Rodríguez

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

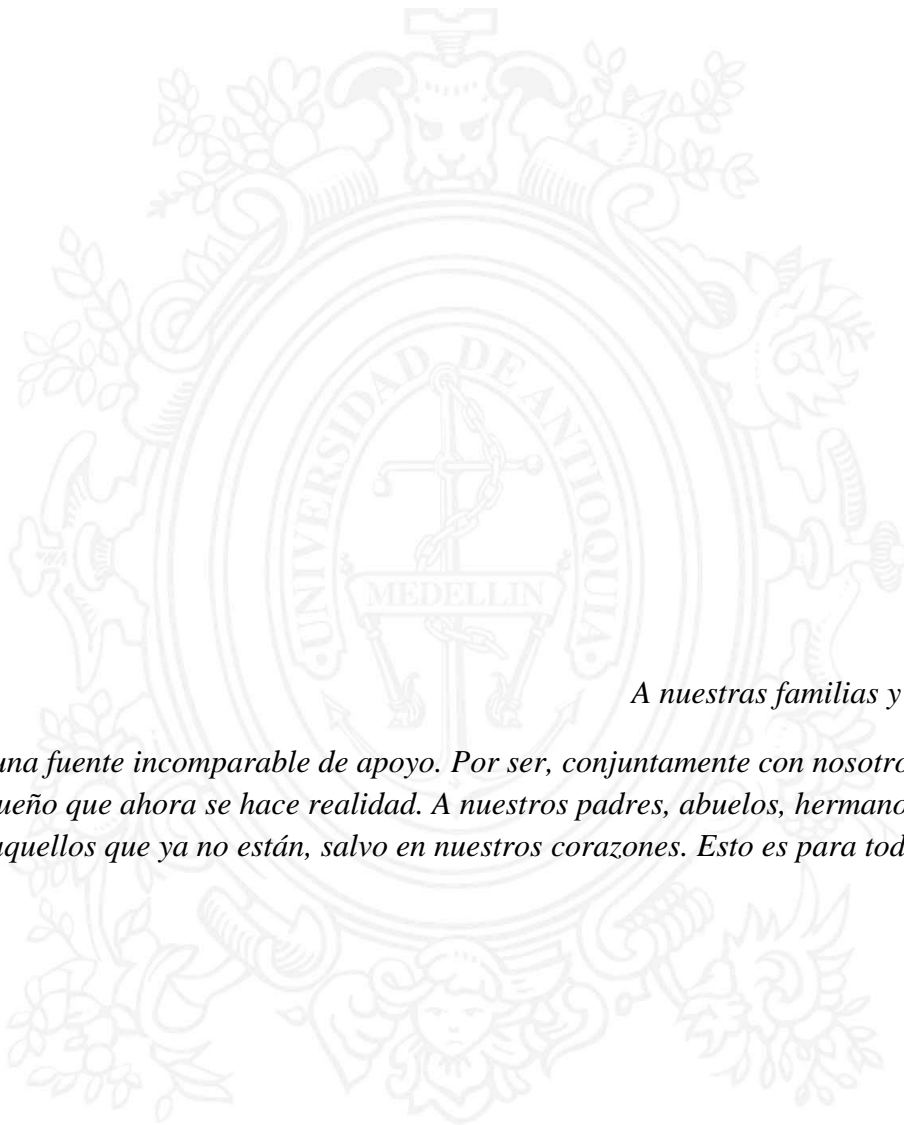
1 803 3
**Medellín
2016**



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
1803

Facultad de Educación

Biblioteca Digital CEDEO



A nuestras familias y allegados:

Por ser una fuente incomparable de apoyo. Por ser, conjuntamente con nosotros, artífices de este sueño que ahora se hace realidad. A nuestros padres, abuelos, hermanos e hijos, y para aquellos que ya no están, salvo en nuestros corazones. Esto es para todos ustedes.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la profesora Olga Luz Dary Rodríguez Rodríguez por acompañar nuestro proceso formativo en torno a la presente investigación, mostrándonos otra forma de concebir la enseñanza de las ciencias. Por todas las herramientas investigativas que nos brindó en función de la construcción de la presente narrativa y, en general, para nuestra formación tanto para la vida como para el ejercicio de nuestra práctica docente. Por la paciencia que nos tuvo y por la valiosa ayuda que nos brindó durante todo el proceso. Unas sinceras gracias.

Agradecemos a los docentes que hicieron parte de nuestra formación docente, a las enseñanzas y experiencias que nos compartieron en función del acto de enseñar. A todos aquellos profesores que aportaron su grano de arena a la construcción de nuestros conocimientos, de la visión que hemos forjado en torno a la enseñanza de las matemáticas y la física.

Al profesor Julián David Medina Tamayo por abrirnos las puertas a tan maravillosa experiencia, a la posibilidad de enfrentarnos por primera vez a un aula de clase, de asumir el rol de maestros. A él por brindarnos tan valiosos consejos, por compartimos sus experiencias y por orientarnos a través de nuestra práctica profesional; además, por mostrarnos otra forma de asumir la enseñanza de una física en la cual prima el experimento como eje articulador.

A la profesora Sandra María Quintero Correa por abrirnos la puerta a nuevas posibilidades, al evaluar nuestro proyecto de grado. A ella por brindarnos tan valiosas recomendaciones en función de fortalecer nuestra identidad investigativa.

A nuestros estudiantes de la práctica profesional en la Institución Educativa Francisco Miranda; a los grupos onces, décimos y novenos, de los cuales, fuimos responsables de su formación. A ellos por enseñarnos tantas cosas, por ilustrar en nuestras mentes una infinidad de mundos posibles, de singularidades que muchas veces desconocemos, de

realidades que muchas veces negamos. A ellos por transportarnos a nuestra etapa escolar, por permitirnos regresar en el tiempo y asumir, desde otros puntos de vista, nuestra labor. A todos ellos, gratitud infinita.

A la Institución Educativa Francisco Miranda. A los docentes, directivos y personal logístico, por la confianza que depositaron en nosotros al delegarnos la responsabilidad de orientar los procesos formativos de sus estudiantes. Por permitir que aprendiéramos sobre las dinámicas escolares que acontecen extra clase, de todas aquellas circunstancias que sólo se aprenden en la práctica. Gracias por toda la ayuda y colaboración que nos brindaron.

A las universidades, departamentos e instituciones educativas, por brindarnos la oportunidad de participar en eventos de tipo académico. Gracias por permitirnos compartir los resultados de nuestro proceso investigativo en cada una de sus etapas, de la construcción de nuestra narrativa. Además, a la Facultad de Educación por colaborarnos con los apoyos económicos que posibilitaron la participación en dichos eventos.

Gracias, finalmente, al ser que ha guiado cada uno de nuestros actos; a Dios por custodiar nuestro sueño, por permitirnos lograr lo que en algún momento parecía inalcanzable, por permitirnos obtener el título de licenciados en matemáticas y física. Gracias a él nos dimos la oportunidad de soñar, de creer en un futuro diferente, de ponernos metas y, con su ayuda, cumplirlas. Gracias padre por guiar nuestros actos.

¡GRACIAS TOTALES!

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

RESUMEN

Desde nuestra formación escolar encontramos cómo la enseñanza de la física fue restringida al uso del tablero y a la implementación operativa de ejercicios, sin ningún tipo de reflexión al respecto y con presencias ocasionales del experimento, tipo receta. Posteriormente, desde nuestra formación docente nos fue impartida una física que desvinculó el papel del experimento, al pedirnos repetir modelos ya establecidos y situaciones experimentales a modo de *recetas*, ubicándonos nuevamente en una visión tradicional de ciencia. Estos aspectos se representan mediante la siguiente pregunta: ¿Cómo cambiar nuestra visión de enseñanza tradicional sobre la enseñanza de la óptica, que prioriza en el carácter algorítmico de la física y separa la teoría del experimento?

La documentación narrativa nos permite ser protagonistas de nuestra práctica, al permitirnos narrar nuestras vivencias en el aula de clase. Con la investigación cambiamos nuestra visión de física al establecer un vínculo entre la teoría y el experimento, apoyados en el uso de las narrativas autobiográficas. En este trabajo presentamos una propuesta pedagógico-didáctica en física que prioriza la experimentación, situados en el análisis del fenómeno de la refracción de la luz desde las perspectivas geométrica y ondulatoria. El uso del experimento nos posibilita comprender fenómenos que no son evidentes por sí solos, a la vez generar espacios cercanos para el estudiante.

La implementación de la propuesta nos permitió cambiar nuestra visión tradicional de la enseñanza de la física, al permitirnos vincular el fenómeno de la refracción desde su abordaje experimental a la teoría propia de los libros de texto. Encontramos que la

articulación entre la teoría y el experimento en la enseñanza de la física aporta significativamente a la comprensión de los estudiantes.

Palabras claves: *Experimento, refracción, construcción conceptual, narrativas autobiográficas.*

ABSTRACT

From our school education we found how the teaching of physics was restricted to the use of the board and to the operational implementation of exercises, without any kind of reflection on it and with occasional presences of the experiment, recipe type. Subsequently, from our teacher training we were given a physics that dissociated the role of the experiment, asking us to repeat established models and experimental situations as recipes, placing us again in a traditional view of science. These aspects are represented by the following question: ¿How to change our view of traditional teaching on the teaching of optics, which prioritizes the algorithmic nature of physics and separates theory from experiment?

Narrative documentation allows us to be protagonists of our practice, allowing us to narrate our experiences in the classroom. Through research we change our view of physics by establishing a link between theory and experiment, supported by the use of autobiographical narratives. In this work we present a pedagogical-didactic proposal in physics that prioritizes the experimentation, located in the analysis of the phenomenon of refraction of light from the geometric and wave perspectives. The use of the experiment allows us to understand phenomena that are not self-evident, at the same time generating spaces close to the student.

The implementation of the proposal allowed us to change our traditional view of the teaching of physics, allowing us to link the phenomenon of refraction from its experimental approach to the theory of textbooks. We find that the articulation between theory and experiment in the teaching of physics contributes significantly to the understanding of students.

Keywords: *Experiment, refraction, conceptual construction, autobiographical narratives.*

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación construimos una narrativa argumentativa sobre nuestra práctica pedagógica, mediante diferentes reflexiones en las que reconocemos el uso del experimento al interior del aula, asumiéndolo como la observación precisa de un grupo de fenómenos, acompañado de su interpretación; lo cual nos permitió entrar en diálogo con los estudiantes.

El trabajo contiene cuatro capítulos: El primero abarca la problemática evidenciada desde nuestra etapa como estudiantes de educación media, hasta nuestro proceso de práctica pedagógica. El segundo incluye el marco teórico dividido en: Las teorías científicas que nos acercaron al concepto de refracción, el enfoque didáctico que asumimos en el aula y la metodología de investigación. En el tercer capítulo se encuentra la propuesta que diseñamos, ésta se argumenta en un enfoque experimental con el uso de elementos cotidianos. Finalmente, situamos las reflexiones de los estudiantes que nos permitieron dar pie al análisis

de la propuesta metodológica didáctica que aplicamos en el salón de clase, con el fin de fomentar la construcción del conocimiento científico.

El primer capítulo está justificado desde nuestras experiencias pedagógicas como docentes de física y en aquellas prácticas de nuestros maestros en la secundaria, en donde la enseñanza de la física era orientada mediante la reproducción del contenido de los libros texto, la implementación operativa de ejercicios y la ausencia del experimento. Las anteriores estrategias nos generan la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo cambiar nuestra visión de enseñanza tradicional sobre la enseñanza de la óptica, que prioriza en el carácter algorítmico de la física y separa la teoría del experimento?

El segundo capítulo aborda el componente conceptual que fundamenta la investigación; por tal motivo, basados en la historia y epistemología de la ciencia, consideramos las obras científicas que nos ayudan a interpretar la forma como los teóricos reflexionaron sobre el fenómeno de refracción de la luz, con el objetivo de conocer y analizar su proceder experimental, y a partir de ello, diseñar las estrategias que implementamos en el aula. Además, reúne el enfoque didáctico y metodológico narrativo que adoptamos en el momento de orientar las clases que diseñamos, en este sentido, destacamos autores como: Guidoni y Duhem quienes nos hablan respectivamente de una correspondencia entre experiencia, lenguaje y conocimiento, y de la necesidad de rescatar la experimentación y con ésta el rol del sujeto como intérprete.

La metodología utilizada es la narrativa, la cual nos hace protagonistas de la investigación; pues, ésta nos permite concientizarnos de nuestra práctica para asumirla como

objeto de pensamiento por medio de los relatos pedagógicos en los que repasamos las experiencias del aula y nos vimos como docentes en ejercicio.

El tercer capítulo pretende formarnos como maestros pensantes por medio de una propuesta que consta de cuatro actividades experimentales, en las que argumentamos el camino establecido para construir conocimientos en torno al fenómeno de la refracción de la luz, teniendo en cuenta nuestro saberes específicos sobre el tema desarrollado y las diferentes experiencias que vivimos a diario, la cuales pueden ser reflexionadas desde la física, pues ella, facilita la explicación de diferentes fenómenos naturales con los que interactuamos diariamente.

Finalmente, en el cuarto capítulo realizamos un análisis de las actividades diseñadas, revisando las interpretaciones escritas de los estudiantes. Allí encontramos diversos puntos de vista, que ponen en juego una mirada de la ciencia que se construye por medio de debates y conversaciones en los que maestros y estudiantes damos significados para llegar a un conceso sobre el concepto de refracción.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
TABLA DE CONTENIDO	12
TABLA DE FIGURAS	14
CAPÍTULO I: La enseñanza de la óptica en el contexto escolar actual	17
Nuestro papel como maestros en la enseñanza de la física	17
Primacía del carácter algorítmico	18
¿Cuál es el papel del experimento en la enseñanza de la óptica?	21
Objetivos	27
Objetivo general	27
Objetivos específicos.....	27
CAPÍTULO II: La refracción de la luz y la documentación narrativa: A modo de marco teórico	28
Relaciones entre la experiencia y el lenguaje en la construcción de conceptos desde una mirada fenomenológica	28
Experiencia y lenguaje en la construcción de conocimiento científico	28
El experimento en la enseñanza de la física.....	33
La construcción de conceptos físicos desde un punto de vista fenomenológico	38
El abordaje de la óptica desde diferentes teorías físicas: acercamiento al fenómeno de la refracción	44
Leonardo da Vinci y sus aportes al estudio de la óptica	44
La refracción desde los enfoques de Newton y Huygens.....	49
Einstein e Infeld y los frentes de onda en la refracción de la luz.....	61
Acerca de Tomas Young y algunos de sus aportes a la óptica.....	64
Metodología de nuestra investigación: la necesidad de ser protagonistas de nuestra práctica	71
Las narrativas como un mecanismo de investigación pedagógica.....	71

<i>CAPÍTULO III: Propuesta experimental para el estudio de la refracción desde las perspectivas geométrica y ondulatoria de la luz</i>	74
Construcción del concepto de refracción: Actividad experimental N°1	74
Justificación de la actividad experimental N°1	76
Refracción de la luz desde la perspectiva mecánica ondulatoria: Actividad experimental N°2	78
Justificación de la actividad experimental N°2	80
Funcionamiento del ojo humano: Actividad experimental N° 3	82
Justificación actividad N°3	85
La refracción desde el estudio de las lentes con materiales de fácil acceso. Actividad experimental N° 4	87
Justificación actividad experimental N°4.....	89
<i>CAPÍTULO IV: El papel del experimento en la enseñanza de la óptica: una reflexión pedagógica de nuestro quehacer docente</i>	92
Caracterización del lugar en que desarrollamos la propuesta: Actores decisivos en nuestro proceso investigativo narrativo	92
Nuestras participaciones en eventos académicos: una posibilidad de aprender y compartir saberes.....	95
Construcción del concepto de refracción: rol de la dimensión experimental	96
La refracción, desde las perspectiva mecánica ondulatoria, en relación a la perspectiva geométrica de la luz: Relación teoría experimento.	105
Análisis de la refracción de la luz en el contexto de la fenomenología de la visión.	112
La refracción desde el estudio de las lentes con materiales de fácil acceso	119
<i>CONCLUSIONES GENERALES</i>	126
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	129

TABLA DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Fenómenos Ondulatorios, tomado de Hipertexto Santillana física 2.....	19
<i>Figura 2:</i> Refracción de la luz. Hipertexto Santillana física 2.....	20
<i>Figura 3:</i> Laboratorio de física. Desviación de la luz, Física 2 McGraw-Hill.....	22
<i>Figura 4:</i> Laboratorio de física de la luz. Manual de Laboratorios de Ondas. Índice de refracción. Universidad de Antioquia.....	24
<i>Figura 5:</i> Longitudes de ondas de algunos colores. Laboratorio de óptica. Tabla de colores. Universidad de Antioquia.....	26
<i>Figura 6:</i> Triada experiencia, lenguaje y conocimiento. Arcá, Guidoni y Mazzoli.....	30
<i>Figura 7:</i> Refracción de la luz en aire-aceite-agua.....	32
<i>Figura 8:</i> Patrón de difracción por dos rendijas paralelas. http://www.heurema.com/PDF57.htm	34
<i>Figura 9:</i> Portada de <i>El Tratado de la Pintura</i> de Leonardo Da Vinci	44
<i>Figura 10:</i> Funcionamiento de una cámara oscura. Da Vinci.....	44
<i>Figura 11:</i> De cómo se invierten las imágenes en el ojo. Da Vinci.....	45
<i>Figura 12:</i> Líneas de visión en forma de pirámide. Da Vinci.....	47
<i>Figura 13:</i> Obra óptica Newton.....	50
<i>Figura 14:</i> Experimento refrangibilidad con un prisma. Newton	51
<i>Figura 15:</i> Experimento lente. Refrangibilidad con lente convergente. Newton.....	51
<i>Figura 16:</i> La refracción de la luz. Newton	52
<i>Figura 17:</i> Los rayos de luz a través de un prisma:.....	53
<i>Figura 18:</i> Observación a través una lente convergente. Líneas de visión. Newton	54
<i>Figura 19:</i> Formación de las imágenes en el ojo humano. Newton.....	55
<i>Figura 20:</i> Libro óptica Huygens	56
<i>Figura 21:</i> La refracción de la luz según Huygens	57
<i>Figura 22:</i> Refracción en una onda plana. Huygens	58
<i>Figura 23:</i> La refracción atmosférica. Huygens.....	60
<i>Figura 24:</i> Cambio de velocidades de los puntos de una onda plana. Einstein e Infeld	62
<i>Figura 25:</i> Avance de una onda al cambiar de medio. Einstein e Infeld	63
<i>Figura 26:</i> Texto óptica Thomas Young.....	65
<i>Figura 27:</i> Comportamiento de los rayos de acuerdo a la curvatura de las lentes. Young..	67
<i>Figura 28:</i> Comportamiento de los rayos de luz al pasar por el centro de una lente. Young	67
<i>Figura 29:</i> Ojo humano con sus diferentes elementos. Elaborado por Thomas Young.....	68
<i>Figura 30:</i> Ilustración de Young de cómo se da la formación de las imágenes en el ojo....	69
<i>Figura 31:</i> Interferencia de ondas	70

<i>Figura 32: Experimento de la moneda en un vaso transparente.</i>	
<i>http://cidta.usal.es/cursos/agua/modulos/Practicas/Electricidad7/moneda.html.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 33: Haz de luz con láser en un vaso con agua.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 34: Actividad experimental N° 1 (Construcción del concepto de refracción).....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 35: Actividad experimental N°2 (refracción de acuerdo a la perspectiva mecánica ondulatoria)- Primera parte.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 36: Actividad experimental N°2 (refracción de acuerdo a la perspectiva mecánica ondulatoria)- Segunda parte.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 37: Actividad experimental 3 (Funcionamiento del ojo humano). Primera parte....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 38: Actividad experimental 3 (Funcionamiento del ojo humano). Segunda parte... </i>	<i>84</i>
<i>Figura 39: Experimento de la simulación del ojo humano. Giovanni Toro.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 40: Actividad experimental 4 (La refracción en el estudio de las lentes con materiales de fácil acceso).....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 41: Protocolo ético que utilizamos para la implementación de nuestra propuesta... </i>	<i>93</i>
<i>Figura 42: Exploración del fenómeno de refracción con un pitillo en el agua. Kevin, 10-196</i>	
<i>Figura 43: Explicación relacionada con la estructura del cuerpo en el agua. Ingrid, 10-3..</i>	<i>98</i>
<i>Figura 44: Explicación que involucra la densidad y la velocidad. Camila, 10-3.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 45: Explicación que recurre a la desviación de los rayos. Hugo, 10-2.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 46: Exploración con el pitillo a un costado del recipiente. Andrés, Diego y Julián, 10-1.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 47: Relación de lo observado con el observador. Yesica, 10-3.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 48: Observación de la moneda y el vaso con agua. Daniela, 10-1.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 49: Explicación refracción y relación con la moneda. David, 10-3.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 50: fases de la construcción del experimento de la cubeta de ondas. Pablo, 10-2. </i>	<i>106</i>
<i>Figura 51: Esquema de la onda circular en el centro de la cubeta de ondas. Julián y Brando, 10-2.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 52: Descripción de la onda circular en un extremo de la cubeta de ondas. Diego, Andrés y Karol. 10-1.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 53: Montaje para una onda plana en la cubeta de ondas. Practicantes.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 54: Descripción hecha sobre una onda plana. Edward y Wanderley, 10-1.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 55: Esquemas de las ondas con obstáculos en la cubeta de ondas. Edward y Wanderley, 10-1.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 56: Influencia de un obstáculo en la propagación de las ondas. Andrés, Diego y karol, 10-1.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 57: Descripción de las generación de ondas planas en la cubeta de ondas. Julián y Brando, 10-2.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 58: Comportamiento de la cámara oscura. Sebastián 10-3.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 59: Comparación imagen Da Vinci (figura izquierda) y dibujo realizado por Yeider y Harold a, 10-3.....</i>	<i>114</i>

<i>Figura 60:</i> Semejanza de la cámara oscura con el funcionamiento del ojo humano. Kevin y David, 10-3.....	114
<i>Figura 62:</i> Ventana a través de una lupa. Mayo 13. Laura, 10-3.....	115
<i>Figura 61:</i> Lupa generando imagen en papel. Mayo 13. Wendy, 10-3.....	115
<i>Figura 63:</i> Medición distancia focal. Mayo 13. Sara, 10-3.....	116
<i>Figura 64:</i> Interpretación del comportamiento de la luz en una lente. Diego, Andrés y Fabio, 10-1.....	117
<i>Figura 65:</i> Sellado, relleno y manipulación de lentes artesanales. Edwar, 10-3.....	119
<i>Figura 66:</i> Definición de una lente. Yhoan, 10-1	120
<i>Figura 67:</i> Refracción de la luz en una botella con agua. Flecha invertida. Edwar, 10-3..	121
<i>Figura 68:</i> Construcción de microscopio casero. Observación de bacterias. Kevin, 10-3.	123
<i>Figura 69:</i> Ilustración de la inversión de una imagen vista a través de una lente convergente. Adriana y Valeria, 10-1.....	124

CAPÍTULO I: La enseñanza de la óptica en el contexto escolar actual

En primera instancia, consideramos pertinente mencionar el contexto desde el cual formulamos la presente problemática. Nos situamos en nuestra experiencia formativa, tanto como estudiantes de educación media, como en lo concerniente a nuestra formación inicial como docentes y a nuestro proceso de práctica. Dividimos la problemática en varios componentes, a partir de los cuales deseamos mostrar una mirada panorámica en torno al *papel del maestro* en la enseñanza en la física, haciendo alusión a todas aquellos factores que hicieron parte de nuestra formación escolar. Posteriormente nos situamos en *La Primacía del carácter algorítmico* en la enseñanza de la física al considerar diferentes análisis propios de libros de texto y de nuestra formación docente; dicho abordaje nos llevó a identificar las características esenciales que ubican al carácter algorítmico en nuestra narrativa. Finalmente nos situamos en el *papel del experimento*, para referirnos a la importancia que le atribuimos, en función de la enseñanza de la física.

Nuestro papel como maestros en la enseñanza de la física

Al viajar en el tiempo, al recordar aquellos escenarios que hicieron parte de nuestra infancia y adolescencia, nos trasladamos a los lugares en los cuales nos fue impartida la clase de física, el aula. Al hacerlo recordamos a los profesores que, de una u otra manera, hicieron parte de nuestra formación en aquella etapa de la vida. Sin embargo, la enseñanza de la física, en aquellos escenarios, se restringió al uso del tablero y a la reproducción de determinados postulados físicos, es decir que nuestros maestros eran agentes matemáticos en cuyo método de enseñanza evidenciamos una tendencia a restringir la enseñanza de la física al uso de las matemáticas.

Recordamos la primacía que se dio al componente algorítmico, en la medida en que nos fue impartida una enseñanza de la física caracterizada por la resolución de ejercicios, en la cual imperó la escasez de teoría. En esta etapa nuestros docentes nos evaluaron de acuerdo a lo que estipulan los libros de texto; nos mostraron una física ligada a aspectos memorísticos, es decir, que nos evaluaron de acuerdo a nuestra capacidad para memorizar procedimientos y definiciones. En este sentido, el aprendizaje de la física se identificó para nosotros con una carencia de sentido. Nos surge el siguiente interrogante: ¿Qué objetivos tiene la enseñanza de la física?

Primacía del carácter algorítmico

Como ya mencionamos, desde nuestra formación escolar observamos cómo la implementación operativa de ejercicios (ver figura 1)¹, en referencia al abordaje de la física desde la utilización de fórmulas, es una de las formas por la cuales un estudiante puede memorizar postulados físicos. Salazar, Gómez y Rúa (2013) afirman al respecto que “resolver una situación física se restringe a la solución de un algoritmo y a la obtención de un resultado numérico, el cual, en muchas ocasiones carece de significación física para el estudiante” (p. 10), con lo cual se refieren a la carencia de sentido que tiene el abordar la física desde el componente operativo.

Un ejemplo de lo anterior que ilustra la primacía que se da al carácter algorítmico de la física se ubica en la figura 1, en la cual presentamos un fragmento de un libro de texto de formación secundaria. Se propone un ejercicio sobre ondas, con el cual se supone, el

¹Imagen tomada de Romero, O., y Bautista, M. (2011), P.53

estudiante hará uso de lo aprendido en relación a la refracción de las ondas sísmicas, en función de la solución del ejercicio; el aprendizaje se restringe a la utilización de fórmulas y a procedimientos matemáticos (reemplazar, despejar y calcular).

* EJEMPLOS

1. Las ondas sísmicas se refractan dentro de la tierra al viajar entre rocas de distintas densidades y por lo tanto su velocidad cambia, al igual que su dirección de propagación. Una onda sísmica P viaja a 8 km/h y choca con el límite entre dos tipos de material. Si llega a esta frontera con ángulo de incidencia de 50° y se aleja con un ángulo de 31° , ¿cuál será la velocidad en el segundo medio?

Solución:

Para hallar la velocidad en el segundo medio recurrimos a la ley de Snell:

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\frac{\sin 50^\circ}{\sin 31^\circ} = \frac{8 \text{ km/h}}{v_2} \quad \text{Al reemplazar}$$

$$v_2 = \frac{8 \text{ km} \cdot \sin 31^\circ}{\sin 50^\circ} \quad \text{Al despejar } v_2$$

$$v_2 = 5,38 \text{ km/h} \quad \text{Al calcular}$$

La velocidad de la onda sísmica en el medio 2 es 5,38 km/h.

2. Una onda sísmica P pasa por una frontera entre rocas, donde su velocidad varía de 6 km/s a 7,5 km/s. Si llega a la frontera formando un ángulo de 45° con ella, ¿cuál es el ángulo de refracción?

Solución:

Como $\sin 45^\circ = 0,7$, al despejar el θ_r de la ley de Snell tenemos:

$$\sin \theta_r = \frac{v_2}{v_1} \cdot \sin \theta_i$$

$$\sin \theta_r = \frac{(7,5 \text{ km/s})}{(6 \text{ km/s})} (0,7) = 0,875 \quad \text{Al reemplazar}$$

Y por consiguiente $\theta_r = 61^\circ$

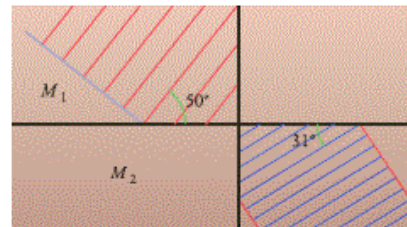


Figura 1: Fenómenos Ondulatorios, tomado de Hipertexto Santillana física 2

El ejercicio, que es propuesto a manera de ejemplo, presenta algunos valores numéricos y las respectivas fórmulas para resolverlo, lo cual limita su resolución al acto de reemplazar valores en una ecuación dada. Adicionalmente, notamos que el ejercicio finaliza con el cálculo del ángulo de refracción, sin hacer ningún tipo de comentario adicional. Lo anterior nos lleva a preguntarnos: ¿Cuál es el objetivo de abordar la enseñanza de la física a

partir de la utilización de fórmulas? Consideramos problemático asociar la física exclusivamente con aspectos meramente operacionales.

*** EJEMPLO**

Se tiene una lámina de vidrio con forma de prisma rectangular. Un rayo de luz incide en una de sus caras con un ángulo de incidencia de 30° , el rayo de luz se refracta, atraviesa la lámina y vuelve a refractarse saliendo de nuevo al aire. Encontrar:

- Los ángulos de refracción en las dos fronteras (aire-vidrio, vidrio-aire).
- La velocidad de la luz en el vidrio.
- La relación existente entre el ángulo de incidencia de la luz en la lámina y el ángulo con el que sale de la lámina.
- El esquema que describe la situación.

Solución:

- Como el índice de refracción del vidrio es 1,5 entonces, tenemos:

$$\frac{\sin i}{\sin r'} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{\sin 30^\circ}{\sin r'} = \frac{1,5}{1,0003} \quad \text{Al reemplazar}$$

$$\frac{\sin 30^\circ \cdot 1,0003}{1,5} = \sin r' \quad \text{Al despejar } \sin r'$$

$$r' = 19,48^\circ \quad \text{Al calcular}$$
 Si el rayo se refracta del vidrio al aire:

$$\frac{\sin 19,48^\circ}{\sin r''} = \frac{1,0003}{1,5} \quad \text{Al reemplazar}$$

$$r'' = 30^\circ \quad \text{Al calcular}$$
- El rayo al pasar de aire al vidrio se refracta con un ángulo de $19,48^\circ$ y al pasar de vidrio al aire con 30° .
- Para hallar la velocidad de la luz en el vidrio:

$$n = \frac{c}{v}$$

$$1,5 = \frac{3,00 \times 10^8 \text{ m/s}}{v} \quad \text{Al reemplazar}$$

$$v = \frac{3,00 \times 10^8 \text{ m/s}}{1,5} = 2,00 \times 10^8 \text{ m/s}$$
 La velocidad de la luz en el vidrio es 200 millones de m/s.
- El ángulo con el que incide la luz en la lámina es igual al ángulo con el que sale de la lámina: 30° .
- Al observar un objeto a través de una lámina de vidrio, la imagen se desplaza un poco con respecto a la observación hecha sin vidrio. A mayor espesor mayor desviación.

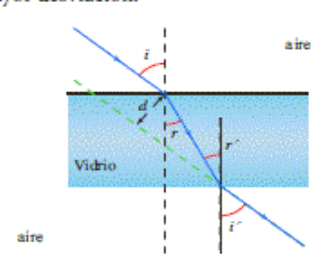


Figura 2: Refracción de la luz. Hipertexto Santillana física 2

Veamos otro ejemplo (figura 2)² que se ubica en el estudio de la luz, en el cual la solución de un problema físico parte de la utilización de fórmulas. Se presenta una situación en la que sobre una lámina de vidrio incide un rayo de luz con un ángulo dado de incidencia, se deben calcular los ángulos de refracción y la velocidad de la luz en determinados medios, a partir de unos datos dados; el ejercicio propone una imagen en la cual se ubican los

² Ibídem. P.120.

diferentes rayos e incógnitas que deben ser encontradas y las respectivas fórmulas que, al igual que en la figura 1, orientan la resolución del ejercicio.

Situados en nuestro rol de estudiantes, Linder (como se citó en Campanario y Moya, 1999) afirma que “muchos alumnos piensan que el conocimiento científico se articula en forma de ecuaciones y definiciones que tienen que ser memorizadas más que comprendidas” (p. 179), con lo cual se refieren a la concepción de enseñanza que caracterizaba nuestra etapa escolar, la forma de aprender física se restringía exclusivamente a la adecuada utilización de fórmulas, en correspondencia a lo ilustrado en las figuras 1 y 2, al proponer ejercicios desde la aplicación de fórmulas. Sin embargo, ¿es pertinente para nosotros, como docentes, condicionar el aprendizaje de la física al uso de formulismos? Y, aún más, ¿qué consecuencias nos trae el hecho de abordar la enseñanza de la física desde formulismos?

¿Cuál es el papel del experimento en la enseñanza de la óptica?

Para indagar en lo concerniente al experimento en la enseñanza de la óptica, al igual que en los apartados anteriores, acudimos a algunos casos (libros de texto), que nos remitió a la etapa de nuestra formación escolar. Encontramos cómo la enseñanza de la física se limitó al uso del tablero, al uso de un libro de texto que tenía la función de orientar la clase (figura 1 y 2). Los docentes priorizaban en la enseñanza de definiciones y, tal y como mencionamos anteriormente, a la utilización de fórmulas, en la mayoría de las clases el experimento estaba ausente. Ocasionalmente, cuando se proponían actividades experimentales se hacía a modo de receta (ver figura 3)³, en donde se daban orientaciones a seguir paso a paso, al pie de la

³Imagen tomada de Zitzewitz, P., y Neff, R. (1999). p.63.

letra, para llegar a ciertos resultados que serían los mismos para todos. La figura 3 expone una Guía de laboratorio en la cual observamos cómo la actividad experimental es orientada por indicaciones que se asemejan a la lectura de un manual de cocina.

LABORATORIO **FÍSICA** Desviación de la luz

DOLEBRIO MARIA AUXILIA
MEDELLIN - BIBLIOTECA

Objetivo
Observar cuando la luz se desvía y determinar el índice de refracción del agua (o de la glicerina).

Materiales

- papel milimetrado
- plumigráfico
- regla
- plato plástico semicircular
- agua (o glicerina)

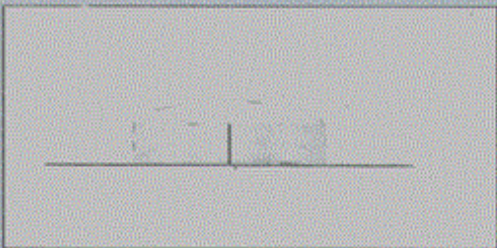
Procedimiento

Parte 1

1. Trace una línea sobre el papel milimetrado, de tal forma que lo divida en dos.
2. Con el plumigráfico, dibuje una línea vertical en el centro del borde recto del plato plástico. Tal línea será su objetivo.
3. Coloque el borde del plato a lo largo de la línea, de tal manera que el plato se encuentre sobre la otra parte del papel, y dibuje la prolongación del plato sobre el papel.
4. Marque la posición del objetivo en el papel.
5. Llene hasta unas 3/4 partes el plato con agua (o glicerina); conforme le indique su profesor.
6. Deje la regla en la parte inferior del papel. Ajuste la posición hasta que el borde de la regla parezca apuntar al objetivo cuando se mira a través del agua.
7. Haga que su compañero de laboratorio verifique que la posición de la regla sea exacta.
8. Dibuje la línea a lo largo del borde de la regla hasta el borde del plato.
9. Repita los pasos 5-7 para diferentes posiciones de la regla.

Parte 2

1. Borre la línea vertical del plato, y dibuje una línea vertical en el centro de la parte curvada del plato. Este es su nuevo objetivo.
2. Repita todos los pasos anteriores, excepto que



Observaciones y datos

1. Mire las líneas de visión que dibujó en la parte 1. ¿Se desvió la luz al pasar del agua al aire?
2. De la parte 2, ¿las líneas de visión apuntan directamente hacia el objetivo?

Análisis

1. Explique por qué no se desvían las líneas de visión en la parte 1.
Sugerencia: Dibuje la normal a la superficie.
2. Para la parte 2, dibuje una línea desde la posición del objeto hasta donde cada línea de visión tocaba el plato.
3. Dibuje una normal a cada punto donde la línea de visión alcanza el plato.
4. Mida los ángulos desde la normal para los ángulos en el aire y en el agua.
5. Calcule n , empleando la ley de Snell.
6. Escriba los valores de los ángulos, y las relaciones de sus senos en el tablero.

Aplicación

- ¿Podría una pieza plana de algún material

Figura 3: Laboratorio de física. Desviación de la luz, Física 2 McGraw-Hill

Consta de una guía que es titulada *Desviación de la luz*, la cual presenta una secuencia de actividades que van orientadas a determinar el índice de refracción del agua y de la glicerina, para lo cual vincula algunos materiales con los cuales, se supone, sería orientada

la práctica. Finalmente suscita unos interrogantes que se basan en el desarrollo de la actividad.

Al respecto Alis, Gil-Perez, Peña y Valdez (2006), afirman que “la mayoría de las prácticas de laboratorio (...) presentan los diseños experimentales como simples recetas ya preparadas y excluyen así la vivencia de las relaciones ciencia-tecnología y cualquier reflexión al respecto” (p. 162). Es decir, que el uso del experimento mediante el cumplimiento de indicaciones preestablecidas por una guía, deteriora cualquier tipo de vínculo entre lo aprendido y el contexto del aprendiz.

Romero y Aguilar (2013) plantean que esta forma de ver la experimentación proviene de la concepción clásica, en la cual prima la dimensión teórica sobre la experimental, en donde además se asumen los experimentos como aplicaciones o verificadores de la teoría. De manera que, el tema abordado se comprenda mediante una acción reacción, es decir que la actividad experimental se encuentra condicionada por el aspecto de llegar a resultados de los cuales el profesor ya tiene certeza.

Al considerar el experimento como verificación de la teoría, estamos fomentando la capacidad de repetir enunciados sin reflexión, de donde se llega a considerar la ciencia como un cúmulo de información o datos acerca de la naturaleza, lacerando el interés que se tenga en torno a su estudio. Por lo anterior, suscitamos el siguiente interrogante: ¿Qué ventajas trae a la enseñanza de la física concebir el experimento como un cumplimiento de ciertas instrucciones esbozadas en una guía?

El panorama no es distinto en los mismos programas de formación inicial de maestros, pues de acuerdo a nuestro proceso de formación, se concibe separadamente la teoría de la práctica, al involucrar espacios de laboratorio que se sitúan en la reproducción de un conjunto de pasos en un orden preestablecido (ver Figura 4)⁴.

Note que entre el rojo y el violeta no hay zonas oscuras; por esto se le llama un espectro continuo, y es emitido por el filamento sólido de tungsteno del bombillo.

Pregunta 1: Sin medir ángulos, ¿qué observa, $\Theta_{\text{violeta}} > \Theta_{\text{verde}} > \Theta_{\text{amarillo}}$?

Superponga la línea reticular sobre el amarillo y deje el telescopio en esta posición.

El Espectro de Líneas. Apague el bombillo y retirelo del espectrómetro. Retire también la placa de triplex, y ponga la lámpara de Hg al frente de la ranura. (Al prender la lámpara, el gas de Hg emite luz policromática). Si se escapa luz entre la ranura y la lámpara, utilice un papel o un pañuelo para evitarlo, pues la radiación ultravioleta de la lámpara, aunque no sea visible, es perjudicial para la vista. Mire por el ocular y cierre, con cuidado, al mínimo la ranura (no sobre apriete el tornillo 3).

Pregunta 2: ¿Por qué cerca de donde estaba el amarillo del filamento aparece el amarillo del gas de Hg?

Pregunta 3: ¿Por qué se observan dos líneas amarillas muy cercanas entre sí?

Pregunta 4: Sin medir ángulos, ¿qué observa, $\Theta_{\text{violeta}} > \Theta_{\text{verde}} > \Theta_{\text{amarillo}}$?

El espectro discontinuo de líneas que está observando es emitido por un gas de mercurio a baja presión, lo que hace despreciable la interacción entre los átomos. Deje el telescopio en la posición en que se encuentra.

Índice de refracción:
Mediremos el índice de refracción para dos colores diferentes emitidos por gas de Hg, con el método de desviación mínima, ecuación 1. Aunque la apreciación del espectrómetro es 1', ampliaremos el error en toda medida individual de un ángulo hasta 5', esperando que en estos 5' queden incluidos el error cometido al calibrar el cero, así como errores de apreciación al hacer coincidir una raya con la línea reticular.

Rotando ligeramente el telescopio (no desde *el ocular*, sino desde el cuerpo del telescopio o de su apoyo), haga coincidir la línea derecha del doblete amarillo con la línea reticular.

Luego, sin que la línea se salga del ocular y desde las placas de protección, rote en un sentido y en otro el prisma hasta que ubique la posición en que el amarillo empieza a devolverse respecto al sentido del movimiento que traía. Haga coincidir la línea reticular con esta posición y lea Θ ; esta es δ_{min} . (Puede consultar el Ejemplo, sobre cómo leer un ángulo a la izquierda del cero). Sin importar donde dejó el prisma, repita para hallar el δ_{min} de la raya violeta más intensa. Apague la lámpara de mercurio.

Para el prisma que está utilizando, $\alpha' = 60^\circ \pm 5' = 60^\circ \pm 5'/60 = 60.000^\circ \pm 0.083^\circ$ (también se

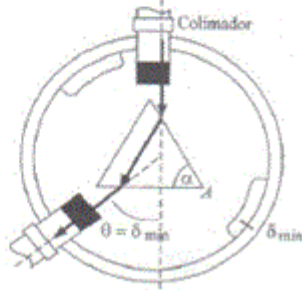


Figura 4: Laboratorio de física de la luz. Manual de Laboratorios de Ondas. Índice de refracción. Universidad de Antioquia

⁴Tomada de Alzate, H. (2013), p. 47.

En esta imagen presentamos una actividad propuesta en el curso de Física de la Luz de la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia, en la cual se propone la realización de un experimento a partir de determinadas indicaciones, como por ejemplo, apagar un bombillo, retirar el bombillo, observar a través de él espectroscopio, entre otras.

Al remitirnos al momento en que efectuamos esta *Práctica de Laboratorio*, recordamos aquellas circunstancias que, en su momento, fueron problemáticas para nosotros: la dificultad de comprensión del *Manual de Laboratorio de Ondas*, ya que en él se presenta un conjunto amplio de teoría (ver figura 4) e indicaciones a modo de receta que nos orientaron a resultados concretos, en este caso, desde la observación de un espectro de emisión continuo a la medición del índice de refracción de un prisma para dos colores. Además, el manual abordado está sujeto a cálculos matemáticos que nos piden medir valores que luego debían ser diligenciados en una tabla como la que presentamos en la figura 5⁵. En ella se nos pide diligenciar la tabla mediante la utilización de una ecuación, la cual, es consignada en la misma actividad.

Tal era la complejidad y cantidad de contenido de las denominadas *Guías*, que previo a las sesiones de laboratorio, es decir, a las clases experimentales del curso de Física de la Luz debíamos llevar un informe que sintetizara lo expuesto en las mismas. Este informe

⁵Ibidem. P. 49.

estaba caracterizado por responder los tópicos generales de la guía, al esquematizar la información que en ella se aborda.

Complete la siguiente tabla utilizando la ecuación 2

Color	Orden	θ	λ (nm)
Violeta	m = 1		
Verde			
Amarillo			
Violeta	m = 2		
Verde			
Amarillo			

Pregunta 5: Dentro de un mismo orden ¿qué observa, $\theta_{\text{violeta}} > \theta_{\text{verde}} > \theta_{\text{amarillo}}$?

Cálculos: Para cada color, promedie los valores obtenidos, y éste será el valor experimental.

Cálculos: Halle el porcentaje de error de los valores obtenidos y expréselo con un solo decimal. (Tome para el amarillo $\lambda = 578.0$ nm como el valor teórico).

Figura 5: Longitudes de ondas de algunos colores. Laboratorio de óptica. Tabla de colores. Universidad de Antioquia

Para nosotros la acepción del experimento como referencia a una guía de laboratorio fue en su momento acertada, ya que logramos los objetivos de la guía al responder experimentalmente a la construcción de algunos tópicos de la óptica, sin embargo, no encontramos la forma de vincular la teoría con la práctica, con nuestro contexto social. Podemos denominar a esta postura tradicionalista, en su momento la tuvimos en torno al experimento, y luego se trasladó a las diferentes áreas pertenecientes al núcleo de física de la licenciatura, esta forma de abordar la enseñanza de la física se restringió al uso de compendios de extensa teoría al momento de abordar las situaciones experimentales.

Todos los factores que exponemos en el presente capítulo, nos llevan a generar una pregunta que fue la base de nuestra investigación. Con ella pretendimos cambiar la visión

tradicional que teníamos en torno a la enseñanza de la física y, en particular, de la óptica, mediante el abordaje del experimento y su separación con la teoría:

¿Cómo cambiar nuestra visión de enseñanza tradicional en óptica, que prioriza el carácter algorítmico de la física y separa la teoría del experimento?

Objetivos

Objetivo general

Cambiar nuestra visión tradicional de la enseñanza de la óptica, que prioriza el carácter algorítmico de la física y separa la teoría del experimento.

Objetivos específicos

- Construir e implementar una propuesta pedagógica didáctica orientada al análisis del fenómeno de la refracción de la luz, que priorice el uso del experimento.
- Construir un saber pedagógico propio de nuestras experiencias de aula, el cual se vincule a la necesidad de narrar nuestras vivencias docentes y a considerarnos actores de nuestra práctica docente.
- Interpretar las perspectivas geométrica y ondulatoria de la luz, desde el fenómeno de la refracción, situados en las obras de los científicos que las plantearon.
- Analizar las interpretaciones de los estudiantes en función de nuestra retroalimentación narrativa para la enseñanza de la óptica, en aras de resaltar las virtudes del vínculo teoría- experimento.

CAPÍTULO II: La refracción de la luz y la documentación narrativa: A modo de marco teórico

Relaciones entre la experiencia y el lenguaje en la construcción de conceptos desde una mirada fenomenológica

Experiencia y lenguaje en la construcción de conocimiento científico

Todas las personas diariamente hacemos uso de la luz como recurso para llevar a cabo nuestras actividades diarias, es por ello que de una u otra forma interactuamos con los fenómenos lumínicos, entendidos como los efectos ocasionados por la propagación de la luz al encontrarse medios distintos, superficies y materiales. Dicha interacción posibilita la adquisición de nociones sobre el comportamiento de la luz o de sus características.

Schrödinger (1956/1990, p.94) afirma que

La percepción sensorial directa del fenómeno nada dice sobre su naturaleza física objetiva (o lo que así solemos llamar) y debe desconectarse desde el principio como fuente de información, pero la imagen teórica que eventualmente obtenemos consiste siempre en un conjunto de complicadas informaciones obtenidas, todas ellas, a través de percepción sensorial.

En torno a esto, consideramos que nuestras apreciaciones sobre el entorno nos brindan elementos para recurrir a ellos mentalmente. Aquellas representaciones que evocamos cuando hablamos de la luz, nos dan cuenta de lo anterior, porque a pesar de que muchas personas no conocen las explicaciones que a través de la historia se han expresado de su naturaleza y de sus efectos, al ser mencionado el vocablo “luz” inmediatamente la asocian con aquello que brinda claridad facilitando el ver. Esta relación entre la palabra y nuestras

percepciones marca la partida y ofrece una base o insumo para construir explicaciones en torno a sus fenómenos.

Cuando hablamos acerca de lo que vemos, buscamos por medio del lenguaje señalar específicamente lo que comprendemos de algo. Todas las personas no nos relacionamos igual con el entorno, por ello no vivimos las mismas situaciones y no hacemos las mismas asociaciones para configurar las nociones de cosas específicas. Por ejemplo, las nociones de resguardo, protección, hábitat o casa, no son las mismas para una persona que vive en una ciudad con numerosas montañas como Medellín⁶, que para otra quien viva sobre el nivel del mar.

Desde este punto de vista, acudimos a Arcá, Guidoni y Mazzoli (1990) quienes afirman que “hay experiencias, hay modos de hablar, hay cosas de las que se puede hablar, y hay conocimientos. El problema más complicado es, quizá, cómo entender conocimiento respecto de experiencia y lenguaje” (p.28). Interpretamos en este contexto la educación científica como una forma de desarrollo de modos de observar la realidad y de relacionarnos con ella, lo cual implica modos de hablar, modos de pensar, modos de hacer, y por tanto, modos de construir e interpretar la realidad.

El conocimiento se construye y se expresa mediante las distintas formas del lenguaje y puede ser comprendido, contextualizado y sustentado mediante la experiencia, pero es clave comprender, que la experiencia no sirve de forma plana y utilitaria al conocimiento, porque ella está atravesada por el lenguaje, que a su vez esta permeado por el conocimiento. Vemos

⁶Ciudad Colombiana, capital del Departamento de Antioquia.

entonces que allí hay una interrelación (ver figura 6)⁷; donde se retroalimentan los tres elementos que están en constante dinamismo en nuestra vida cotidiana.

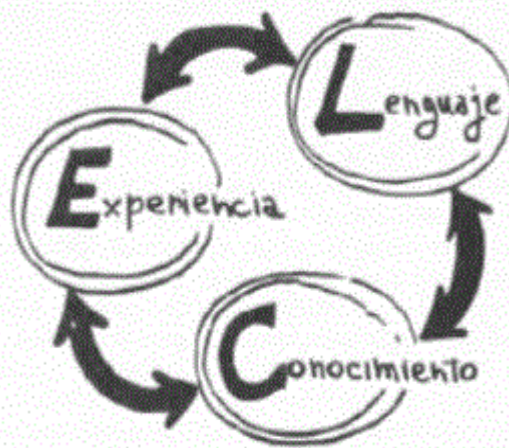


Figura 6: Triada experiencia, lenguaje y conocimiento.
Arcá, Guidoni y Mazzoli

El funcionamiento de una bombilla, de una lupa, de los anteojos, por ejemplo, hace parte del conjunto de experiencias vinculadas con el lenguaje que facilita la construcción del conocimiento. La experiencia promueve la formación de conceptos que dan pie a la formación de un conjunto de conocimientos que los autores mencionados denominan “conocimiento común”, ello no implica que el conocimiento científico resulte por fuera de ella.

Es necesario entonces hacer una transición al “conocimiento científico”. Para reflexionar al respecto nos referimos a la idea de los autores de colonización cognitiva como: “Un modo de conquista [cognitiva] progresiva y gradual, asociada a recorridos exploratorios de todo tipo, pero también a un retroceso continuo” (ibíd., p.21). Al hablar de “conquistas” necesariamente acudimos interpretativamente a la posesión o el dominio de algo. Por

⁷Tomado de Arcá (*et al*) 1990, p.26.

ejemplo, las conquistas de una colonia involucran la toma de un territorio, la conquista de América implicó la posesión de las Tierras y los campesinos negros como esclavos, etc. En este sentido, la identificación y cuestionamiento de las experiencias cotidianas relacionadas con un tema particular, guía el proceso de evolución hacia las concepciones y teorías científicas que se aspiran trabajar en los escenarios educativos. Verbigracia cuando se pretende conversar sobre óptica con fines educativos, se hace realmente útil identificar las situaciones experienciales conexas con el tema.

Es preciso decir que si del proceso de colonización cognitiva los responsables somos los mismos sujetos, no aludimos por ningún motivo a la omisión de nuestras vivencias para la reflexión, a una castración de la imaginación o a la desaprobación de nuestras concepciones, tachándolas como erróneas; sino que, nos referimos a una transformación de nociones hacia conceptos enmarcados dentro de una temática especial concerniente al conocimiento científico.

Para ilustrar lo anterior podemos pensar en la refracción de la luz en medios como el aceite y el agua líquida. Nuestra experiencia puede tentarnos a explicar que teniendo en cuenta que el aceite es menos denso que el agua líquida, la luz puede viajar más rápido en él. Sin embargo, al experimentar con un rayo de luz podemos observar (figura 7)⁸ que el agua refracta más la luz que el aceite.

⁸Imagen tomada de <http://adcpjrubio.blogspot.com.co/2012/04/experimento-de-la-semana-refraccion.html> el 12 de septiembre de 2016.

El conjunto de nuestras experiencias, nuestro conocimiento común, nos ofrece un análisis vinculado con la densidad, en torno a la velocidad de la luz al atravesar un medio; entonces, sin creer que estamos errados o que nuestro punto de vista es insuficiente, podemos vincular el análisis de la velocidad con una variable más llamada *índice de refracción* cuya relación será inversamente proporcional.



Figura 7: Refracción de la luz en aire-aceite-agua.

De esta manera, al hacer la transición al conocimiento científico no hemos ignorado el bagaje experiencial que tenemos, pues hemos hecho una conquista cognitiva que al estar permeada por la experiencia y por las reflexiones sobre lo que conocemos, no ha tildado de errados nuestros razonamientos.

Entendemos entonces que el conocimiento científico no es ajeno a las vivencias propias, es conveniente decir que se transforman las concepciones habituales que conforman el conocimiento común. En palabras de Gómez y Flórez (2013): “la experiencia de los estudiantes puede ampliarse a través de la experimentación de nuevos fenómenos relacionados y ello permite resignificar su conocimiento y dotarlo, por consiguiente, de nuevo lenguaje” (p. 108). Lo anterior, implica que aquellas situaciones vividas en relación con las que se proponen ahora, no son desechadas ni tachadas como erróneas, en cambio posibilitan un enganche a la ampliación y recontextualización de los conceptos. Así, “la experiencia de los estudiantes se presenta en forma integral y no diferenciada” (ibíd., p.108),

en el sentido que no discrimina las reflexiones porque las tiene en cuenta para realizar la transición mencionada al conocimiento científico, desde el conocimiento común, sin ser este último segregado.

El experimento en la enseñanza de la física

El experimento en las clases de física se propone desde la mirada que los maestros en ejercicio tienen de la relación de éste con el conocimiento científico. Si el maestro considera que el experimento es una forma de corroborar aquello formulado por un postulado o principio físico, se aplicará precisamente como herramienta para demostrar que aquello trabajado es cierto; si piensa que el experimento tiene una relación de constitución con las mismas teorías, se apoyará en él para intentar explicar los fenómenos físicos, en conjunto con sus estudiantes, en una relación bilateral.

Según Duhem (1914, 2003)

Un experimento físico es la observación precisa de un grupo de fenómenos acompañada de la interpretación de esos fenómenos. Esta interpretación sustituye los datos concretos obtenidos realmente de la observación por representaciones abstractas y simbólicas que les corresponden en virtud de las teorías admitidas por el observador (p.193).

En este sentido, un experimento no consiste simplemente en hacer observaciones a cabalidad y dar una fiel descripción de aquello material que se observa. Las descripciones no contribuyen de manera suficiente, porque como bien Duhem lo menciona, es necesaria una interpretación -que se da necesariamente en el contexto de las teorías físicas, en

construcción, del científico- que le otorgue un sentido a aquello que ve, que transforme aquellas descripciones desde lo concreto observable hasta un contenido científico.

Las interpretaciones –que se realizan en virtud del conocimiento científico- están estrechamente relacionadas con las representaciones simbólicas, con los conceptos físicos mismos. Esto puede entenderse si consideramos, por ejemplo, el experimento de la doble rendija; allí, quien lo ejecuta puede observar concretamente que un rayo de luz al incidir entre dos rendijas paralelas ocasiona una serie de líneas (ver figura 8)⁹. La descripción de lo concreto observado puede reducirse a decir el número de líneas que contiene, el tamaño de ellas y su separación, la sobresaliente línea más gruesa que está en el medio de las demás, la opacidad de las líneas de los extremos, etc.

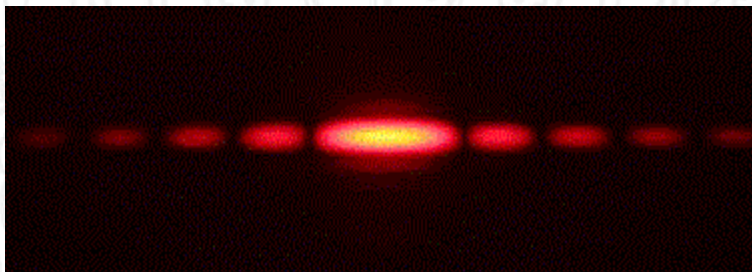


Figura 8: Patrón de difracción por dos rendijas paralelas. <http://www.heurema.com/PDF57.htm>

Sin embargo, las interpretaciones que se dan desde el conocimiento científico en este experimento están indiscutiblemente relacionadas con las representaciones vinculadas con el fenómeno de difracción: hay un máximo central, en términos de una simetría entre las zonas luminosas constituyentes de los máximos secundarios, se explicará también las formas de interferencia (constructiva y destructiva), etc.

⁹Tomada de <http://www.heurema.com/PDF57.htm> el 21 de septiembre de 2016

A saber, estas interpretaciones no se restringen al mero lenguaje de descripción –o *lenguaje técnico*¹⁰–, ya que ofrecen una mirada desde los conceptos físicos en el contexto del experimento, proporcionándole coherencia y un sentido físico para aquel que lo interpreta y lo discute.

Granés, Caicedo y Morales (1999) sostienen que “[...] la representación posibilita el diseño previo de la acción. En la física, el experimento es ante todo diseño previo, desde lo representado...” (p.18). En este sentido, si pensamos los espacios de clase como forjadores experimentales del saber, convenimos que allí los experimentos propuestos no podrán ser meras exposiciones de lo elaborado; tendrán que dar cuenta de aquellas representaciones que se tienen, de los conceptos y a su vez de las teorías físicas implicadas en el desarrollo de las actividades; y asimismo, brindar respuestas coherentes a las preguntas generadas tanto por los estudiantes como por el docente, que se hallen relacionadas con los procesos ejecutados y los resultados obtenidos en el contexto de las nociones físicas abordadas. En este sentido, consideramos que siempre que el maestro propone una actividad experimental, tiene una intención que va mucho más allá de observar.

En este punto, teniendo en cuenta que representar, en el contexto de Granés et al (1999) se entiende como “crear de nuevo lo ente, en el ámbito del concepto, en pos de transformarlo en una realidad analizable, predecible en sus cambios y sus transformaciones, disponible, en fin, para la razón y la acción humana” (ibíd., p.16); hacer representaciones promueve las habilidades necesarias para relacionar en el sentido más completo e idóneo posible, lo que se observa del mundo exterior con las explicaciones que construimos de ello.

¹⁰ En el contexto de Duhem es referirse a acciones u objetos concretos con palabras determinadas asociadas a un contexto específico.

En palabras de Shapin y Schaffer (1985): “Con la adquisición de las habilidades apropiadas para ejecutar las representaciones, el carácter artificial de hacer representaciones desaparece, y adquieren la cualidad de ser espejos de la realidad” (p.48), lo que quiere decir, que sólo se perfecciona la capacidad de reconstruir aquello con lo que se interactúa, en la medida en que más se profundice. Consideramos que esta explicación no toma sentido únicamente en un ambiente científico sino también en el contexto escolar.

En busca entonces de intervenciones verbales en el aula de clase donde se evidencien las representaciones simbólicas con contenido científico, tanto los maestros como los mismos estudiantes, pueden confundir una respuesta acertada con oraciones expuestas con un lenguaje técnico. Duhem (1914-2003) refiere que estas últimas expresan operaciones determinadas realizadas sobre objetos concretos que definen acciones inmediatas o unicidad en las interpretaciones, mientras que una frase en un lenguaje físico puede traducirse en hechos de infinitas maneras diferentes brindando una amplia gama de interpretaciones.

Finalmente, es ineludible indicar que los procesos de medición en la realización de los experimentos son altamente significativos y cotidianos. La actividad de medir involucra necesariamente el comparar, sea intuitiva y empíricamente o respecto de una unidad de medida. Entonces, aunque el medir pertenezca a los hábitos de las personas, en las dinámicas de un experimento no resulta ser un acto trivial. Campbell (1956, 1986) define el acto de medir en términos de la representación de propiedades por medio de números, pero advierte que no todas las propiedades pueden ser expresadas de la misma manera. Por lo tanto, plantea una medición en donde la cantidad de aquello que se está midiendo permite atribuirle números, y otra en donde no influye la cantidad, sino que se realiza mediante el

establecimiento de una escala. Por ejemplo, el volumen de agua en un recipiente aumenta conforme más agua se tenga, pero la densidad del agua no aumenta si tenemos más agua.

Por lo anterior, los procesos de medición no son los mismos para todas las propiedades. Sin embargo, en muchas ocasiones, no es obvio reconocer las propiedades en un experimento; así como también es un desafío para los docentes, idearnos las estrategias idóneas para diferenciar nosotros mismos y enseñar a diferenciar a nuestros estudiantes entre las propiedades en cuestión trabajadas.

Sabemos que cuando el físico realiza un experimento tiene dos imágenes distintas del instrumento con el que opera: “una es la imagen del instrumento concreto que manipula en realidad; la otra es un modelo esquemático del mismo instrumento, construido por medio de símbolos proporcionados por las teorías” (Duhem, 1914/2013, p.204).

Como lo habíamos mencionado, la interpretación de lo que observamos en la elaboración de un instrumento está insolublemente relacionada con las representaciones simbólicas que tengamos. Por ejemplo, la construcción del concepto de *propagación* se vincula con la marcha de algo hacia todos los lugares; cuando se propaga un virus, entendemos que puede transmitirse desde una persona a cualquier otra indistintamente del lugar; así, cuando hablamos de la propagación de una onda anclamos este significado a esa indiferenciación de lugares donde puede llegar y asumimos que dicha onda parte de un punto.

El experimento permite relacionarse con la física de forma íntima, por lo tanto no lo asumimos como una corroboración de las teorías físicas, sino que lo analizamos en términos de una interacción con ellas. Campbell (1956, 1986) afirma: “Pero éstas son leyes experimentales; sería imposible conocerlas a falta de experimentos y observación adecuada del mundo externo; no son, pues, evidentes por sí mismas” (p.192) refiriéndose a las leyes

de la medición, en la medida que deben ser exploradas por medio del experimento, porque fue de esta manera que a lo largo de la historia pudieron establecerse formas para medir propiedades, así como la creación de los instrumentos facilitadores de este proceso.

En este sentido y a manera de conclusión, creemos que la preeminencia de medir asume la posibilidad de experimentar en física, de afinar las habilidades para la representación, de dominar los instrumentos y apropiarse de ellos para reconocerlas propiedades físicas, etc.

La construcción de conceptos físicos desde un punto de vista fenomenológico

La construcción de conceptos comprende desde la representación mental de un objeto hasta la asociación que hacemos de éste con el resto de objetos. Dicha construcción no se da instantáneamente, implica un recorrido de actividades de interacción con los objetos y el entorno. Esto puede ser evidenciado por ejemplo abordando la palabra *celular*. Si se da el caso que nunca hayamos visto un celular y nos lo presenten físicamente pero no podamos conocer para qué sirve, al escuchar que alguien menciona dicha palabra tendremos seguramente la representación mental de lo que es un celular; sin embargo, no tendremos la idea de asociar dicha representación con ninguna utilidad. Si se da el caso que alguien nos mencione la palabra *celular* y nos cuente para qué sirve sin presentarlo físicamente, podríamos en otro momento comprender en el contexto de una frase, que alguien utilizó el celular pero no podríamos hacer una representación de la acción. Ahora, si alguien nos presenta el celular y nos dice también para qué sirve, seguramente en otra situación donde debamos utilizarlo podríamos tener la representación mental de su apariencia y conocer para

qué se utiliza, pero no habríamos construido el concepto porque el desconocimiento de cómo se usa se adquiere en la medida que se interactúa con dicho objeto.

Según Mach (1948) “las cosas (cuerpos) son para nosotros complejos relativamente estables de sensaciones unidas entre sí, dependiendo unas de otras” (p.115), esto implica que en la medida que hayan percepciones sensoriales asociadas a algo particular, pueden generarse interacciones que pueden ser significativas o no dependiendo de qué tan relacionadas estén con otras sensaciones. Por ejemplo, cuando alguien está familiarizado con el sabor de un plato caribeño que es de su preferencia y prueba un plato desconocido, puede comparar en términos de sensaciones, aquel nuevo sabor y determinar si le gusta o no.

La percepción, como parte inaugural de los procesos de conceptualización, da paso a la reacción como respuesta propia hacia aquello con lo que interactuamos. Asegura Mach que “[...] la débil variación de reacción que corresponde a variaciones grandes y distintas en el medio físico hace posible una primera clasificación grosera de los fenómenos que nos rodean” (ibíd., p.120). Es en este sentido que comenzamos a construir conceptos; haciendo intentos por explicar lo que se produce en nuestras interacciones, teniendo en cuenta que no todo lo abarcamos en dicha construcción porque los intereses propios también se ven reflejados en esas interacciones.

Los intereses que asumimos nos guían entonces hacia la clasificación que hacemos por medio de las reacciones, y teniendo en cuenta que “el concepto es el conocimiento de las reacciones que se debe aguardar de la clase designada de objetos (hechos), conocimiento asociado a la palabra o al término” (ibíd., p.116), podemos situarnos en el terreno propio de la conceptualización, asumiéndola como el proceso mismo y no el fin.

La pregunta ahora es entonces ¿Las percepciones y reacciones bastan entonces para configurar conceptos? La respuesta es directa, ¡no son suficientes! Es necesario entonces construir una configuración de aquellas reacciones que permitan hacer referencia a los conceptos, hacerlas conscientes y relacionarlas con todo aquello que conocemos del mundo. Es preciso hacer representaciones que vayan de lo concreto a lo simbólico; de esta manera entonces las miradas con las que observamos, las posturas que asumimos de acuerdo a nuestros intereses y los fenómenos que trabajamos, todo para adquirir una concepción del mundo.

Dice Mach (1948) que “cuando clasificamos un hecho con un concepto, lo simplificamos, despreciando todos los caracteres que no son esenciales al fin que perseguimos” (p.119), así nos situamos en lo que necesitamos de acuerdo a la representaciones que tenemos del hecho mismo.

Las representaciones permiten discriminar entre lo que es útil para lo que necesitamos en un momento dado, de lo que no lo es; de acuerdo con Mach, “estas representaciones se enriquecen con las asociaciones que hacemos, se desarrollan progresivamente para llegar a ser el concepto mismo” (ibíd., p.111) y se referencian desde el lenguaje en conjugación con la experiencia, que como lo hemos mencionado, es el pilar fundamental para la construcción de conceptos.

La física, particularmente la óptica, se estudia desde sus efectos. Gómez y Flórez (2013) afirman que “para construir las representaciones conforme a lo experimentado por las personas en su historia, su cultura, su conciencia y desde sus intenciones de comprender el mundo, se procede desde un análisis fenomenológico” (p.110), dicho análisis se elabora siempre y cuando se reflexione sobre lo trabajado y se relacione con otras experiencias que

hayan aportado elaboraciones conceptuales respecto de la cultura, la historia o lo relativo a sus intereses. Por ejemplo, para una persona construir una representación de lo concerniente a la danza típica de una región, es necesario que viva situaciones en las que deba observar cómo bailan, escuchar la música y bailar él mismo; esto constituye la parte inicial o de percepción. Luego, de acuerdo a si le gusta o no esa danza, asume cierta reacción. Supongamos que al sujeto le agrada dicho baile, decide ingresar en un grupo donde recibe clases, adquiere la destreza en los movimientos y finalmente hace parte de un grupo destacado de dicho baile. Este individuo evalúa la danza de acuerdo a los efectos de incursionarse en ella; en este punto ha construido una representación concisa porque en sus clases ha conocido la historia de la misma, ha visto en escena las relaciones culturales de ella y sobretodo ha experimentado.

Ser conscientes de los procesos de construcción de conceptos es fundamental en la educación. Marca la pauta para pensarnos como maestros en la planeación de interacciones educativas en donde prime el carácter experimental en relación con lo cultural.

Los autores explican también que “[...] las ciencias deben hacer afirmaciones basadas en las representaciones organizadas sobre la misma experiencia, la cual es la manera de acceder a los fenómenos, tal como se muestran, sin necesidad de llegar a presentar especulaciones sobre aspectos no visibles del fenómeno” (Ibíd., p.116). En este punto, nos referimos nuevamente a la trascendencia del lenguaje como medio de comunicar aquellas representaciones que se tienen de los objetos y fenómenos.

En el contexto de Mach (1948) “cada palabra sirve para designar una sola clase de objetos (cosas o fenómenos) que presentan una acción determinada” (p.112); sin embargo, una palabra en particular no determina una sola reacción. Son las reacciones asociadas a la

palabra las que determinan la clase que el autor señala, allí toman sentido las representaciones que de los objetos tengamos.

Mach afirma que “la naturaleza del concepto se muestra con mayor nitidez solamente a quien comienza a dominar una ciencia” (ibíd., p.114), entonces a medida que nos especializamos en una ciencia, las representaciones son más puntuales y configuran los conceptos de forma más precisa.

Entre mayor bagaje tengamos en el estudio de algo, mejor discerniremos al escuchar una frase relativa a aquello que conocemos, por ello “si una frase viene a despertar la duda o la contradicción, en seguida sacamos del fondo de nuestros recuerdos la ciencia potencial adherida a las palabra” (ibíd., p.115). Las representaciones más claras que tenemos nos ayudan a pensar profundamente en lo que hacemos, en lo que vemos, en la ciencia y en todo lo que alberga la cultura.

Wittgenstein (citado en Shappin y Shaffer, 1985) afirma que “la expresión de juego del lenguaje debe poner de relieve aquí que hablar el lenguaje forma parte de una actividad o una forma de vida” (p.44), refiriéndose a que el discurso que usualmente desarrollamos los constituimos en la vida diaria, en las conversaciones con otros, en la interpretación de aquello que hacemos a diario. Dado que lo que vivimos es tan heterogéneo, no puede ser lineal y establecido, por lo cual las representaciones no surgen sin dificultades, acerca de ello Mach (1948) enuncia que “[...] el pensamiento no entra por sí mismo en sendas tan rectas y tan lógicas” (p.121) ya que obedece a los intereses propios de las personas.

Consideramos que la ciencia, al ser un intercambio permanente de expresiones y propuestas, no es ajena a esta formación de ideas propias. Al respecto Granés et al (1999) aportan que “la ciencia, entendida como juego de lenguaje, involucra al objeto en el juego

mismo. El objeto es ahora una entidad maleable que se construye y que adquiere un significado particular y circunscrito dentro del contexto de las interacciones” (p.24), esto quiere decir que, dependiendo de la cultura en la cual estemos inmersos, podremos desarrollar habilidades discursivas relacionadas con nuestras representaciones.

En la enseñanza de la física, es necesario suscitar debates que promuevan el intercambio de ideas, de nociones y puntos de vista; ello facilita la construcción de conceptos y del discurso mismo. Mach manifiesta que “montones de hechos diferentes, dificultades de todas clases, consideraciones que se entrecrocán y se contradicen, son necesarias, que se nos permita la palabra, para extorsionar la abstracción” (ibíd., p.121), que es la última fase continua de los procesos de construcción de conocimientos. En ella, es menester que se fundamenten los juegos del lenguaje, que se sienten posiciones frente a los hechos abordados y que se sirvan de las dificultades para consolidar los conceptos.

Por medio de las abstracciones, los grandes científicos han podido establecer las leyes y los principios, por medio de las abstracciones construimos interpretaciones de los fenómenos y construimos también los conceptos en sí mismos.

El pensamiento se ocupa de las representaciones de los objetos, de las representaciones intelectuales construidas a partir de los hechos y los objetos; por lo tanto, trabajar en ellas desde lo que observamos, desde las fenomenologías es el pilar para una educación en ciencias que sea consciente y crítica.

El abordaje de la óptica desde diferentes teorías físicas: acercamiento al fenómeno de la refracción

Leonardo da Vinci y sus aportes al estudio de la óptica

Al realizar una búsqueda de autores que centrasen su mirada en los fenómenos ópticos, nos situamos en los aportes del multifacético artista renacentista Leonardo Da Vinci (1452-1519)¹¹ al campo de la óptica. Para ello nos remitimos a uno de sus textos cumbres *El tratado de la Pintura* (1651, 1998)¹² en el cual compiló gran parte de sus hallazgos artísticos en función de otras áreas de conocimiento, entre ellas la física.

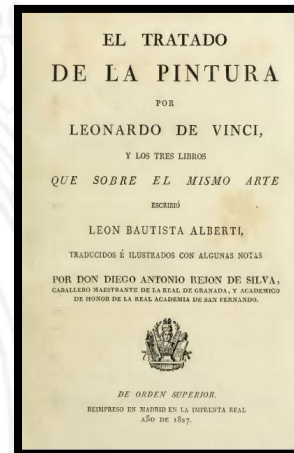


Figura 9: Portada de *El Tratado de la Pintura* de Leonardo Da Vinci

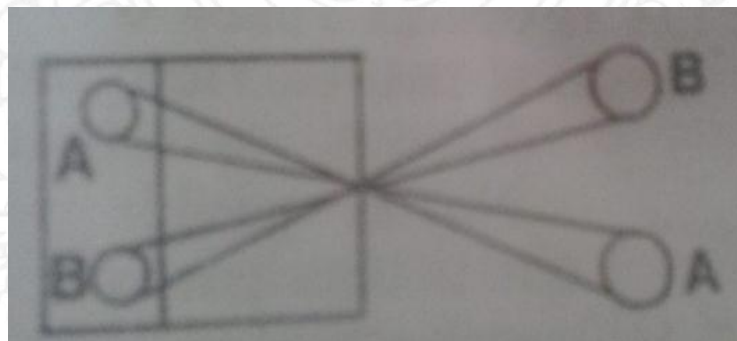


Figura 10: Funcionamiento de una cámara oscura. Da Vinci

En su obra desarrolla minuciosos análisis en torno a la identificación de técnicas apropiadas para la pintura, adentrándose en aspectos que competen a la anatomía, por

¹¹Leonardo Da Vinci casi en el último tercio de su vida escribió el presente Tratado de la Pintura, que, igual que otras obras suyas, quedó en manuscrito. Nació el 15 de abril de 1452 en la localidad italiana de Vinci, y falleció el 2 de mayo de 1519 en Amboise, ciudad francesa. Fue un afamado personaje renacentista que tenía destrezas en múltiples áreas, entre ellas, la anatomía, la pintura y la ciencia.

¹²Tomada de Da Vinci (1651, 1998), p. 1.

ejemplo, el funcionamiento del ojo humano. Aunque no fue el primero en hacerlo, asemejó dicho comportamiento al de una cámara oscura. Cuando hablamos de cámara oscura nos referimos a un lugar cerrado, en consecuencia oscuro, en una de cuyas caras es realizado un pequeño orificio ubicado en el centro; a través de él ingresan los rayos de luz que generan una imagen invertida en la cara opuesta a la que tiene el orificio (ver figura 10)¹³.

Da Vinci plantea que “ninguna imagen, por pequeño que sea su cuerpo, penetra en el ojo sin invertirse; pero al penetrar en la esfera cristalina se invierte de nuevo, y así la imagen aparece del derecho en el interior del ojo, como derecho estaba el objeto fuera del ojo” (Da Vinci, 1651, 1998, p. 134). Con ello hace referencia a la formación de las imágenes en el ojo humano, a la semejanza que establece entre el ojo y la formación de imágenes en una cámara oscura (ver imagen 11)¹⁴

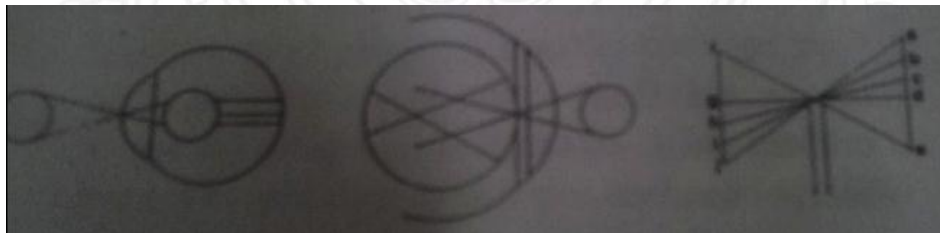


Figura 11: De cómo se invierten las imágenes en el ojo. Da Vinci

Además, al respecto propone

Un experimento que muestra como los objetos transmiten imágenes o simulacros que se intersectan dentro del ojo en el humor cristalino. Esto queda demostrado cuando por un pequeño orificio circular penetran en una habitación muy oscura imágenes de objetos muy iluminados. Si tu recibes esas imágenes en un papel blanco situado

¹³ *Ibíd.* P. 136.

¹⁴ *Ibíd.* P. 134.

dentro de la tal habitación y muy cerca de tal orificio, veras en el papel esos objetos con sus cabales formas y colores, aunque, por culpa de la intersección, a menor tamaño y boca abajo (Ibid., 130).

Lo anterior permite evidenciar su proceder investigativo, en la medida en que acude a situaciones que conllevan al desarrollo de los experimentos y, por ende, respectivos análisis en torno a la visión. Esto se evidencia en otro fragmento suyo, en el cual plantea que si una habitación tiene delante la fachada de un edificio o plaza, y que si en algún lugar de ella que el sol no ve se realiza un pequeño orificio, se proyectaran a través del él en el interior de la habitación todas sus imágenes en la pared opuesta, lo cual corresponde a la definición de la cámara oscura.

Da Vinci (1651, 1998) además de hablar de la cámara oscura, establece relaciones entre las distancias de los objetos y el ojo, lo que conocemos usualmente como distancia focal de las lentes: “describe tu anatomía la proporción que entre sí guardan los diámetros de todas las esferas del ojo y su distancia de la esfera cristalina” (p. 100), con lo cual se refiere a las respectivas distancias que determinan la formación de las imágenes en el ojo. Además “como regla general, la naturaleza nos enseña que un objeto nunca será perfectamente visto si el intervalo entre el ojo y ese objeto no es, al menos, parejo al tamaño del rostro” (Ibid., p. 101). Es decir, que el ojo humano tiene cierta distancia a la cual se visualizan con perfección los objetos, refiriéndose así a la distancia focal, responde con ello, además, a la cuestión de las enfermedades de la visión. Adicionalmente, en otro aparte plantea que “si tu observas el sol u otro cuerpo luminoso y a continuación cierras los ojos, de nuevo lo veras en el interior del ojo durante un largo periodo de tiempo. Esto prueba que las imágenes entran dentro del ojo”

(p. 118). Con lo cual argumenta que la formación de las imágenes se da al interior del ojo, el cual es atravesado por los rayos de luz de los objetos para lograr la formación de la imagen.

Da Vinci, además, habla de la luz en relación a los rayos (visión geométrica¹⁵), atribuyéndole características piramidales, “pues si tu trazas líneas desde los límites de cada cuerpo y, como un haz, las haces concurrir en un solo punto, las tales líneas formaran necesariamente una pirámide” (Ibid., p. 114). Así, las líneas de visión (ver figura 12)¹⁶ limitan el tamaño de la imagen en una forma geométrica, que según el autor corresponde a una pirámide.

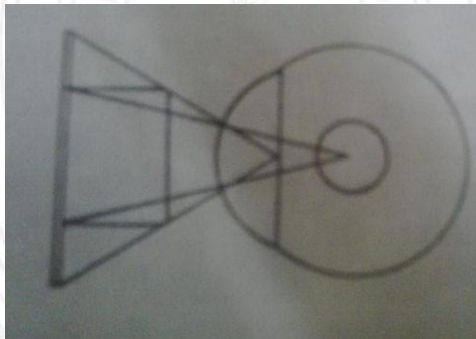


Figura 12: Líneas de visión en forma de pirámide. Da Vinci

Adicionalmente, añade que “la perspectiva no es sino una demostración racional que se aplica a considerar cómo los objetos antepuestos al ojo transmiten a éste su propia imagen por medio de pirámides lineales” (Ibid., p. 114), lo cual complementa la idea de considerar a la visión como la composición de líneas que, entre sí, forman pirámides, tal y como se presenta en la figura 12.

¹⁵Con visión geométrica nos referimos a las líneas que forman las líneas de visión al recaer sobre un objeto, las cuales, en conjunto, forman pirámides desde el ojo hacia el objeto. Esta observación es adoptada de Da Vinci y se ilustra en la figura 12

¹⁶Tomada de Da Vinci (1651, 1998), p. 136.

Además, él habla del fenómeno de la refracción al plantear que:

Si el juicio del ojo radica en su interior, las líneas rectas de las imágenes se quebrarán sobre su superficie, pues pasan de un medio raro a un medio denso. Si tu estas bajo el agua y miras las cosas que se disponen en el aire, las veras fuera de su lugar. Esto mismo ocurrirá si desde el aire ves las cosas que están bajo el agua (Ibid., p. 131).

Con lo anterior Da Vinci se refiere al fenómeno de la refracción analizado desde el paso de un rayo de luz entre dos medios con distintas densidades. Además, a partir del mismo fenómeno plantea que:

Los colores del arcoíris no nacen del sol, puesto que muy a menudo se generan sin el sol. Así ocurre cuando acercas el ojo a un vaso de agua, en cuyo cristal aparecen esas diminutas burbujas que suele haber en los vidrios groseros. Estas burbujas, aunque el sol no vean, engendran en cada uno de sus lados los colores del arcoíris; eso podrás ver si pones ese vaso entre el aire y el ojo (...) girando entonces el vaso veras esos colores alrededor de las burbujas de vidrio (Ibid., p. 255).

Es decir, que la formación de los colores del arcoíris sobre una superficie cristalina no es siempre atribuible al efecto de los rayos del sol, ya que los colores en la burbuja dependen del ángulo de las líneas de visión con el cuál se miren. Con lo anterior Da Vinci se refiere al fenómeno de la refracción en películas delgadas, de dónde, además, añade que si:

pones el vaso lleno de agua sobre el pretil de la ventana, de tal forma que desde el lado opuesto sea herido por los rayos del sol, veras entonces como los dichos colores

se generan en la proyección de los rayos solares penetrados por el vaso sobre el pavimento de una cámara oscura, al pie de la ventana (Ibid.).

Es decir, que la composición cristalina del vaso le permite comportarse como un prisma al ser sometido a rayos de luz; así, genera en una parte distante un conjunto de colores. Para finalizar, resaltamos a Da Vinci en la consideración de las características ondulatoria de la luz. En su texto expone que

Así como la piedra que al agua fue arrojada se hace centro y motivos de numerosos círculos y así cómo el sonido se difunde en círculos a través del aire, así también un cuerpo dispuesto en el aire luminoso se expande circularmente y colma a las partes circundantes de sus infinitas imágenes, pareciendo completo en el todo y completo en la menor de sus partes. Esto podrás demostrar por vía empírica si cierras una ventana orientada a poniente y practicas un orificio (Ibid., p. 128).

Da Vinci, a pesar de abogar por una visión rectilínea de la luz en referencia a las líneas de visión piramidales, concuerda con la perspectiva ondulatoria al considerar la propagación de la luz de forma circular, asemejándola a las ondas generadas por una roca en un estanque y al sonido propagándose mecánicamente en el aire.

La refracción desde los enfoques de Newton y Huygens

Para continuar nos situamos en la visión que nos ofrecen Isaac Newton (1642-1727) y Christian Huygens (1629-1695) sobre el fenómeno de la refracción de la luz. Newton es

considerado uno de los más grandes genios de la ciencia, teniendo en cuenta sus importantes aportaciones a las matemáticas, la astronomía y la óptica¹⁷.

Dentro de sus obras sobresalen los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Principios matemáticos de la filosofía natural*), en donde recopila sus estudios sobre las leyes del movimiento y rasgos filosóficos de su proceder científico. En su *Óptica: o un tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la*

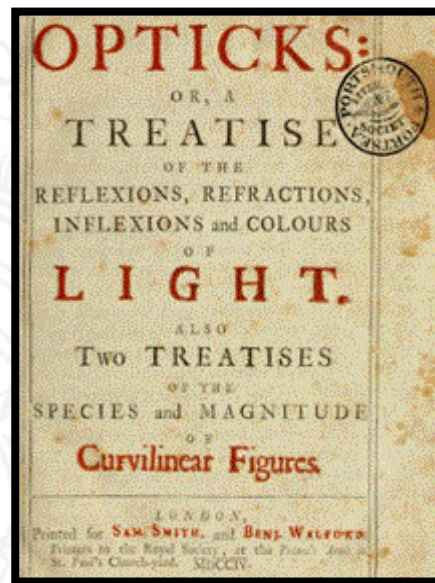


Figura 13: Obra óptica Newton

luz el aborda la refracción de la luz. Para hacerlo, se sitúa en el concepto de refrangibilidad para referirse a la capacidad de refracción que tienen determinados colores (Ver figura 14)¹⁸.

Para ello, tal y como lo enuncia en su texto, Newton (1704, 1966) utiliza un trozo de cartón de consistencia rígida y de color negro, el cual divide perpendicularmente en dos franjas iguales, las cuales pinta de color azul y rojo respectivamente (Ver figura 14); dicho trozo recibía luz proveniente del agujero de una ventana, de manera que le iluminara y, por ende, facilitara sus observaciones, las cuales serían hechas por medio de un prisma, según él, de un ángulo de refracción de 60°.

¹⁷Nació el 25 de diciembre de 1642 en la pequeña aldea de Woolsthorpe, en el condado de Lincolnshire y falleció un 20 de marzo de 1727 tras el alojamiento de un cálculo en su vejiga.

¹⁸ Tomada de Newton, I. (1704,1966), p. 14.

Newton efectuó leves movimientos del prisma en tanto al ángulo de refracción, observó el trozo de colores y, paulatinamente, describió los hallazgos; así, encontró que al hacer determinadas variaciones en el ángulo (girándolo levemente), el color azul se elevaba más que el color rojo y cuando disminuía dicho ángulo, pasaba lo contrario. Ello le llevó a hablar de refrangibilidad como premisa que, según él, definía cierta diferencia en la capacidad de refracción de los colores propios de los cuerpos naturales.

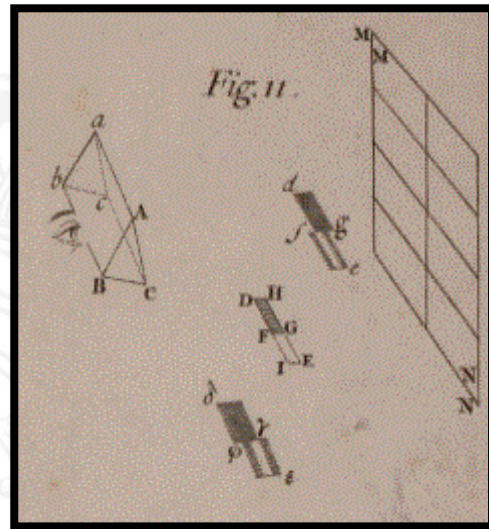


Figura 14: Experimento refrangibilidad con un prisma. Newton

En un segundo experimento utilizó el mismo trozo rígido de dos colores, el cual era

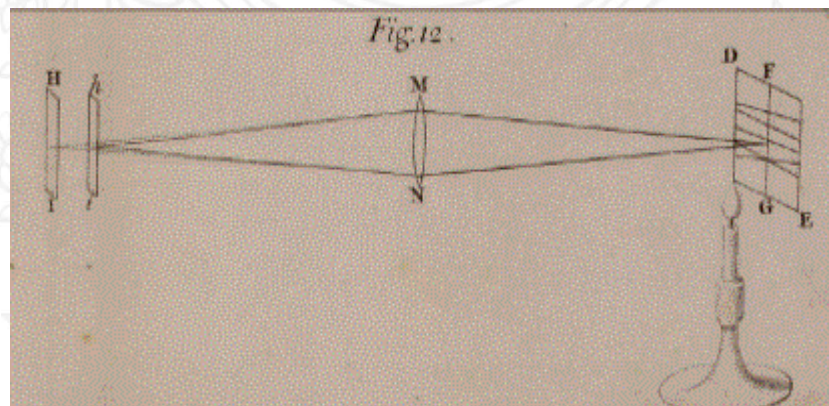


Figura 15: Experimento lente. Refrangibilidad con lente convergente. Newton

enrollado continuamente por un fragmento de seda negra “de modo que las diversas partes del hilo apareciesen sobre los colores como otras tantas líneas negras trazadas sobre ellos, o bien como tenues sombras negras proyectadas sobre ellos” (Ibid, pág. 16). Así, le ubicó sobre

una superficie plana vertical y frente a él, a poca distancia, una vela encendida cuya función era la de iluminar la pantalla (Ver figura 15)¹⁹. Frente a ella un lente de vidrio encargada de recoger los rayos procedentes de la pantalla para, a su vez, hacerlos converger a una distancia igual al otro lado de la lente.

En últimas, lo que hacía era desplazar el objeto, “ora hacia adelante ora hacia atrás” (Ibid, pág. 17). De manera que en la pantalla en blanco se generara la imagen procedente de la original; hecho que lo llevó a encontrar que a determinadas distancias el color azul se visualizaba en la pantalla con mayor nitidez, mientras que la franja roja con cierto grado de opacidad. Sin embargo, a otras distancias se observaba el efecto contrario, por lo cual concluyó que a diferentes distancias los colores se reproducían con distinta nitidez y, por ende, unos colores (en este caso el azul) son más refrangibles que otros (rojo).

Hasta el momento nos hemos referido al concepto de refrangibilidad, el cual, es acuñado por Newton para referirse a la refracción, sin embargo, él describe el fenómeno de la refracción, tal y como se logra evidenciar en el siguiente fragmento:

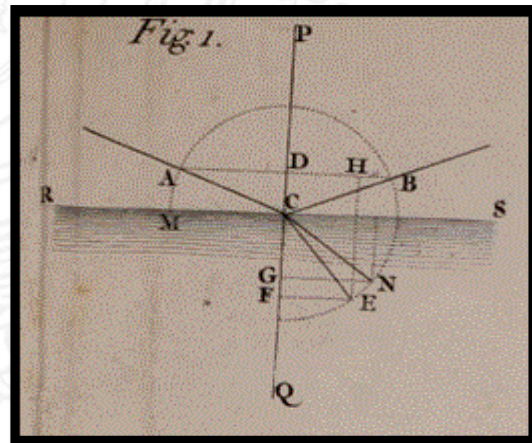


Figura 16: La refracción de la luz. Newton

Suponga por lo tanto, que RS representa la superficie de separación del agua, y C es el punto de incidencia en el cual un rayo que llega en el aire desde AC es reflejado o

¹⁹ Ibídem. P. 16.

refractado, y me gustaría saber si este rayo irá después de la reflexión o refracción.

(Ibid, p. 5).

Newton diferencia los fenómenos de reflexión y refracción. Suscita el interrogante en torno a si el rayo es reflejado o refractado: el rayo incidente genera un rayo de reflexión CB o un rayo refractado CE (Ver figura 16)²⁰.

Cabe aclarar que él logró generalizar el comportamiento de la luz, al no restringirlo sólo a agua y aire, sino además, llevándolo a otros medios. Esto lo logramos evidenciar al

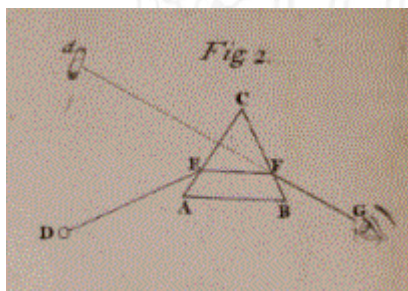


Figura 17: Los rayos de luz a través de un prisma:

observar que Newton aborda la refracción a partir del estudio de las lentes (Figura 15) y los prismas (ver figura 17²¹ y 14).

En ambas imágenes se observa cómo la luz sufre una desviación al pasar de un medio a otro. En lo referente a las lentes, realiza numerosos estudios que se dirigen a identificar la influencia del ángulo del rayo de luz al momento de pasar de un medio a otro (ver figura 18)²².

Adicionalmente, en su obra formula algunos axiomas que constituyen la base de muchos de los principios ópticos que conocemos hoy día. Por ejemplo, en su axioma III, Newton (1704, 1966) plantea que “Si el rayo refractado es devuelto directamente atrás del punto de incidencia, éste deberá ser refractado en la línea antes descrita por el rayo incidente”

²⁰ Ibidem. P. 5.

²¹ Ibidem. P. 6.

²² Ibidem.

(p. 4). Lo cual concuerda con lo ilustrado en la figura 16, al referirse al paso de la luz entre dos medios con distintas densidades.

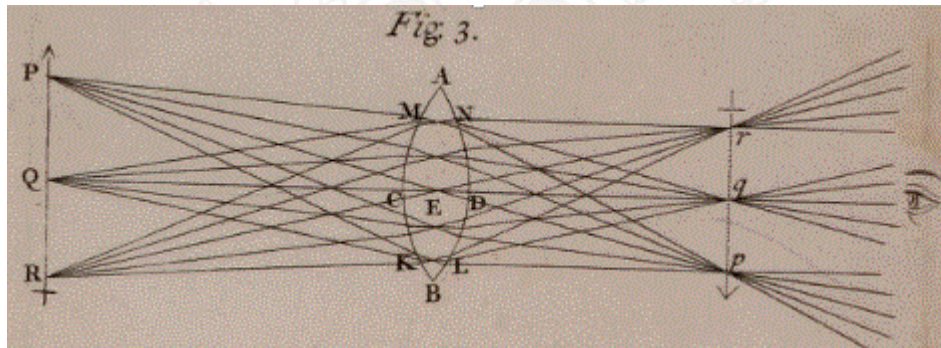


Figura 18: Observación a través una lente convergente. Líneas de visión. Newton

En la figura 19²³ Newton ilustra el rol de la refracción en el funcionamiento del ojo humano, en lo concerniente a la formación de las imágenes, apoyado en el siguiente fragmento: “La luz cuando llega de algunos puntos a los objetos es refractada por pieles transparentes y humores del ojo, (esto es por la capa externa *EFG* llamada túnica cornea, y por el humor cristalino *AB* que está más allá de la pupila *mk*)” (Ibid., p. 10). De donde encontramos que para Newton el ojo posee algunas superficies cristalinas que permiten el paso de los rayos de luz y, por ende, permiten la formación de imágenes de los objetos. Dicha superficie, llamada humor cristalino, es asemejada a una lente convergente (ver figuras 15 y 18), que refracta los rayos de luz y permite la formación de las imágenes, invertidas y reducidas.

Con lo anterior, Newton explica la formación de imágenes en el ojo humano, basado en la refracción de la luz. En últimas, mediante el paso de rayos de luz de un medio a otro: desde el exterior del ojo hasta su interior.

²³ Ibidem.

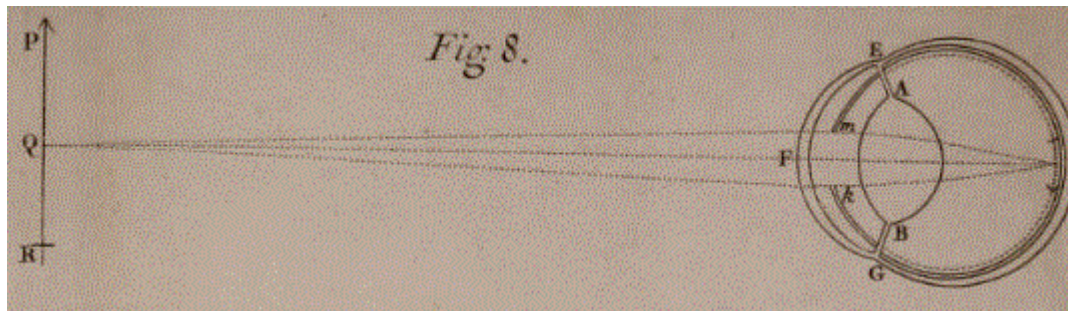


Figura 19: Formación de las imágenes en el ojo humano. Newton

Finalmente, para proseguir, resaltamos que Newton hizo que sus experimentos fueran de fácil reproducción, es decir, que buscó que los mismos fueran accesibles a cualquier persona. Ello lo plantea en el siguiente párrafo: “en la descripción de estos experimentos, sólo establezco aquellas condiciones en las que el fenómeno resulte más visible, en las que a un principiante le resulte más fácil realizarlos o sencillamente en las que yo los realicé” (Ibid., p. 17). Es decir, que para Newton era evidente la necesidad de propiciar situaciones experimentales que fueran fácilmente reproducibles por otros sujetos.

Consideramos ahora pertinente adentrarnos en el mundo de otro gran científico, de alguien que, al igual que Da Vinci y Newton, hizo grandes aportes a la física, a la óptica. Christian Huygens (1629-1695)²⁴ se opuso a su contemporáneo Newton, ya que diferían en la forma de concebir la luz. Newton como corpúsculo y Huygens como onda.

²⁴Matemático, astrónomo y físico holandés, demostró un gran talento para la mecánica y las matemáticas. Fue reconocido por sus publicaciones de matemáticas y por sus observaciones astronómicas, que pudo realizar gracias a los adelantos que introdujo en la construcción de telescopios

Su obra (ver figura 20)²⁵, titulada *Traité de la lumière* (1690/1986), recopila una gran cantidad de postulados e interpretaciones experimentales en torno a los fenómenos ópticos desde la perspectiva ondulatoria, algunos de los cuales analizaremos a continuación.

Para explicar la refracción de la luz Huygens (1690/1986) expone lo siguiente:

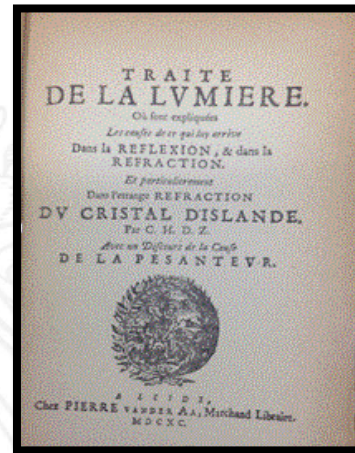


Figura 20: Libro óptica Huygens

Pasemos ahora a la explicación de los efectos de la refracción suponiendo, como dijimos, el pasaje de las ondas de luz a través de los cuerpos transparentes y la disminución de velocidad que sufren esas ondas. La principal propiedad de la refracción es que un rayo de luz como AB, viniendo del aire al incidir oblicuamente sobre la superficie pulida de un cuerpo transparente como FG, se quiebra en el punto de incidencia B, de manera que con la recta DBE que corta perpendicularmente a la superficie, forma un ángulo CBE menor que ABD que es el formado por la misma perpendicular con el rayo situado en el aire (p. 68).

Es decir, que las ondas de luz disminuyen la velocidad al pasar de un medio a otro, lo que inmediatamente traslada al fenómeno de la refracción: al análisis de un rayo de luz que se quiebra en un punto de incidencia (Ver figura 21)²⁶.

Adicional a ello, y de acuerdo a la figura anterior, el autor añade que

²⁵ Tomada de Huygens, C. (1690/1986), p. 1.

²⁶ *Ibidem*. P. 68.

(...) la medida de éstos ángulos se encuentran describiendo un círculo de centro B que corta los rayos AB y BC. Las perpendiculares AD y CE trazadas desde los puntos de intersección sobre la recta DE, que se llaman los senos de los ángulos ABD y CBE, tienen entre sí cierta relación, que es siempre la misma en todas las inclinaciones del rayo incidente para un cierto cuerpo transparente (Ibid., p. 68).

Es decir, que los ángulos que intervienen en el proceso tienen una relación matemática que se basa en aspectos trigonométricos. Los senos de los ángulos caracterizan la desviación que sufren los rayos al pasar de uno a otro medio, de lo cual se logra inferir que Huygens aportó rasgos matemáticos al fenómeno de la refracción, lo que evidentemente permite hacer predicciones sobre los ángulos en determinados medios.

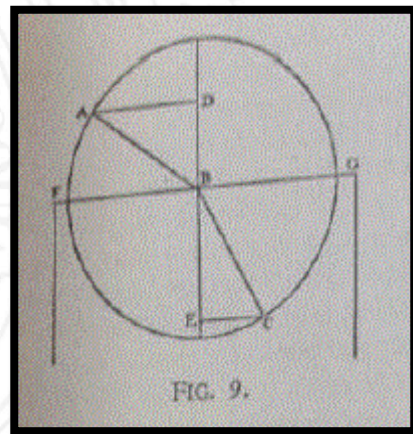


Figura 21: La refracción de la luz según Huygens

En la figura 22²⁷ Huygens ilustra el comportamiento de una onda plana, al referirse al cambio de ésta de un medio a otro. Al respecto plantea:

Supongamos que la línea AC representa una parte de la onda de luz cuyo centro se supone tan lejano, que pueda considerarse como una línea recta. El punto C de la onda AC en un cierto espacio de tiempo habrá avanzado hasta el plano AB según la recta CB que debe imaginarse procedente del centro luminoso que por lo tanto cortará a AC en un ángulo recto (Ibid., p. 69).

²⁷ Ibidem. P. 69.

Es decir, que al tomar una porción de onda pequeña, la curvatura va a ser mínima y, por ende, puede ser considerada como línea recta. Así, cuando un extremo de la onda llegue al medio, disminuirá su velocidad respecto al otro extremo, sufriendo una desviación. Huygens plantea que, por ejemplo, el movimiento transmitido podría ser una tercera parte menos rápido, claro está, que dicha rapidez dependerá de los medios en los cuales se analice el movimiento de la onda.

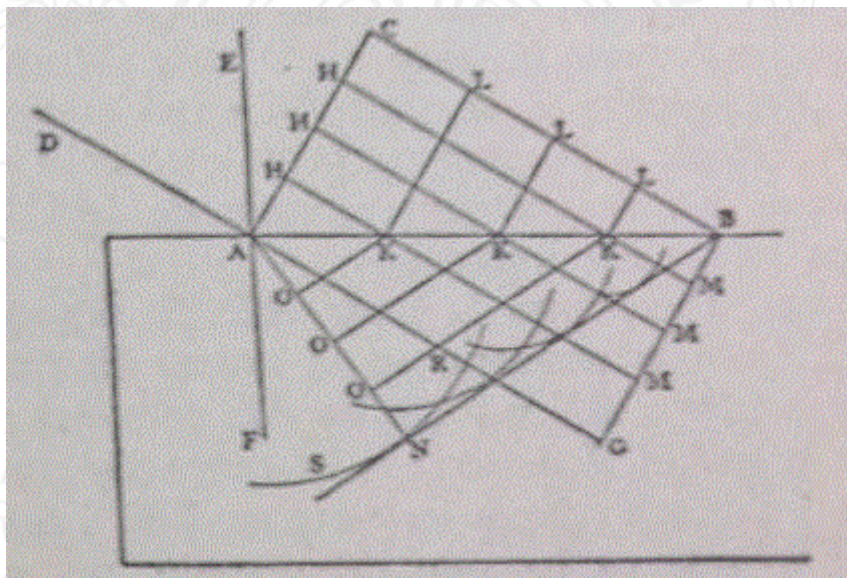


Figura 22: Refracción en una onda plana. Huygens

Al considerar el carácter ondulatorio de la luz, centramos la atención en los aportes de Huyens al plantear que (como se citó en Einstein y Infeld, 1986)

(...) si la luz emplea cierto tiempo para recorrer una determinada distancia, resulta que este movimiento, comunicado a la materia en la cual se propaga, es sucesivo y, por consiguiente, se difunde, como el sonido, por superficies esféricas y ondas. Y las llamo ondas por su semejanza con las que se forman sobre el agua cuando se arroja una piedra sobre su superficie; ondas que presentan un ensanchamiento sucesivo en

forma de círculos, aun cuando la causa sea distinta de la de las ondas luminosas y estén éstas en una superficie plana (p. 78).

Es decir, que para Huygens la luz tiene un comportamiento de onda al asemejarla al efecto mecánico de una perturbación cuando, por ejemplo, se arroja una piedra en un estanque o cuando un parlante emite sonido que se propaga en varias direcciones. Así, la relación que Huygens establece entre la luz y ondas mecánicas, se esclarece al considerar que la luz requiere de cierta velocidad para desplazarse, llevándolo a asemejarla con un movimiento mecánico.

Huygens, además, habla de la refracción atmosférica, haciendo alusión a aquel fenómeno que acontece en el aire, a aquel que se extiende hasta las nubes y, según sus palabras, más allá todavía: “refracciones cuyos efectos son muy notables, pues es por ellas que corrientemente vemos objetos como islas y cúspides de montañas que la redondez de la tierra nos debería ocultar cuando se está en el mar” (Ibid., p. 79).

Basados en lo anterior, evidenciamos, según Huygens, que el fenómeno de la refracción está presente en muchos de los acontecimientos naturales que, quizás, pasamos desapercibidos, un atardecer o el famoso espejismo (ver figura 23). Huygens añade que “aquellos que no consideran la refracción más que en las superficies que caracterizan los cuerpos transparentes de diversa naturaleza, tendrán dificultad en darse cuenta de todo lo que acabamos de relatar, pero según nuestra teoría la cosa es demasiado fácil” (Ibid., p. 79). Es decir, que la refracción no se limita a las superficies transparentes sino que, además, se

presente en otros entornos tales como la atmósfera y con la complicidad de elementos, por ejemplo, como el aire (figura 23)²⁸.

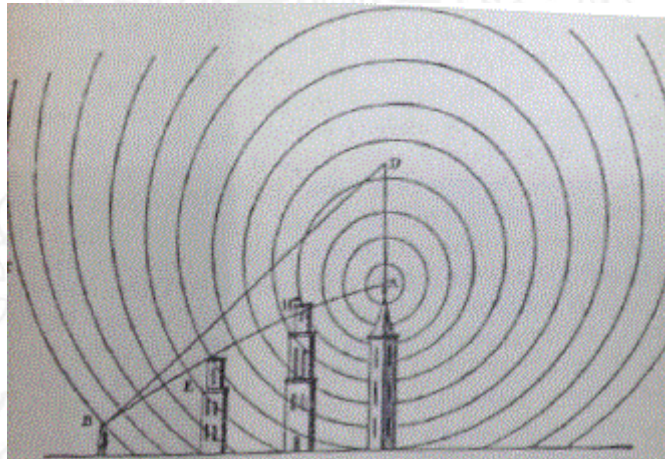


Figura 23: La refracción atmosférica. Huygens

Así, de acuerdo a lo ilustrado por Huygens en la figura 23,

(...) si A es una luz o una punta visible de un campanario, las ondas que nacen en un punto deben propagarse más ampliamente hacia arriba y menos hacia abajo y más o menos hacia los otros puntos según que ellos se aproximen a estos dos extremos (Ibid., p. 79).

Lo cual corresponde al fenómeno de la refracción abordada desde otro tipo de fenómenos distintos a los convencionales, es decir, desde elementos no cristalinos. Según Huygens, la refracción y, en general, muchos fenómenos físicos, no se desligan de los fenómenos que acontecen en la cotidianidad de cualquier sujeto.

²⁸ Ibidem. P. 80

Einstein e Infeld y los frentes de onda en la refracción de la luz

¿Qué relación guarda lo anterior con el concepto de frente de onda? ¿Cómo explica Einstein dicho fenómeno? Las respuestas subyacen en el siguiente ejemplo, que presenta Einstein (1879-1955)²⁹ e Infeld³⁰ (1986):

Supongamos que dos personas estén caminando por un gran espacio abierto, sosteniendo entre ambas una barra rígida. Al principio caminan en línea recta y con la misma velocidad. Mientras sus velocidades sean iguales, pequeñas o grandes, la barra experimentará desplazamientos paralelos a su posición original, esto es, sin girar ni cambiar de dirección. Todas las posiciones consecutivas de la barra son paralelas entre sí. Ahora, imaginemos que por un momento, que puede ser hasta de una fracción de segundo, las velocidades de ambos hombres no sean las mismas. ¿Qué sucederá? Es evidente que durante este momento la barra girará. Cuando las velocidades se igualen nuevamente, el movimiento se efectuará según una dirección distinta de la primitiva, como se ve, claramente, en la figura 24. El cambio de

²⁹ Científico estadounidense de origen Alemán, quien fuera reconocido por, entre muchos otros factores, la formulación de la teoría de la Relatividad. Entre sus obras se destacan *Las bases de la teoría general de la Relatividad* (1916); *Sobre la teoría especial y general de la relatividad* (1920); *Geometría y experiencia* (1921) y *El significado de la relatividad* (1945).

³⁰ fue un físico polaco que trabajó principalmente en Polonia y Canadá (1938–1950). Fue académico de la Universidad de Cambridge (1933–1934) y miembro de la Academia de Ciencias de Polonia. Nacido en una familia de judíos polacos de Cracovia, entonces parte del Imperio Austro-húngaro y a partir de 1918 parte de la actual Polonia. Estudió física en la Universidad Jagellónica donde obtuvo su doctorado en 1921. Se mostró interesado en la teoría de la relatividad, habiendo trabajado con Albert Einstein en la Universidad de Princeton (1936–1938), con el que cooperaría en la formulación de las ecuaciones que describen el movimiento de las estrellas

dirección tuvo lugar en el intervalo de tiempo en que las velocidades de los dos caminantes fueron diferentes (p. 81).

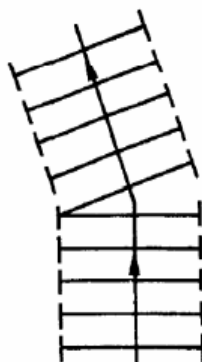


Figura 24: Cambio de velocidades de los puntos de una onda plana. Einstein e Infeld

En este ejemplo Einstein e Infeld establecen una situación análoga a la real, similar a la esbozada en la figura 24 y, la cual, tiene el objetivo de simular el comportamiento de una onda plana al pasar de un medio a otro. Claramente, al considerar el movimiento ondulatorio como el desplazamiento de dos sujetos con una barra horizontal, los cuales se acercan oblicuamente a una superficie, se está estableciendo una relación directa entre el frente de la onda y el cambio de velocidades que, paulatinamente, se van presentando en la misma al momento de ingresar cada uno de los puntos a otro medio. Lo anterior permite, según Einstein e Infeld, entender el fenómeno de la refracción desde la perspectiva ondulatoria.

Consideramos pertinente exponer la definición que Einstein e Infeld retoman del concepto de frente de onda, entendiéndolo como aquel en el que “en cualquier instante todas las partículas del éter se comportan de una misma manera. Como la velocidad depende del medio por el cual viaja la luz, tendrá en el vidrio un valor distinto del que tiene en el vacío” (Einstein e Infeld, 1986, p. 81). Así, el comportamiento ondulatorio de la luz puede ser

entendido al tomar una porción de onda que, al cambiar de medio, mostrará un comportamiento característico; es decir, que dicho frente permitirá predecir el

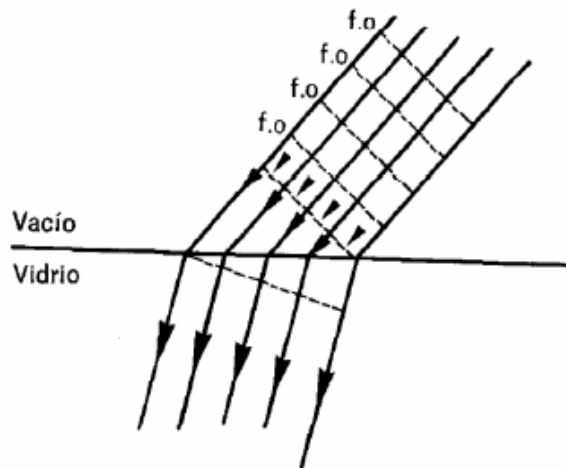


Figura 25: Avance de una onda al cambiar de medio.
Einstein e Infeld

comportamiento de una onda lumínica al considerarse como un conjunto de líneas paralelas (figura 24) que al cambiar de medio siguen conservando dicha condición, el paralelismo.

La figura 25³¹ nos permite mostrar una onda que avanza, la cual, presenta un frente de onda relativamente ancho. Según Einstein e Infeld (1986) al variar “la velocidad a lo largo del frente de onda durante el tiempo de su penetración en el vidrio, la dirección de ésta debe cambiar” (p. 82). Básicamente, el planteamiento se sitúa sobre la definición del fenómeno, el cual explica mediante el uso de una analogía.

Einstein e Infeld aluden a los aportes del también físico Thomas Young (1773-1829), en relación al fenómeno de la interferencias de la luz. Para ello, basados en Young, exponen:

³¹ Tomada Einstein, A., & Infeld, L. (1986), p.82.

Supongamos una hoja de papel negro con dos orificios hechos con la punta de un alfiler, a través de los cuales puede pasar la luz. Si los orificios están próximos entre sí y si la luz es homogénea y de suficiente intensidad, aparecerán muchas bandas luminosas y oscuras sobre la pared que se halle detrás de la pantalla (...) internándose en la zona oscura. La explicación es sencilla. Se forma una franja oscura en el lugar donde se encuentra la cresta de la onda procedente de uno de los orificios con el valle de la onda luminosa procedente del otro orificio, de manera tal que se anulan recíprocamente. Las bandas luminosas se forman, en cambio, en los lugares donde se encuentran dos valles o dos crestas de ambas ondas reforzándose en esta forma sus efectos (p. 84).

Lo anterior se puede visualizar en la figura 31, en la cual, se muestra cómo se presenta el fenómeno de las interferencias. Básicamente, el fragmento anterior insta a considerar un par de rendijas con una separación mínima, en las cuales, se hace incidir un rayo de luz. Lo que el enunciado formula es que al interferir ambas ondas se puede dar una interferencia de tipo constructivo y otra, por su parte de tipo destructivo, en las cuales las mismas se adicionan y se anulan respectivamente.

Acerca de Tomas Young y algunos de sus aportes a la óptica

Fueron muchos sus aportes al campo de la física, sin embargo, nos situamos en el campo de la óptica. Para hacerlo, acudimos a uno de sus textos *A course of Lectures on Natural Philosophy and Themechanical Arts*. (1807) (figura 26³²).

³² Tomada Young, T. (1807), p. 1.

Young, al igual que los autores mencionados con anterioridad, habla del concepto de refracción, al plantear que

Cuando rayos de luz se acercan a una superficie, cuando es el límite de dos medios no homogéneos, ellos continúan en el mismo plano; pero una parte de ellos, y algunas veces casi la totalidad, es reflejada, haciendo con la perpendicular un ángulo de reflexión igual al ángulo de incidencia; y otra parte es transmitida, haciendo de éste un ángulo de refracción, en la misma superficie y por rayos de la misma clase, el radio de los senos de incidencia y refracción es constante, cualquiera que sea su magnitud (Young, 1807, p. 70).

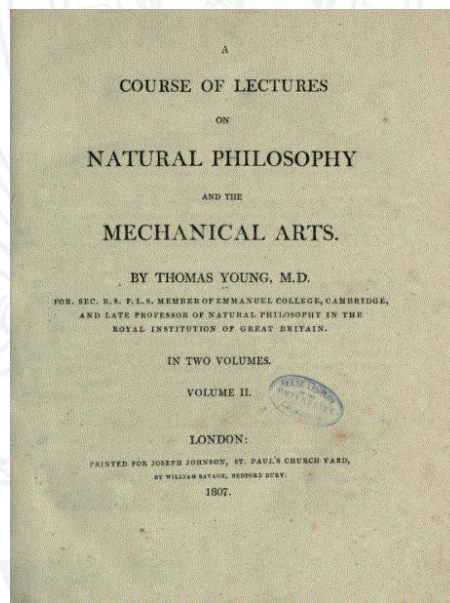


Figura 26: Texto óptica Thomas Young

Lo anterior nos permite identificar que Young se refería al concepto de refracción al analizar rayos de luz que se acercan a superficies no homogéneas, generando reflexiones o refracciones de dichos rayos. Además, Young estableció relaciones entre los senos de los ángulos formados respecto a una línea perpendicular, lo cual corresponde a la ley de Snell.

Además, habla del concepto de índice de refracción al establecer que

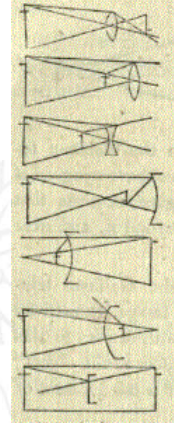
El medio en el cual el rayo está cercano a la perpendicular, se dice que tiene la mayor densidad de refracción; y un rayo de luz siendo supuesto para pasar desde un espacio vacío a un medio transparente, el índice de la densidad de refracción del medio es aquel número que es a la unidad como el seno de incidencia al seno de refracción (Ibid., p. 70).

Es decir, que el índice de refracción puede establecerse, según Young, a partir del cociente entre los senos de incidencia y refracción, a partir de una relación entre ellos, añadiendo que “el índice de refracción de la superficie común de dos medios es el cociente de sus respectivos índices” (Ibid., p. 70). Además, en torno al concepto de refracción, realiza estudios que competen a las lentes, a la formación de imágenes y al funcionamiento del ojo humano.

Young (1807) plantea que “una lente es una porción detallada de una sustancia transparente, de la cual las superficies opuestas son regulares pulidas” (p. 72). Esta definición permite identificar las características de una lente, considerándola como un cuerpo cristalino que permite el paso de los rayos de luz y, la cual, posee una superficie pulida. Sin embargo, en dicha definición no se limita a hablar de la curvatura de las lentes, lo cual hace posteriormente al describir el paso de los rayos de luz de acuerdo al tipo de superficie (ver figura 27³³).

³³ Ibid., P.77

La figura 27 permite identificar el comportamiento de los rayos de luz al pasar a través de una lente, lo cual sustenta, por ejemplo, al decir que “todos los rayos, cuando en sus pasos a través de lentes, tiende al centro, son transmitidas en dirección paralela a su dirección original” (Ibid., p. 73). Así, Young describe el comportamiento de los rayos de luz al pasar en determinadas direcciones a una lente, que en este caso, seguirá paralelamente al rayo incidente (ver figura 28³⁴).



Adicional a ello, en virtud de los innumerables estudios que realizó a nivel anatómico, describe la formación de las imágenes en el ojo humano al atribuirles con el paso de rayos de luz rectilíneos. Lo anterior se constata al plantear que

Figura 27: Comportamiento de los rayos de acuerdo a la curvatura de las lentes. Young

La luz es un dominio capaz de entrar en el ojo y de perturbar con un sentido de la visión. Un rayo de luz se considera como un elemento delgado de un arroyo de la luz; y un lápiz como una colección de tales que acompañan uno al otro (Ibid., p. 70).

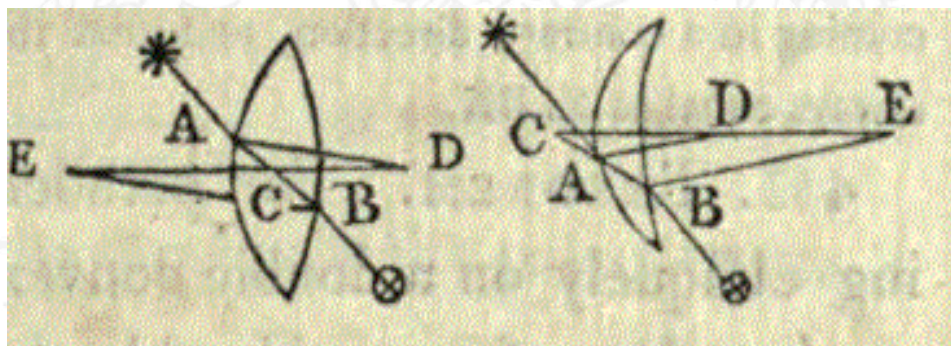


Figura 28: Comportamiento de los rayos de luz al pasar por el centro de una lente. Young

³⁴ Ibid., P.75.

Young nos muestra algunas de sus consideraciones en torno a los rayos de luz, de cómo estos nos permiten la observación de los diferentes objetos, además de explicarnos fenómenos tales como la refracción en un lápiz o pitillo al ser introducido en agua. Sin embargo, Young fue más allá al analizar anatómicamente órganos animales y humanos. Ello se logra constar en su obra al evidenciar que él diseccionó ojos de bueyes y demás animales, con el objetivo de explicar el proceso de la formación de las imágenes (ver figura 29³⁵), a lo cual añade que “el cristalino del buey es un orbicular, cuerpo convexo, transparente, compuesto de un número considerable de capas similares, de que el exterior se adhiere estrechamente al interior” (p. 525). Lo cual concuerda con la definición que da en torno al concepto de lente, atribuyendo a ésta un papel fundamental en el proceso de la visión.

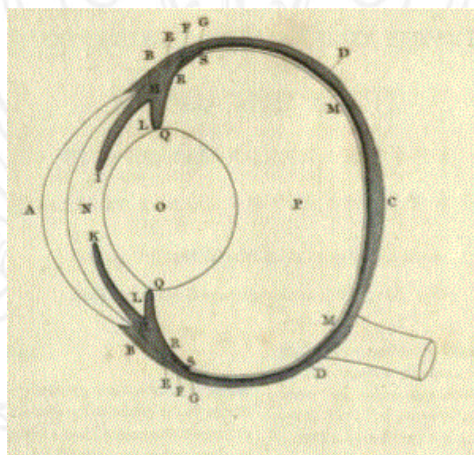


Figura 29: Ojo humano con sus diferentes elementos. Elaborado por Thomas Young

La anterior imagen y, en general, algunos de los argumentos abordados en este apartado, corresponden a estudios anatómicos en torno a la visión, los cuales, se recopilan en un escrito suyo, perteneciente a la obra de 1739 abordada, la cual se titula *Observations on vision*, en la cual, Young (1803) escribe que “en el ojo de un animal, la imagen que es

³⁵ Ibid., p.531.

formada en la retina es invertida con respecto al objeto” (p. 82). En correspondencia al principio de formación de imágenes formulado, y de acuerdo a lo formulado por Newton (ver figura 19) y Da Vinci (Ver figura 11).

La figura 30³⁶ ilustra, precisamente, la premisa planteada por Young, al referirse al proceso de formación de imágenes a partir de rayos que generan una imagen invertida respecto a un objeto real.

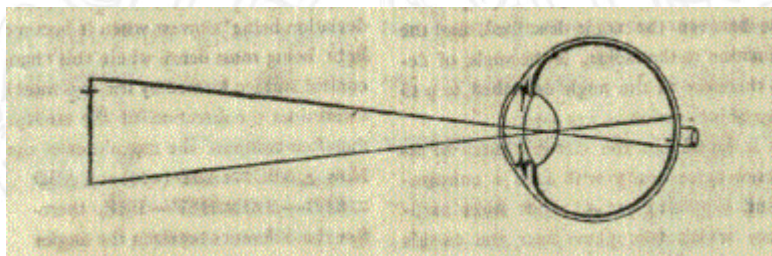


Figura 30: Ilustración de Young de cómo se da la formación de las imágenes en el ojo

Adicionalmente, resaltamos que Young aborda la perspectiva ondulatoria de la luz a partir del estudio del fenómeno físico de las interferencias. Para apoyar su idea, exponemos un fragmento de un texto en el cual se recogen algunos de los aspectos principales de su teoría: Young (como se citó en Magie, 1963) expone:

Supongamos la luz de un color cualquiera que consiste de ondulaciones, de un ancho dado, o de una frecuencia dada, sigue que estas ondulaciones deben ser responsables de los efectos que nosotros hemos ya examinado en el caso de las ondas de agua y los pulsos de sonido. Esto ha mostrado que en dos tipos iguales de ondas, procedentes de

³⁶ Ibid., p.82.

centros cercanos el uno del otro, puede verse que se destruyen los efectos en ciertos puntos, y en otros puntos se redoblan (p. 310).

Por lo anterior, logramos evidenciar la premisa de Young al asemejar el comportamiento de la luz al fenómeno de las interferencias. Añade que dos ondas al chocar pueden anularse y ampliarse en determinados puntos, asociando dicha característica al comportamiento de las ondas mecánicas en el agua y aire, en correspondencia a las perturbaciones en un estanque y al sonido respectivamente (ver figura 31). El autor añade que en dicha generalización se están “aplicando los mismos principios a la unión alternativa de la asociación y extinción de colores” (p. 310), hace referencia a la adición o anulación o destrucción de las ondas al encontrarse en sus caminos, teniendo en cuenta, además, que cada color tiene una características particulares.

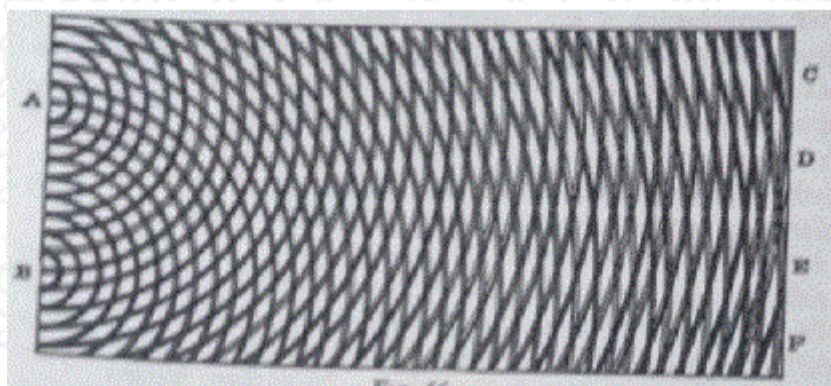


Figura 31: Interferencia de ondas

Plantea, finalmente, que la destrucción o anulación de las ondas se da teniendo en cuenta que dos “porciones de luz puedan ser por lo tanto combinados, esto es necesariamente porque ellos son derivados del mismo origen, y que ellos se acercan a el mismo punto por diferentes partes, en direcciones no muy desviadas una de la otra” (p. 310). Lo que indica las características de los procesos de adición y anulación de la luz en relación al cruce de varias ondas, en este caso, de luz.

Metodología de nuestra investigación: la necesidad de ser protagonistas de nuestra práctica.

Las narrativas como un mecanismo de investigación pedagógica.

Suárez (2007) dice que la documentación narrativa de experiencias pedagógicas propone estrategia de desarrollo “(...) profesional entre docentes como un camino para que éstos logren nuevas posiciones en el campo educativo como productores legítimos de saber pedagógico, y al mismo tiempo como un modo bastante particular de indagar y reconstruir narrativamente sus saberes” (p.8). Por ello, optamos por la investigación narrativa como un enfoque particular de investigación, pues con ésta, buscamos transformar nuestra identidad profesional, a partir de las realidades vividas, con el fin de reconstruir nuestro saber y actuar.

Asumir esta postura, nos identificó con un rol de investigadores dentro y fuera del aula. Dentro del aula, porque es en ella donde podemos dejar en libertad nuestra imaginación y creatividad a través de las estrategias pedagógicas que diseñamos. Fuera del aula, porque es allí, donde podemos reflexionar y evaluar nuestras prácticas y las formas como abordar los objetos de estudio, para reconocer cambios pertinentes que comenzaron desde nuestras clases.

A propósito Bolívar (2016) afirma: “El relato de formación del profesor permite hacer explícitos y visibles los conocimientos en uso, recoger el conjunto de acontecimientos, experiencias, aprendizajes que han configurado lo que hoy es, o como se percibe, como docente” (p.5). De esta manera, el escribir nuestros relatos pedagógicos fortaleció las práctica en el aula, pues con ellos revisamos el modo como relacionamos lo pedagógico, lo didáctico

y el saber específico, con el objetivo de formarnos desde el aula y no desde la estrategias de otros.

Así, al documentar nuestra práctica pedagógica, consideramos todas las decisiones y situaciones que afrontamos diariamente, con el fin de cuestionar nuestro proceder pedagógico y saber específico y, así, aportar a otros colegas desde lo que sabemos y hacemos en el interior del nuestra aula. En este sentido

documentar experiencias pedagógicas llevadas a cabo por maestros y profesores permite conocer las comprensiones pedagógicas y sociales que hay detrás de sus decisiones cuando enseñan, sus variados puntos de vista, sus supuestos y proyecciones, y da lugar a que las prácticas escolares sean dichas y contadas en el lenguaje de la acción.(Op. Cit., p.19).

Reflexionar las experiencias que vivimos nos permitió pensar que es posible transformar nuestro modo de ser maestros, haciendo una escritura que piensa y reflexiona en las situaciones concretas del aula. Así tratamos de establecer estrategias de innovación que partieran de nosotros, con el fin de transformar el entorno donde nos desenvolvemos diariamente y en el que pretendemos construir conocimiento con los estudiantes. A la luz de lo planteado Suárez nos pregunta: “¿Qué hacer para que algo diferente suceda con aquello que, efectivamente, saben y hacen los docentes en las escuelas?” (ibid), haciendo alusión a la forma en qué debe ser tratado el saber docente en función de transformar.

Al respeto plantea que dicho saber debe “innovar en las formas de interpelar y convocar a los docentes y a otros actores escolares y en las modalidades de gestión de los

sistemas educativos para que la memoria pedagógica de la escuela sea reconstruida, objetivada, legitimada y difundida” (Ibid).

En síntesis, la transformación en la calidad de la enseñanza nace desde las aulas de clase, es decir, en el trabajo que los docentes hacemos todos los días, pues somos nosotros quienes articulamos y damos significados a los currículos, en otras palabras, somos los maestros, quienes construimos e implementamos los conocimientos que enseñamos, por tal motivo, debemos animarnos a documentar y profundizar lo que hacemos.

Connelly y Clandinin (1995) plantean que “la narrativa es tanto el fenómeno que se investiga como el método de la investigación” (p. 12). Haciendo referencia a la necesidad que tiene la investigación narrativa de adentrarse de una manera particular en la problemática, de la cual el investigador forma parte activa. Narrativa es, por tanto, “el nombre de esa cualidad que estructura la experiencia que va a ser estudiada y es también el nombre de los patrones e investigación que van a ser utilizados para su estudio” (Ibid.), lo que en nuestro caso se traduce a considerarnos como el objeto de estudio dentro de la presente investigación y, su vez, al hecho de acudir a los patrones propios de las narrativas para desarrollar el estudio.

Finalmente, consideramos que la documentación narrativa propicia entablar círculos de diálogo entre comunidades docentes, al permitirnos ser el eje central de todos los procesos que intervienen en el interior de la escuela. Por esta razón consideramos valiosa la oportunidad de desarrollar la presente investigación mediante el lente que nos proporciona la documentación narrativa, ya que con ella podremos propiciar reflexiones a nuestra práctica docente.

CAPÍTULO III: Propuesta experimental para el estudio de la refracción desde las perspectivas geométrica y ondulatoria de la luz

Para la construcción de nuestra propuesta³⁷ nos situamos en el componente experimental desde el uso de elementos cotidianos. Para ello, orientamos la mirada al estudio de las lentes desde las perspectivas geométricas y ondulatorias, que analizamos en el anterior capítulo, al priorizar el fenómeno de la refracción y su construcción conceptual. Consideramos que la experiencia de los estudiantes puede ampliarse a partir del abordaje de varios fenómenos relacionados, basados en los argumentos de Gómez y Flórez (2013), ya que proponemos otras formas de considerar al fenómeno.

En el capítulo anterior abordamos las perspectivas geométrica (Newton y Da Vinci) y ondulatoria (Young y Huygens), por lo cual nuestra propuesta está direccionada a abordar la refracción de la luz desde ambas perspectivas. Inicialmente desde la construcción del concepto de refracción de la luz; luego, la refracción de la luz desde la perspectiva mecánica ondulatoria; enseguida, el fenómeno de la refracción desde el funcionamiento del ojo humano y, finalmente, el estudio de la refracción desde el uso de materiales de fácil acceso.

Construcción del concepto de refracción: Actividad experimental N°1

La presente actividad experimental (ver figura 34) consta de varias fases y se sitúa en el abordaje de una situación problema, al proponer un escenario que presenta algún tipo de dificultad que debe ser solucionado. En ella, una joven llamada Martina se encuentra

³⁷ Para consultar la propuesta que desarrollamos ver el Ebook <http://es.calameo.com/read/0047572510820037817f8> y el video <https://www.youtube.com/watch?v=gCsRKElwfLc>

pescando utilizando un arpón, sin embargo, se le encuentra confundida ya que desconoce la ubicación real de los peces, lo cual no le permite arponear con exactitud los peces. A raíz de ello proponemos varios momentos experimentales:

a. Inicialmente se propone la realización del experimento del pitillo en agua (ver figura

7). Para el montaje requerimos de botellas de plástico, vasos desechables y pitillos.

b. Proponemos un experimento en el cual se usa una moneda, agua y un vaso desechable (ver figura 32)³⁸. De manera que al verter agua en el vaso la moneda cambie de forma.

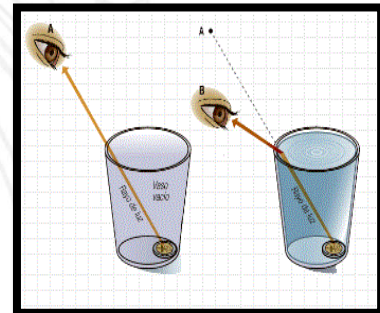


Figura 32: Experimento de la moneda en un vaso transparente.

<http://cida.usal.es/cursos/agua/modulos/Practicas/Electricidad7/moneda.html>

c. Experimento de la luz del apuntador láser al ingresar en agua (Ver figura 33); esta actividad tiene el objetivo de permitir visualizar el haz de luz en el aire mediante humo y en el agua por medio de colorante. Con ayuda de un transportador se traza el ángulo del rayo incidente y, de igual manera, el ángulo de rayo refractado, lo que permite ubicar los hallazgos en la tabla del literal C (Figura 34).

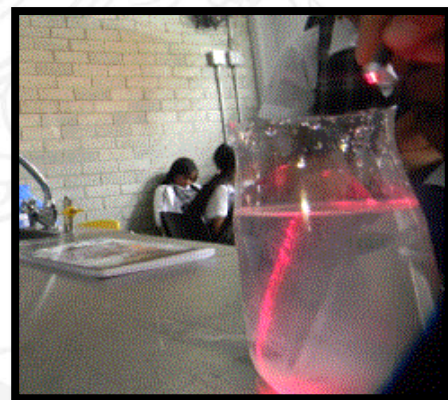


Figura 33: Haz de luz con láser en un vaso con agua

³⁸ Tomada de <http://cida.usal.es/cursos/agua/modulos/Practicas/Electricidad7/moneda.html> el 01 de agosto de 2016.

CONSTRUCCIÓN DEL CONCEPTO DE REFRACCIÓN

1. IDENTIFICACIÓN

- 1.1. **Conceptos a construir:** refracción de la luz.
- 1.2. **Grado:** 10
- 1.3. **Duración:** __ horas
- 1.4. **Responsables:** Mónica María Ruiz Molina, Giovanni Albeiro Toro Montoya, Braulio Andrés Giraldo Valencia- Licenciatura en Matemáticas y Física
- 1.5. **Plantel:** Institución Educativa Francisco Miranda

2. **OBJETIVO:** Construir experimentalmente el concepto de refracción, a partir del análisis de una situación problema que priorice en la identificación de las características fundamentales del fenómeno.

3. SITUACIÓN PROBLEMA

Martina es una pequeña joven que se dedica a la pesca. Sus papás y abuelos le enseñaron que en el agua las cosas no eran como parecían, que el lugar donde aparentemente estaban los peces no era el real. Le decían que el arpón lo debía lanzar a cierta distancia antes de donde veía el pez, sin embargo, no sabe con certeza a qué distancia o a qué ángulo hacerlo. ¿Cómo ayudarías a Martina a arponear el pez?

3.1. PREGUNTAS ORIENTADORAS

- a) ¿Por qué crees que los peces se ven en un lugar distinto a dónde realmente están? ¿Cómo le ayudarías a Martina a comprender este comportamiento y a lograr su objetivo?
- b) De acuerdo al experimento de la moneda y el experimento de la luz láser en aceite y agua, ¿por qué crees que la luz presenta éste comportamiento al estar en varias sustancias?
- c) Con ayuda del láser, apunta al agua haciendo leves variaciones en el mismo. Con el transportador de acetato, mide el ángulo con el que choca el rayo en el agua (ángulo superior) y el ángulo con el cual se desvía en el agua (ángulo inferior).

Sustancia	Angulo superior ($\theta_{superior}$)	Angulo inferior ($\theta_{inferior}$)
Agua fría		
Agua caliente		
Aceite		
Glicerina		
Alcohol		
Otro: ¿Cuál?		

Figura 34: Actividad experimental N° 1 (Construcción del concepto de refracción).

Justificación de la actividad experimental N°1

La construcción conceptual del fenómeno de la refracción desde la perspectiva geométrica la fundamentamos en el abordaje de una situación problema que, en este caso se orienta a su solución a partir de la formulación de algunas preguntas orientadoras. La

actividad se basa en el dar valor al uso del experimento, al considerarlo un elemento activo en el aprendizaje y en la construcción de conocimiento.

A propósito Duhem (1914, 2003), analizado en el capítulo II, plantea que el experimento es la observación física precisa de un grupo de fenómenos, en este caso corresponde a la identificación de elementos tales como el rayo incidente, el rayo refractado y el índice de refracción. Además, Campbell (1956, 1986) plantea que hay leyes experimentales que es imposible conocer sin la ayuda del experimento, para nuestro interés se sitúan en la necesidad de medir los ángulos de los rayos incidentes al cambiar de medios.

Siendo así, en la figura 34 literal A generamos un interrogante en torno al porqué de la posición aparente de los peces, de donde traemos a Da Vinci quién manifiesta que la luz se quiebra al pasar por dos o más medios con distintas densidades. Con Newton nos situamos en la dificultad de Martina al establecer una visión rectilínea de la luz en relación al fenómeno de la refracción, ya que plantea que los rayos de luz se quiebran al pasar de un medio a otro.

Al respecto, con el literal C de la actividad en cuestión, pedimos que se midan los ángulos de incidencia y refracción en una interfaz agua- aceite; teniendo en cuenta lo considerado por Huygens y Young y que presentamos en el capítulo anterior, al decir que un rayo que incide oblicuamente sobre una superficie cristalina, se quiebra en el punto de incidencia; además, la relación entre las direcciones de los rayos de incidencia y refracción respecto a una perpendicular a la superficie de separación. Con esta actividad pretendemos situarnos en la relación entre los senos los ángulos, lo cual se direcciona a la construcción del concepto de refracción en función de la relación trigonométrica de los ángulos. Al respecto, la situación experimental del pitillo en agua se sitúa sobre una mención que hizo

Young, al considerar al rayo como un elemento delgado de un arroyo de luz, responsable de observar elementos tales como un lápiz o, en su defecto, un pitillo.

Adicionalmente, Young concuerda al analizar el comportamiento de los rayos de luz al pasar a través de dos medios. Añade que tanto el rayo refractado como el incidente se conservan en el mismo plano y establece, al igual que Huygens, una relación entre los senos de los ángulos correspondientes a los rayos incidente y de refracción, habla del índice de la densidad de refracción del medio.

Se evidencia cómo, para Da Vinci, Newton, Huygens y Young el concepto de refracción es abordado desde el comportamiento de un rayo de luz al cambiar de medio. La actividad se basa en la necesidad de acudir a experimentos que permitan realizar mediciones, en este caso de los ángulos de incidencia y refracción, con sus respectivas relaciones trigonométricas.

Refracción de la luz desde la perspectiva mecánica ondulatoria: Actividad experimental N°2

La segunda actividad experimental que titulamos *Refracción de la luz desde la perspectiva mecánica ondulatoria*, se sitúa en la identificación del concepto de refracción de acuerdo a aspectos mecánicos, es decir a la visualización y manipulación de situaciones experimentales que permitan identificar, inicialmente, las características fundamentales de la

refracción de acuerdo a la perspectiva ondulatoria para luego situarnos en la refracción de la luz desde la perspectiva ondulatoria de la luz.

**ACTIVIDAD EXPERIMENTAL N° 2:
REFRACCIÓN DE ACUERDO A LA PERSPECTIVA MECÁNICA
ONDULATORIA**

1. IDENTIFICACIÓN

1.1. **Conceptos a construir:** Interferencia, refracción desde la teoría ondulatoria,
1.2. **Grado:** 10
1.3. **Duración:** 2 horas
1.4. **Responsables:** Mónica María Ruiz Molina
Giovanni Albeiro Toro Montoya
Braulio Andrés Giraldo Valencia

1.5. **Plantel:** Institución Educativa Francisco Miranda- Medellín

OBJETIVO: Construir experimentalmente el concepto de refracción desde la perspectiva mecánica ondulatoria, a partir de la resolución de una actividad experimental.

2. SITUACIÓN PROBLEMA

Pinocho y Pepe Grillo son dos hermanos granjeros que diariamente laboran en la finca de sus padres desempeñando funciones propias de la piscicultura. Para ello, se desplazan a cada uno de los cincuenta estanques, distribuidos a lo largo de ocho hectáreas, para alimentar los cultivos de peces, lo cual demanda en ellos un gran esfuerzo físico. Al depositar el alimento para los peces, observaban como se generaban perturbaciones en el agua, lo que a su vez, generaba ondas que se desplazaban a través del estanque. Cierta día, accidentalmente, Pinocho vertió una caneca con petróleo en uno de los estanques mientras aún se visualizaban las ondas, sin embargo, cuando las ondas llegaban a la mancha de petróleo estas presentaban otro comportamiento. Ambos observaban como las ondas en el agua llevaban cierta dirección pero cuando entraban al petróleo se desviaban y se desplazaban más lentamente.

¿Cómo ayudarías a Pinocho y a Pepe Grillo a comprender el comportamiento de las ondas al pasar del agua al petróleo?

PREGUNTAS ORIENTADORAS

EXPERIMENTO CON LA CUBETA DE ONDAS

a. ¿Qué crees que pasaría si en lugar de petróleo Pinocho hubiera vertido aceite, glicerina, alcohol u otra sustancia? ¿Cuál será el comportamiento de las ondas?

b. Realiza un dibujo en el cual representes tus observaciones, tratando de explicar lo observado en la cubeta de ondas.

Figura 35: Actividad experimental N°2 (refracción de acuerdo a la perspectiva mecánica ondulatoria)- Primera parte.

En ella se desarrollan algunos momentos fundamentados en una situación de tipo problemático (ver figura 35), en la cual los dos granjeros no sabían cómo explicar lo sucedido, por lo cual proponemos a los estudiantes ayudar a estos dos personajes a

comprender dicho comportamiento, para lo cual sugerimos algunas situaciones experimentales:

c. ¿Cómo y por qué se da el fenómeno de refracción en la cubeta de ondas?

SITUACIÓN FRENTE DE ONDA

d. A partir de la actividad experimental simulada en la clase, describe y argumenta en torno a las condiciones que debería contemplar el experimento para que atienda a una situación real.

e. ¿Por qué crees que se da éste fenómeno? ¿Por qué las ondas del estanque se comportan así y que relación guardan con la simulación representada en clase? ¿De qué dependerá la desviación de las ondas?

EXPERIMENTO DE LA DOBLE RENDIJA

f. ¿Por qué se da dicho comportamiento al incidir el láser en la ranuras de papel?

g. ¿Qué relación encuentras entre las ondas en el agua y el experimento del láser en el papel?

Figura 36: Actividad experimental N°2 (refracción de acuerdo a la perspectiva mecánica ondulatoria)- Segunda parte

- a. Montaje de la cubeta de ondas (ver figura 53), en la cual identificamos las características de una onda al ser producida de diferentes maneras (ondas planas, esféricas, interferencias).
- b. Simulación del frente de onda expuesta por Einstein e Infeld, en la cual, dos personas sujetan un palo de escoba mientras se desplazan uniformemente, cambiando de dirección al llegar a un obstáculo (ver figura 25)
- c. Experimento de la doble rendija, en el cual se utiliza un apuntador de láser y trozos de papel periódico con ranuras lo más cercanas posible, realizadas con una cuchilla (ver figura 8).

Justificación de la actividad experimental N°2

Un gran aliciente para la propuesta de esta actividad experimental es la necesidad de abordar el fenómeno de la refracción desde la teoría mecánica ondulatoria, a partir de la

identificación de las características fundamentales del fenómeno. Schrödinger (1956, 1990), analizado en el anterior capítulo, plantea que la percepción sensorial directa del fenómeno nada dice sobre su naturaleza; nuestra pretensión se ubica en la necesidad de mostrar esta perspectiva desde el abordaje de algunas situaciones experimentales que permitan comprender el fenómeno y, posteriormente, establecer comparaciones entre la perspectiva ondulatoria y la geométrica (abordada mediante la *Actividad Experimental 1*); para hacerlo adoptamos la voz de algunos teóricos que en su momento abordaron dicha perspectiva.

Tanto la *Situación Experimental 2* como la actividad de la cubeta de ondas nos permitieron suscitar algunos interrogantes direccionados a identificar la influencia del medio en la formación de las ondas. Los literales A y B se fundamentan en lo expuesto por Da Vinci, en el capítulo anterior, sobre los efectos mecánicos de una piedra al ser lanzada en un estanque, de manera que relaciona la formación de las ondas al comportamiento de la luz en el aire. Con la situación de la cubeta pretendemos identificar la formación de los diferentes tipos de ondas, entre ellas las planas, a propósito de lo expuesto por Huygens al considerarla como una porción de una onda esférica.

Proponemos los literales *D* y *E* a partir de la simulación de un frente de onda propuesta por Einstein e Infeld, al retomar el concepto de refracción postulado por Huygens, donde utiliza una situación análoga al frente de onda. Plantea que una onda plana tiene un frente de onda que al llegar oblicuamente a una superficie sufre una desviación; además, que al cambiar la velocidad del frente de onda al ingresar al otro medio, se manifestará una desviación de la onda. Con la actividad pretendemos que los estudiantes identifiquen el

cambio de velocidad de los puntos de una onda plana al cambiar de medio y, por ende, la desviación de la misma.

Finalmente, con el experimento de la doble rendija, propuesto por Young, proponemos los literales F y G ; dónde pretendemos que los estudiantes construyan dicho experimento y comparen sus resultados con la actividad de la cubeta de ondas. La doble rendija podrá elaborarse con una cuchilla o, tal y cómo lo manifiesta Young, por medio de la punta de una aguja practicando dos ranuras muy cercanas entre sí. Al respecto pretendemos que los estudiantes reflexionen en torno al fenómeno de las interferencias de ondas. Lo cual se fundamenta en el planteamiento de Young de que dos ondas al chocar pueden ampliarse o anularse en determinados puntos.

La pretensión y, por ende, justificación de la presente actividad se vincula a la intención que tenemos de construir separadamente ambas perspectivas (geométrica y ondulatoria), en atención a lo planteado por Gómez y Flórez (2013) al considerar que la experiencia de los estudiantes puede ampliarse a través de la experimentación de nuevos fenómenos relacionados, que en nuestro caso se traduce en una amplia comprensión del concepto de refracción de la luz desde varias perspectivas.

Funcionamiento del ojo humano: Actividad experimental N° 3

Para el abordaje de la *Actividad Experimental N° 3* proponemos algunos experimentos que se amparan nuevamente en la solución de una situación problema cuyo

objetivo es el de esclarecer el papel de la refracción de la luz en el funcionamiento de la visión. Las actividades experimentales las proponemos a continuación:

**ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No 3:
FUNCIONAMIENTO DEL OJO HUMANO**

1. IDENTIFICACIÓN

1.1. **Conceptos a construir:** refracción, funcionamiento del ojo humano, lentes, distancia focal.
 1.2. **Grado:** 10
 1.3. **Duración:** 2 horas
 1.4. **Responsables:** Mónica María Ruiz Molina, Giovanni Albeiro Toro Montoya, Braulio Andrés Giraldo Valencia- Licenciatura en Matemáticas y Física
 1.5. **Plantel:** Institución Educativa Francisco Miranda

2. **OBJETIVO:** Elaborar diferentes situaciones experimentales en los cuales se logre identificar el funcionamiento del ojo humano, a partir de la manipulación y construcción de lentes y cámaras oscuras.

3. SITUACIÓN PROBLEMA

Orlando es un talentoso carnicero opita que distribuye carne en todas las carnicerías de la periferia huilense. Cierta día, desempeñando su labor, por error dejó caer el ojo de una vaca al piso, observando un líquido oscuro que caía de este. Inquieto, se dispuso a retirar lentamente una membrana del ojo, de dónde observó un comportamiento que le llamó la atención. Sucedió que al mirar a través del ojo, sus implementos de trabajo se veían invertidos, y que al hacerlo por diferentes lugares de su cocina, se seguía presentando ese comportamiento. Por ejemplo, cuando observaba la báscula, esta aparecía de cabezas, lo cual le intrigó aún más.

¿Cómo le explicarías a este curioso carnicero el comportamiento que observó en el ojo de la vaca?

3.1. PREGUNTAS ORIENTADORAS

CAMARA OSCURA

a. A partir de la construcción de la cámara oscura, ¿Por qué crees que la imagen observada se comporta así? describe tus observaciones.

b. ¿Cómo le aportarías eficacia a la cámara, es decir, cómo harías para lograr observar la imagen con mayor claridad? Realiza un dibujo que represente tu respuesta, basado en lo observado en la cámara oscura.

Figura 37: Actividad experimental 3 (Funcionamiento del ojo humano). Primera parte

- a. Construcción de una cámara oscura a partir del uso de cartulina negra y papel mantequilla, con el objetivo de mostrar cómo se invierten las imágenes al pasar los rayos de luz a través de un pequeño orificio (ver figura 10).
- b. A partir del uso de lupas, reglas y un trozo de papel, identificar la distancia focal de las lupas (ver figuras 61, 62 y 63), haciendo variaciones en las distancias. Lo

anterior nos permite hablar de algunas enfermedades del ojo humano que están relacionadas con las distancias entre los objetos y el ojo.

DISTANCIA FOCAL DE LAS LENTES

- c. ¿Por qué crees que a ciertas distancias se distorsiona la imagen sobre el papel y a otras se ve con total nitidez?
- d. Utilizando las lentes traídas a clase, utilizar la regla para medir la distancia a la cual se ve con mayor nitidez la imagen ¿cómo explicarías la formación de la misma? ¿Cómo influye la refracción de la luz en este comportamiento? realiza en dibujo en el cual representes la situación, es decir, de cómo se genera la imagen sobre el papel.
- e. Hasta el momento, ¿qué relación tendrán los dos experimentos abordados en la comprensión del funcionamiento del ojo?
- f. Basado en la previa actividad ¿Por qué crees que se dan las diferentes enfermedades visuales (presbicia, hipermetropía, miopía, cataratas)?

EXPERIMENTO SIMULACIÓN DEL OJO HUMANO

- g. ¿Cuál es la función de cada uno de los implementos utilizados en el experimento y que relación guardan con los elementos de ojo humano?
- h. ¿Qué variaciones harías al experimento para aportarle eficacia?

CONSTRUCCIÓN DE LENTES ARTESANALES

- i. A partir del uso de los materiales reciclables, realizar diferentes lentes y medir sus distancias focales. Realiza un dibujo que explique el fenómeno de refracción en las mismas.
- j. ¿por qué las lentes amplían o disminuyen las imágenes de los objetos?

DISECCIÓN OJO DE VACA

- k. ¿Por qué don Orlando observó las imágenes invertidas y reducidas?
- l. Realiza un dibujo, en el cual, expliques el funcionamiento del ojo humano, basado en las actividades experimentales hecha en la presente sesión.
- m. ¿Cómo se presenta la refracción de la luz en el comportamiento del ojo de la vaca?

Figura 38: Actividad experimental 3 (Funcionamiento del ojo humano). Segunda parte

- c. Montaje de una pecera con agua (ver figura 39), una linterna, una lupa y un trozo de papel con una letra dibujada. Por medio de esta situación se podrá simular el comportamiento del ojo humano cuando interviene una lente (frasco con agua).
- d. En este apartado se construyen lentes de manera artesanal; para ello se utilizan superficies curvas de

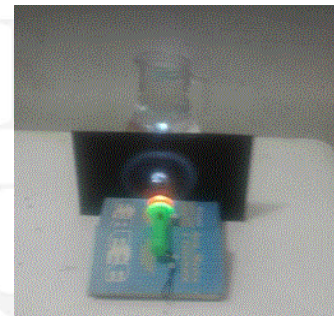


Figura 39: Experimento de la simulación del ojo humano. Giovanni Toro.

botellas plásticas, jeringas, pegamento industrial y bicarbonato. Al unir dos superficies curvas, sellar con pegamento y bicarbonato e introducir agua en ellas (ver figura 65), se genera una lente que permite el paso de los rayos de luz, atendiendo al fenómeno refractivo. A partir de este montaje se propone la solución de las literales *I* y *J* (Ver figura 38).

- e. Finalmente, nosotros hacemos una disección de un ojo de vaca (ver figura 29), con el objetivo de observar a través de él imágenes invertidas, de dónde se propone la solución de los literales *K*, *L* y *M* (Ver figura 38).

Justificación actividad N°3

La tercera actividad: *Funcionamiento del ojo humano*, la ubicamos sobre la necesidad, Según Gómez y Flórez (2013), de ampliar el conjunto de experiencias relacionadas con el fenómeno de la refracción, ya que consideramos que así podemos fortalecer tanto nuestro conocimiento como el de nuestros estudiantes. Adicionalmente, Arcà *et al* (1990) establecen un vínculo entre el conocimiento común y el conocimiento científico, que en nuestro caso se ubica en la consideración del ojo humano como un elemento propio del conocimiento común, de cuyo funcionamiento deseamos llegar al conocimiento científico, en relación con la refracción de la luz.

Priorizamos la comprensión del funcionamiento del ojo desde algunas fases experimentales. Inicialmente deseamos situar una actividad experimental que permita invertir las imágenes de los objetos, para lo cual nos remitimos a Da Vinci (1651, 1998) en lo referente a la construcción de la cámara oscura, ya que logró asemejar el funcionamiento del ojo humano al comportamiento de una cámara oscura. Al respecto, en los literales *a* y *b* (ver figura 35) pedimos

la ilustración de la observación a través de la cámara, además de la propuesta de un método que aportase calidad a la imagen generada.

La segunda actividad experimental se basa en la identificación de la distancia focal de las lentes mediante el uso de lupas y reglas. Su objetivo radica en comprender cómo se da la formación de las imágenes en una lente al variar las distancias y de cuál es la función de una lente en el funcionamiento del ojo humano. Al respecto Young (1807) realiza el análisis en torno a las lentes y establece algunas de sus prioridades de acuerdo a la medición de las distancias. Newton estudió la refracción en las lentes para referirse al concepto de refrangibilidad. A propósito formulamos los literales c , d , e y f , en dónde pedimos medir las distancias entre las imágenes y los objetos y establecer relaciones entre el comportamiento de la lupa y el funcionamiento del ojo humano.

Los literales g y h los desarrollamos a partir de la actividad experimental de la simulación del ojo humano, en la cual logramos identificar algunas características de los elementos que componen al ojo humano, lo cual fundamentamos en lo expuesto por Da Vinci (1651, 1998) en el anterior capítulo al describir las funciones de dichos elementos; él plantea, además, que se presenta el fenómeno de la refracción en el ojo al llegar la luz a algunas pieles transparentes o humores del ojo.

Finalmente, proponemos los literales k , l y m a partir de lo expuesto por Young (1807) al diseccionar el ojo de un buey y al plantear que la imagen que se forma en la retina se invierte respecto al objeto. La intención de la presente actividad se sitúa en presentar un conjunto de experimentos relacionados que, conjuntamente permiten la comprensión del funcionamiento del ojo humano, al priorizar el papel de la refracción de la luz.

Basados en el funcionamiento del ojo humano, consideramos agrupar en una misma actividad experimental aquellos elementos que caracterizan su funcionamiento, iniciamos por la construcción de la cámara oscura, la identificación de la distancia focal de las lentes, la identificación del comportamiento del ojo desde la refracción, la bisección de un ojo de vaca y la construcción conjunta de lentes con diferentes sustancias, a partir de la utilización de materiales reciclables.

En general, la intención de la presente actividad experimental se basa en la necesidad de acudir al experimento para comprender el funcionamiento del ojo humano, teniendo en cuenta lo planteado por Campbell al manifestar que hay leyes experimentales, en este caso la refracción de la luz, que sería imposible conocer a falta de experimentos, ya que no son evidentes por sí mismas.

La refracción desde el estudio de las lentes con materiales de fácil acceso. Actividad experimental N° 4

La cuarta actividad experimental, titulada *La refracción desde el estudio de las lentes con materiales de fácil acceso* (Ver figura 40), se desarrolla a partir del uso elementos reciclables, en función de ampliar el conocimiento respecto al fenómeno de la refracción. Las situaciones experimentales abordadas se suscitan como sigue:

- a. El experimento de una botella de plástico llena de agua y un trozo de papel con una flecha apuntando en un sentido. La intención de la actividad es la de observar



ACTIVIDAD EXPERIMENTAL N° 4:

LA REFRACCIÓN DESDE EL ESTUDIO DE LAS LENTES CON MATERIALES DE FÁCIL ACCESO

4. IDENTIFICACIÓN

4.1. **Conceptos a construir:** refracción de la luz.

4.2. **Grado:** 10

4.3. **Duración:** 2 horas

4.4. **Responsables:** Mónica María Ruiz Molina, Giovanni Albeiro Toro Montoya, Braulio Andrés Giraldo Valencia- Licenciatura en Matemáticas y Física

4.5. **Plantel:** Institución Educativa Francisco Miranda

5. **OBJETIVO:** Construir experimentalmente el concepto de refracción desde el análisis de diferentes elementos de fácil acceso, que prioricen en identificar la aplicabilidad de la física en la cotidianidad.

6. SITUACIÓN PROBLEMA

Calixto es un experimentado optómetra que diariamente recibe a un gran número de pacientes en su consultorio. Su jefe, recientemente, le ha solicitado dictar una charla sobre la función de los anteojos en la vista de las personas, sin embargo, se le ha encontrado confundido ya que no sabe que ejemplos utilizar para explicar dicho comportamiento. Octavio, un amigo suyo fabricante de lentes, le dijo que podía utilizar elementos como botellas, gotas de agua, trozos de vidrio y, en general, un sin fin de materiales más para explicar la función de las lentes en la visión. ¿Cómo le ayudarías a Calixto a construir una explicación coherente de la función de los anteojos, basada en la recomendación que le dio Carlos?

6.1. PREGUNTAS ORIENTADORAS

- a. ¿Cuál crees que es la función de los anteojos en la mejora de la visión, y por qué crees que Octavio recomendó dichas situaciones a Calixto?
- b. ¿Qué relación tiene el experimento observado, con el funcionamiento de las lentes en los anteojos?
- c. En relación a las actividades desarrolladas en la sesión anterior, ¿por qué el dedo se curva al introducirse en agua y que relación guarda este comportamiento con el estudio de las lentes?
- d. ¿Por qué los optómetras recomiendan anteojos a las personas que no ven de lejos y a las personas que ven de cerca? ¿En qué variará de uno a otro caso?
- e. Teniendo en cuenta el experimento pasado, ¿Qué relación puede establecerse en la construcción de una explicación de lo observado en ambas situaciones?

Figura 40: Actividad experimental 4 (La refracción en el estudio de las lentes con materiales de fácil acceso)

cómo la flecha cambia de sentido al observarla a través del recipiente (ver figura 67)³⁹.

³⁹Tomada de <https://www.youtube.com/watch?v=t4iSY03-MSM> el 20 de agosto de 2016.

- b. Posteriormente, el experimento de la gota de agua⁴⁰ en el cual se simula un microscopio casero. Con ayuda de un láser apuntando a una gota de agua turbia que se posa en el extremo de una jeringa, se observa en una pantalla distinta el movimiento de algunas bacterias. El ejercicio se hace utilizando diferentes sustancias (ver figura 68)
- c. Retomamos el experimento del dedo o pitillo introducido en un vaso de agua, con el objetivo de establecer características afines con el estudio de la refracción en lentes (ver figuras 7 y 46).

Justificación actividad experimental N°4

La cuarta y última actividad experimental la tornamos alrededor de los experimentos en refracción en lentes, a partir del uso de materiales de fácil adquisición. Con este apartado mostramos que es posible abordar el concepto de refracción experimentalmente con el uso de materiales que están a nuestras manos, con materiales reciclables.

De igual manera, tal y como tratamos en apartados anteriores, nos situamos en el concepto de refracción en lentes desde el uso de materiales de fácil acceso, con el objetivo de mostrar que el experimento en óptica y, en general, en física es posible de llevar al aula. Con ello, estamos en procura del cuidado de nuestro medio ambiente.

Para abordar la última actividad experimental, quisimos reunir algunos elementos que consideramos importantes para comprender el rol del experimento en la clase de física, situados en aportes de Da Vinci, Newton y Huygens en relación a la facilidad con la cual se

⁴⁰ Tomada de <https://www.youtube.com/watch?v=Mpq2PLVHmuE> el 10 de febrero de 2016

puede construir un experimento. La refracción no es ajena a estos aportes ya que, precisamente, es el fenómeno que pretendemos construir por medio de la presente actividad.

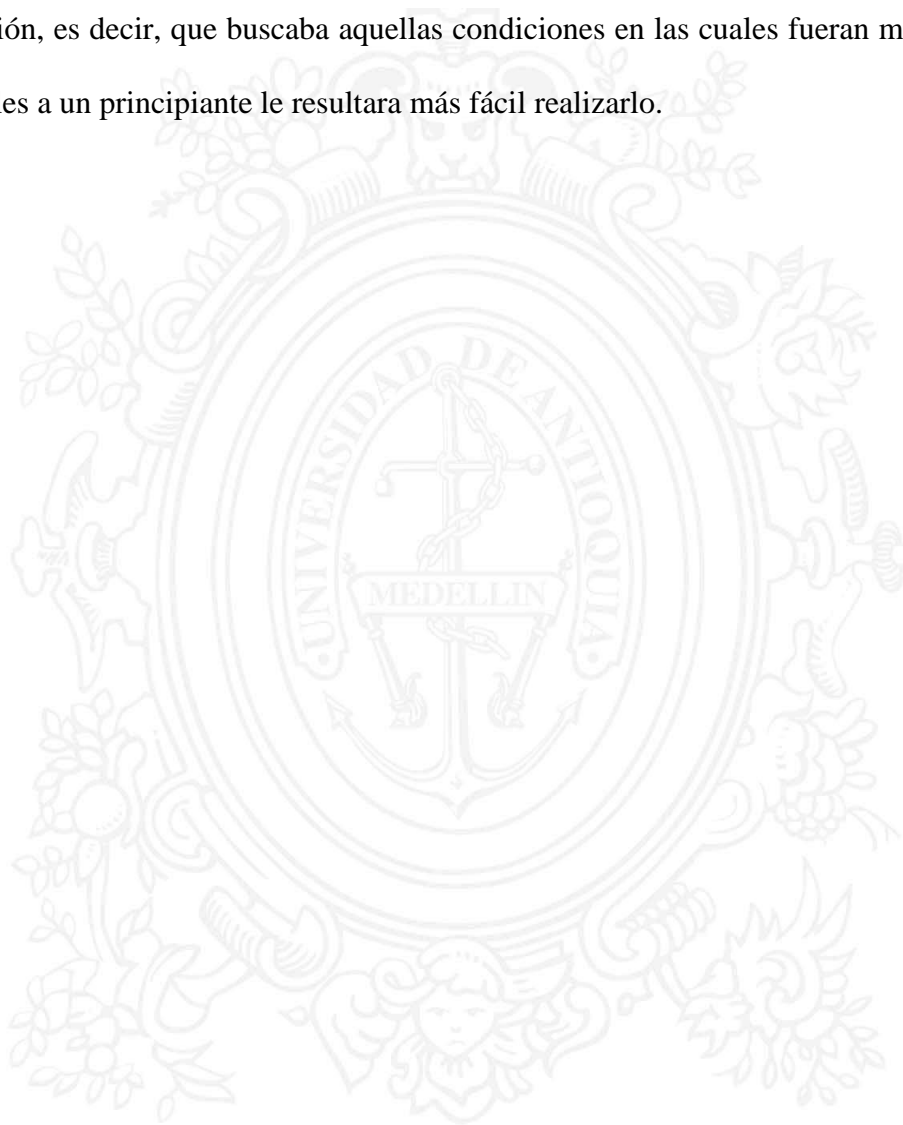
Nace de una situación problema (ver figura 40) que gira en torno a un optómetra que debe dictar una conferencia sobre la función de los anteojos en la visión, de donde proponemos algunas preguntas orientadoras. Al respecto, el literal *a* surge a partir de la situación de la botella plástica llena de agua en la cual se invierte la flecha (ver figura 67), para lo cual nos basamos en lo expuesto por Da Vinci, y que analizamos en el capítulo anterior, en dónde plantea que al utilizar un vaso lleno de agua en el pretil de una ventana se pueden observar los colores del arcoíris a causa de la refracción.

Los literales *b* y *c* surgen a partir del experimento del dedo introducido en el vaso con agua (ver figura 7), en dónde pedimos al estudiante que relacione lo observado con la función de los anteojos en la visión. Al respecto nos basamos en Newton (capítulo anterior), quien utilizó lentes para observar cómo se generan las imágenes. A su vez Huygens plantea que la refracción es vista de múltiples formas, haciendo referencia a que la generación de las imágenes no se restringe al uso de superficies cristalinas, dado que existe, por ejemplo, una refracción atmosférica, tal y como abordamos en el capítulo anterior.

Los literales *d* y *e* son el resultado de la actividad en la que proponemos la construcción de un microscopio casero, para lo cual nos situamos en Da Vinci al considerar la formación de los colores con el simple hecho de tener un vaso con agua entre el aire y nuestros ojos. Lo cual se traduce en la visualización de las bacterias (ver figura 68) en la gota de agua por medio del fenómeno de la refracción. Lo anterior lo vinculamos a la explicación de la refracción desde la fenomenología de la visión.



Finalmente, resaltamos que Newton hacía que sus experimentos fueran de fácil reproducción, es decir, que buscaba aquellas condiciones en las cuales fueran más visibles, en las cuales a un principiante le resultara más fácil realizarlo.



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

CAPÍTULO IV: El papel del experimento en la enseñanza de la óptica: una reflexión pedagógica de nuestro quehacer docente


Caracterización del lugar en que desarrollamos la propuesta: Actores decisivos en nuestro proceso investigativo narrativo

Comencemos hablando del lugar en el cual desarrollamos nuestro proceso de práctica: La Institución Educativa Francisco Miranda del sector el Bosque de la ciudad de Medellín, institución que alberga estudiantes de estratos 1, 2 y 3. Al comienzo fue difícil enfrentarnos por primera vez a nuestros grupos, dirigir las clases y atender a aspectos tales como la disciplina, el respeto y cumplimiento de las normativas institucionales. Sin embargo, cabe aclarar que todo fue posible gracias a la ayuda de nuestro profesor cooperador Julián Medina⁴¹.

Iniciamos la práctica en el segundo semestre del año 2015, distribuidos en los grupos once, décimo y noveno en las áreas de física y matemáticas, con jóvenes cuyas edades oscilan entre los 14 y 18 años. Al respecto consideramos valiosos los aprendizajes, ya que, notamos que gran parte de los conocimientos de los maestros se forjan en el aula; precisamente, en la interacción maestro alumno, en las discusiones y debates que se generan en torno a determinadas temáticas propias de cada área. Además, damos valor a las recomendaciones que nos dio el docente cooperador cuando era partícipe de nuestras intervenciones en el aula, brindándonos consejos prácticos sobre cómo orientar las discusiones, cómo hacer preguntas

⁴¹ Quien además es docente de cátedra de la Universidad de Antioquia y pertenece al grupo ECCE (Estudios Culturales sobre la Ciencia y su Enseñanza).

al estudiante, cómo actuar ante las faltas cometidas por ellos y, en general, cómo fortalecernos pedagógicamente en función de enseñar física con sentido y responsabilidad.



PROTOCOLO DE COMPROMISO ETICO Y ACEPTACION DE LOS PARTICIPANTES EN LA INVESTIGACIÓN

Nombre de la investigación: Construyendo una narrativa en torno a la articulación de las perspectivas geométrica y ondulatoria de la luz: el fenómeno de la refracción desde una mirada experimental¹

Investigadores: Olga Luz Dary Rodríguez Rodríguez, Mónica María Ruiz Molina, Braulio Andrés Giraldo Valencia y Giovanni Albeiro Toro Montoya.

Esta investigación tiene como propósito elaborar y argumentar una propuesta pedagógico-didáctica, con la cual logremos estructurar una estrategia de enseñanza que articule las concepciones ondulatoria y geométrica de la óptica, basada en el estudio de la refracción en las lentes, desde nuestras experiencias como docentes y estudiantes de física, y que enriquezca nuestra reflexión y quehacer docente.

La investigación propone como protagonista al maestro en formación del grado décimo de la Institución Educativa Francisco Miranda, por lo cual, se considera como espacio de reflexión el aula de clase y las experiencias que de ella se desprenden, las cuales involucran tanto al docente en formación como a los estudiantes.

En virtud de lo anterior, les comunicamos que los estudiantes del grado 10 __ del 2016 de la I.E. Francisco Miranda son partícipes de esta investigación y les solicitamos su aceptación como representantes legales de los jóvenes 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.

_____	_____
Olga Luz Dary Rodríguez Rodríguez	Mónica María Ruiz Molina
_____	_____
Braulio Andrés Giraldo Valencia	Giovanni Albeiro Toro Montoya

Nombre del participante: _____

Firma del acudiente: _____ Identificación: _____

¹ Resaltamos que el título del trabajo puede ser susceptible a cambios ya que, como lo mencionamos previamente, éste corresponde a una propuesta en construcción y, por ende, en constante transformación.

Figura 41: Protocolo ético que utilizamos para la implementación de nuestra propuesta

Resaltamos la primacía del profesor Julián por propiciar situaciones experimentales en las cuales se pusiera de manifiesto el papel de la física en la cotidianidad de los sujetos, la generación de interrogantes que forjaran caminos hacia la comprensión de los conceptos físicos. En general, fueron valiosos sus aportes, ya que, nos ayudaron a construir una identidad docente situada en dar valor al experimento en la clase de física, al propiciar situaciones que reten al estudiante a intervenir, a hacer uso de lo que sabe desde su contexto particular.

La segunda práctica inició en el primer semestre del 2016, correspondió a la implementación de la propuesta, que presentamos en el capítulo anterior, en los grupos décimos de la institución (10-1, 10-2 y 10-3) con estudiantes cuyas edades oscilan entre los 14 y los 18 años. Resaltamos que cada uno de nosotros estaba a cargo de un grupo, por lo cual, la implementación, que sistematizamos en el apartado siguiente, recoge los hallazgos significativos de instaurar una actividad reflexiva. Sin embargo, debemos aclarar que la información que aquí presentamos está validada por un protocolo ético (figura 41), con el cual, tanto estudiantes como acudientes nos dieron su autorización para utilizar en la presente investigación la información recopilada, distribuida en videos, material fotográfico, encuestas y demás actividades escritas.

Resaltamos que los análisis se sitúan en la totalidad del curso, es decir que las evidencias de las actividades no se restringen a un grupo reducido de estudiantes, al situarse en las construcciones de los estudiantes de los grados 10-1, 10-2 y 10-3 de las Institución Educativa Francisco Miranda. Esta condición de libertad de elección nos es otorgada por el estudio mismo de las narrativas autobiográficas, al constituir un campo de investigación

autónomo situado en la particularidad del contexto y en la necesidad dar a conocer nuestra práctica. Así, consideramos pertinente analizar los resultados de todos los estudiantes involucrados, retomando la información que creímos podría ser pertinente para nuestra reflexión narrativa del fenómeno de la refracción de la luz.

Nuestras participaciones en eventos académicos: una posibilidad de aprender y compartir saberes

Durante el proceso de nuestra práctica profesional, tuvimos la oportunidad de participar en algunos eventos de tipo académico que nos permitieron compartir los resultados de nuestro proceso, y de igual manera aprender de las diferentes experiencias educativas que se presentaron en torno a la enseñanza de la física y las matemáticas, además del estudio de la pedagogía. La primera participación correspondió al mes de agosto de 2015, al hacer presencia en el encuentro *Educación y Calidad: el Rol de los Maestros*, desarrollado en San Jerónimo, Antioquia. Allí, con Toro, Giraldo, Rodríguez y Ruiz (2015a), realizamos un avance significativo de nuestro proceso investigativo, al asociarlo al aspecto de la calidad de la educación.

En el mes de noviembre, tuvimos la oportunidad de participar en *2do Encuentro de Estudios Históricos para la Enseñanza de las Ciencias y 5to Encuentro Nacional Sobre la Enseñanza de la Mecánica*. Se desarrolló en la Universidad Pedagógica de ciudad de Bogotá, y según Toro, Giraldo, Rodríguez y Ruiz (2015b), se expusieron trabajos concernientes a la enseñanza de las ciencias experimentales. Nuestra participación fue positiva, ya que nos permitió corregir aspectos disciplinares y epistemológicos, que aportaron a la construcción de la propuesta. En dicho momento nos encontrábamos cursando la práctica I.

El año 2016 logramos participar en el *XII Congreso Iberoamericano de historia de la educación, CIHELA 2016*, desarrollado en la Universidad de Antioquia. Con Toro, Giraldo, Rodríguez y Ruiz (2016a), se compartieron experiencias docentes situadas en la historia de la educación latinoamericana, que en nuestro caso priorizo en la enseñanza de la óptica.

Finalmente, en el mes de Septiembre de 2016, logramos participar en el *3° Simposio Internacional de Narrativas en Educación: Infancias, Maestros, Estéticas, Pedagogía de la Memoria*, el cual se desarrolló en la Universidad de Antioquia. La participación en este último, según con Toro, Giraldo, Rodríguez y Ruiz (2016b), nos permitió enriquecer pedagógicamente nuestra propuesta al mostrarnos un panorama amplio del estudio de las narrativas a nivel, tanto local como internacional.

Construcción del concepto de refracción: rol de la dimensión experimental

El experimento en las clases de física es un elemento activo en la enseñanza, que no puede ser omitido ni reemplazado y necesariamente tiene que estar conectado con el



Figura 42: Exploración del fenómeno de refracción con un pitillo en el agua. Kevin, 10-1

conocimiento común. Este último, como mencionamos con Arcá *et al.* (1990) en el capítulo II, corresponde al conjunto de conocimientos no formales que se ganan por medio de la experiencia. Por ello, antes de iniciar cada una de las actividades experimentales, dispusimos de un tiempo prudente para que los estudiantes compartieran con nosotros y con su grupo las vivencias relacionadas con el tema en cuestión.

En la primera propuesta experimental abordada en el capítulo anterior, pretendimos construir el concepto de refracción con los estudiantes mediante el planteamiento de la situación problema, que proponemos en el capítulo anterior (ver figura 34). Dado que la actividad aludida era pescar, determinamos invitar a los alumnos a compartir las experiencias que tuvieran sobre esta práctica. Uno de ellos, manifestó que usualmente utilizaba una técnica llamada spinning que consiste en lanzar señuelos artificiales para provocar la picada de algún pez. Con el comentario del estudiante se generó mayor interés de los compañeros, quienes tuvieron alta disposición para la actividad (ver figura 32) y, a su vez, nos llevó considerar la importancia de entablar discusiones previas encaminadas a algún tema en particular, en éste caso, desde el abordaje de la situación problemática. Lo anterior nos permite reflexionar en torno al importante papel que juega el aspecto de involucrar situaciones cercanas al estudiante, que permitan entablar debates al respecto y, a su vez, nos permitan a los docentes preparar las condiciones previas a la actividad experimental.

Después, los estudiantes hicieron exploraciones en grupo, concernientes al comportamiento de un pitillo en el agua (figura 43), de sus propios dedos y, finalmente, de un rayo de luz emitido por un apuntador laser como el presentado en las figuras 33, siendo de fácil adquisición.

Algunos estudiantes, motivados por la exploración con el pitillo, hicieron intervenciones en las cuales notamos que asumieron la luz como un cuerpo sólido o como la constitución de una infinidad de partículas. Esta categorización concuerda con lo planteado por Newton sobre su perspectiva corpuscular de la luz, y que abordamos en el capítulo 2. Lo anterior nos ayuda a visualizar cómo la dimensión experimental en la enseñanza posibilita la descripción y explicación que damos a los diferentes fenómenos, la comprensión de las fenomenologías asociadas a la luz: la refracción para este caso.

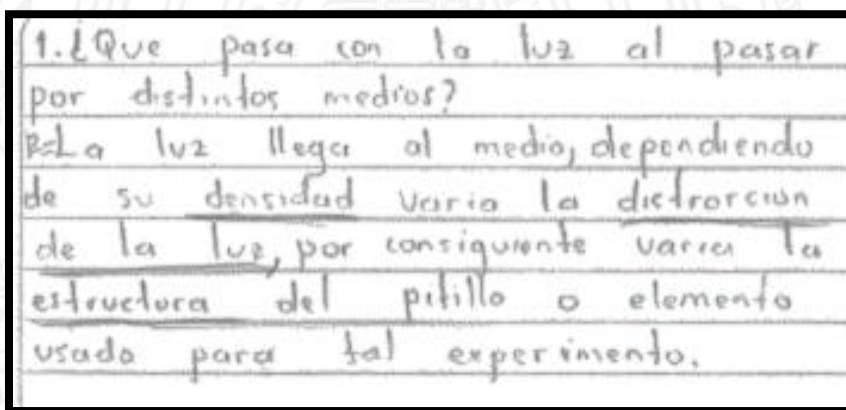


Figura 43: Explicación relacionada con la estructura del cuerpo en el agua. Ingrid, 10-3

En la figura 43 mostramos cómo para una estudiante la refracción es representada mediante una distorsión debida a la variación de la estructura del cuerpo que ingresa al agua; en el experimento abordado inicialmente, el del pitillo (figura 7), se presenta una distorsión al cambiar de medio, lo que análogamente ocurre con la luz (figura 33), en cuyo caso es necesario mencionar que en las sesiones correspondientes a esta actividad los estudiantes señalaron que de alguna forma el agua frena el recorrido de la luz o del pitillo, e igualmente sucede cuando se trata de aceite. Esto lo conectamos con la explicación ondulatoria que proporciona Huygens para la refracción, porque él indica que la onda de luz se tarda más en

propagarse al cambiar de medio debido a los pequeños desvíos que encuentra en el camino, manifestados en obstáculos que generan una disminución en la velocidad de la onda.

Este análisis lo encontramos también en la imagen que sigue (Figura 44), quien hace también una observación sobre la *velocidad*.



Figura 44: Explicación que involucra la densidad y la velocidad. Camila, 10-3

La refracción en esta interpretación no discrimina entre distintas velocidades, pues es generalizada al decir que se presenta a cualquier velocidad con la que cambie un objeto de medio. Independientemente que hayamos sumergido el pitillo lento o rápidamente, la desviación del objeto se dará, de manera análoga, lo hará la luz.

A continuación, presentamos otra respuesta de un estudiante que menciona explícitamente los *rayos* (ver figura 45).

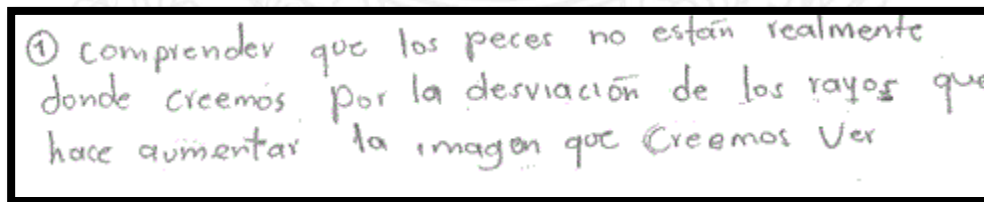


Figura 45: Explicación que recurre a la desviación de los rayos. Hugo, 10-2

La figura anterior (figura 45) muestra una explicación bastante estructurada que implica que los rayos de luz se desvían ampliando la imagen que vemos de los objetos que sumergimos en el agua.

Señalamos que la elaboración de explicaciones referentes a un evento físico sólo se realiza por medio de un análisis proveniente de aquello que los sentidos proporcionan, en relación a explicaciones racionales que desarrollamos para ello.

Consideramos importante referir que en la exploración con el pitillo muchos estudiantes se sorprendieron al observar que el pitillo “desaparecía” al ubicarlo en un costado del recipiente, visto de frente (figura 46). La aparente desviación del pitillo es atribuida al fenómeno refractivo, que se presenta al cambiar de medio. Al respecto mencionamos a Da Vinci, en el capítulo 2, quien plantea que un lápiz u objeto material es observable al ser considerado como un chorro que alberga líneas de luz, rayos.

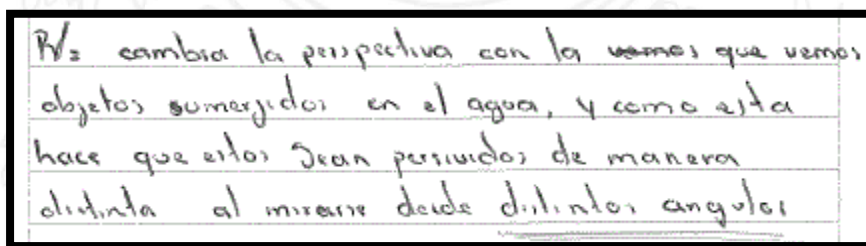


*Figura 46: Exploración con el pitillo a un costado del recipiente.
Andrés, Diego y Julián, 10-1*

La reacción de asombro manifestada por los estudiantes muchas veces es ajena a nosotros los maestros, en la medida en que pasamos por alto circunstancias propias del aula que merecen nuestra total atención, al minimizar el valor de las interrogantes de los estudiantes. Por ello nos sentimos llamados motivar nuestras mentes a observar el mundo con curiosidad, en una búsqueda de representaciones y significaciones que nos aporten detalles de lo que observamos, que fortalezcan nuestro proceder investigativo innato y que nos permitan aprender de nuestras experiencias docentes.

Ahora, presentamos una respuesta en la que se incluye el observador explícitamente en la visualización del fenómeno; al respecto Schrödinger, en el capítulo 2, nos dice que la percepción sensorial directa del fenómeno nada dice sobre su naturaleza; sin embargo, nos permite identificar características que luego nos posibiliten establecer interpretaciones respecto al fenómeno.

Una estudiante manifiesta que la forma en que vemos los objetos en el agua depende del observador que esté involucrado (ver figura 47). Leemos su interpretación como una relación entre la posición donde nos ubiquemos y la ubicación espacial del objeto, es decir, las características espaciales del observador. Al respecto encontramos pertinente relacionar estas características con el proceder de Newton, mencionado en el capítulo 2, al hacer leves variaciones en los ángulos de un prisma para obtener las franjas de colores propios del espectro visible (figura 14). Lo cual nos lleva a inferir que el papel del observador es clave en la interpretación de los fenómenos



R/: cambia la perspectiva con la vemos que vemos objetos sumergidos en el agua, y como esta hace que estos sean percibidos de manera distinta al mirarse desde distintos ángulos

Figura 47: Relación de lo observado con el observador. Yesica, 10-3

En esta misma línea vemos que los estudiantes incluyen los ángulos de observación para relacionarlos directamente con la percepción del fenómeno. Aunque no dan luces en esta explicación de la forma en que varía esta percepción, vemos que se inicia una búsqueda de las variables que inciden en la interpretación del fenómeno y posterior comprensión, particularmente desde la refracción de la luz.

Al respecto, cuatro estudiantes del grado 10-1 se acercaron a la interpretación del fenómeno, planteando lo siguiente:

Cualquier superficie que se introduzca en el agua, aumentará su volumen, por eso sugerimos tirar el arpón un poco atrás, porque el pez que se atrapará no es tan grande como lo vemos desde afuera del agua, sino que éste es más pequeño, por ende, el arpón siempre debe tirarse más atrás del pez.

La palabra “superficie” que usan estos estudiantes, la interpretamos como la cara plana que podemos ver de un objeto tridimensional. En este sentido, interpretamos que los estudiantes quisieron explicar que un objeto sumergido en el agua, aunque conserva sus proporciones, se ve más ancho y más largo.

Después exploramos con una moneda vertiéndole un vaso de agua lentamente para ampliar la observación del fenómeno de refracción (figura 48), actividad que se fundamenta en la figura 34 del capítulo 3.



Figura 48: Observación de la moneda y el vaso con agua.
Daniela, 10-1

En esta parte los estudiantes propusieron variar la posición de la moneda, tanto debajo del vaso como dentro del él. Allí notamos cómo el experimento promueve el idear estrategias

en función de conseguir un objetivo: comprender el fenómeno de la refracción de la luz desde su construcción conceptual.

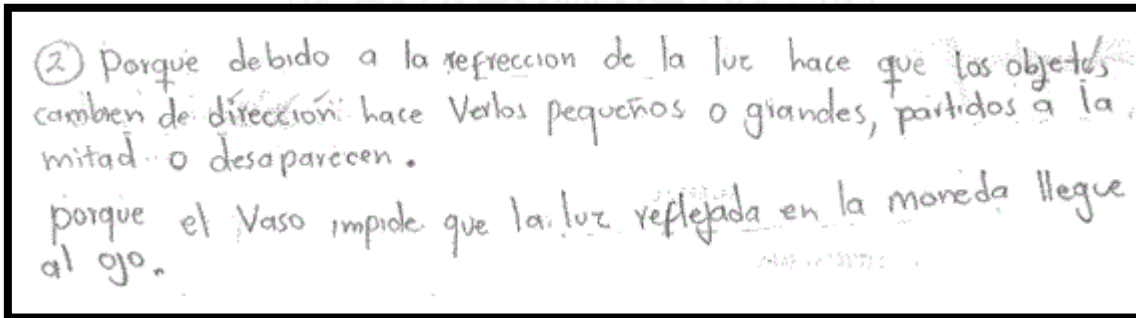


Figura 49: Explicación refracción y relación con la moneda. David, 10-3

También, destacamos la creatividad como parte importante de los procesos de conceptualización, ya que inicialmente no habíamos considerado para la actividad variar la posición de la moneda (figura 49) y los estudiantes nos muestran otros caminos que no habíamos considerado, sumergiéndonos en el análisis de las variantes de la actividad propuesta, es decir, permitiéndonos comprender que hay otras variables involucradas que determinan el acercamiento a la actividad experimental.

En respuesta a lo que observamos con la moneda los estudiantes respondieron lo siguiente (figura 49):

Esta intervención nos muestra que la refracción de la luz puede ocasionar varias percepciones de los objetos al cambiar de medio. Además explica que si miramos desde arriba la moneda cuando está dentro del vaso, la seguiremos viendo porque el vaso no se encuentra interpuesto entre el ojo y la moneda. Esto es porque, cuando la observamos a través del vaso, seguía viéndose partida al ubicarla en una esquina, pero al verla desde arriba sólo ocasionaba el efecto de aumento. Si ubicamos la moneda debajo del vaso e intentamos observar desde arriba, no la logramos visualizar.

El contraste entre estas dos percepciones causó gran confusión ya que, como expresamos, no se habían cambiado los materiales del experimento ni tampoco la cantidad de agua, sólo varió la forma en que observaron el experimento, la perspectiva. En este punto los consensos finales fueron alrededor del material del vaso en la base y en la periferia, ya que comprendieron que no todos los materiales permiten el paso de luz, lo cual llevó a una relación con los diferentes materiales transparentes que conocemos.

En este punto, subrayamos que el experimento en clase suscita un intercambio de ideas permanentes para hacer consensos, ya que orienta la toma de decisiones tanto para los procesos de observación como para los de conclusión; además, promueve la creatividad en torno a la solución de problemas como el que planteamos al iniciar la actividad experimental (figura 34).

En la parte final de la actividad propiciamos una situación en la que los estudiantes establecieran relaciones entre las medidas de los ángulos incidentes y los refractados (figura 46). Esto se hizo con varias sustancias que están al alcance cotidiano tales como aceite, leche, glicerina, alcohol, entre otras, para llegar a relaciones matemáticas que se encuentran necesariamente en los procesos de conceptualización; en concordancia con lo expuesto por Young, en el capítulo 2 de la presente investigación, al considerar la relación entre los ángulos incidente y refractado de acuerdo a aspectos trigonométricos (senos de los ángulos).

Esta parte enriqueció el trabajo inicial, puesto que los estudiantes por deducciones propias, identificaron la densidad de los medios a través de los cuales varía la luz en la determinación de los grados en los que se refracta. Esto surgió en el contraste de los diferentes materiales del medio; que luego fueron abordados en las actividades experimentales siguientes.

Para concluir, sostenemos que el experimento promueve el desarrollo de la observación reflexiva y analítica de los fenómenos, que vemos con una intención de comprensión; ya que ayuda a desarrollar habilidades de comunicación sobre aquello que apreciamos, y nos ayuda a ser más organizativos en cuanto a los procesos que emprendemos. Al respecto consideramos importante resaltar que la reflexión analítica en torno al fenómeno de la refracción y, generalmente, a la física, nos permitió propiciar situaciones experimentales situadas, en este caso, en la construcción de un concepto: la refracción. La actividad experimental, a su vez, nos aporta cuantiosos elementos de reflexión al permitirnos observar otras formas de orientar una clase de física.

Esta actividad experimental nos permitió conocernos como maestros en esta etapa inicial, de establecer campos paralelos entre la práctica de enseñanza y aspectos que competen directamente con nuestra formación escolar y, posteriormente, desde el seno de nuestra formación universitaria. Notar que muchas veces no consideramos otras maneras de organizar, que desconocemos otras formas que facultan el proceso de observación, otras formas de percepción que, tal y como abordamos en el capítulo 2 con Schrödinger, son decisivas al momento de comprender un fenómeno.

La refracción, desde las perspectiva mecánica ondulatoria, en relación a la perspectiva geométrica de la luz: Relación teoría experimento.

En esta segunda actividad abordamos un análisis de las situaciones experimentales diseñadas, con el propósito de fundamentar teórica y experimentalmente, consideraciones de nosotros como maestros y de los estudiantes, en función del modo de describir el fenómeno

de la refracción. Para ello, tal y cómo abordamos en el capítulo 2, consideramos los aportes de los estudiantes en función de comprender una teoría.



Figura 50: fases de la construcción del experimento de la cubeta de ondas. Pablo, 10-2

Las actividades de la guía, están diseñadas con la intención que maestros y estudiantes reflexionemos bajo una mirada experimental, en la cual se logre dialogaren torno al fenómeno de la refracción de la luz. El taller lo trabajamos en grupos de cuatro y cinco estudiantes, al considerar la oportunidad de socializar, es decir, propiciar debates entre los integrantes del grupo en torno comportamiento mecánico de la refracción de la luz en la cubeta de ondas. El trabajo tiene el objetivo de justificar las situaciones propuestas en clase, en las que se ubicó el pitillo en cuatro posiciones diferentes (figura 50), las cuales nos llevaron a aspectos tales como: primero, el relacionado con las situaciones e instrumentos que posibilitaron percibir el fenómeno; segundo, los factores que contribuyeron a la formación de ondas, al utilizar una cubeta, que facilitó el abordaje del fenómeno.

Este modo de trabajo en el aula nos permitió asumir un trabajo colaborativo, ya que conocimos diferentes interpretaciones en torno al comportamiento de las ondas en la cubeta, con el fin de llegar a un esquema que permitiera a los estudiantes realizar representaciones alrededor de la situación experimental (ver figura 51)

En la representación (figura 51), ubicamos el pitillo en la mitad de la cubeta, y al respecto los jóvenes de este grupo dibujaron las ondas circulares y argumentaron que conservaban un espacio igual entre cada una de ellas, por lo cual tendrían más espacio para

propagarse. Además, entre más fuerte era el movimiento del vibrador (figura 53), mayor era la frecuencia de las ondas.

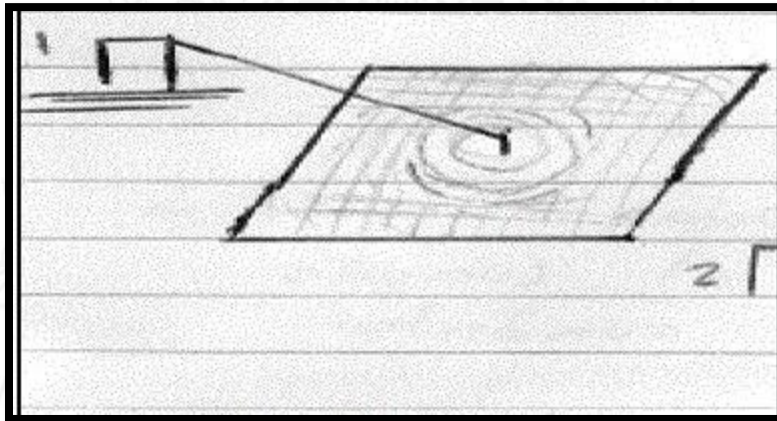


Figura 51: Esquema de la onda circular en el centro de la cubeta de ondas.
Julián y Brando, 10-2

En la figura 52 destacamos la utilización del pitillo en un extremo de la cubeta, lo que nos permitió observar que las ondas se forman en círculos, pero al llegar al extremo superior la onda se reflejaba, que en palabras de los estudiantes correspondía a un “rebote”; en consecuencia, podríamos pensar que las ondas se originan infinitamente, pues no había ninguna fuerza externa que las detuviera, es decir que dentro de la cubeta iban a estar sometidas a una reflexión constante.

Con el fin de tener más elementos para ayudarle a Pinocho y a Pepe Grillo, tal y como planteamos en la Actividad experimental N°2 abordada en el capítulo anterior, formulamos la siguiente pregunta, la cual fue discutida en clase: *¿Cómo y por qué se puede dar el fenómeno de refracción en la cubeta de ondas?* Un grupo respondió así:

“las ondas de refracción pueden darse y observarse según su velocidad, y la posición del vibrador, provocado la dirección de un reflejo”.

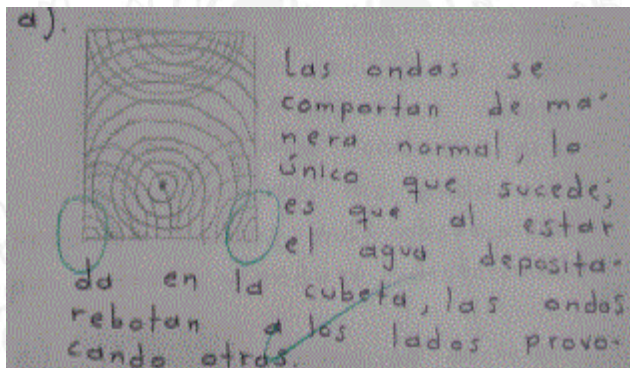


Figura 52: Descripción de la onda circular en un extremo de la cubeta de ondas. Diego, Andrés y Karol. 10-1

Sin embargo, encontramos que los resultados de las observaciones variaban de acuerdo a la actividad, ya que varios grupos dieron sus respuestas en función de la influencia del observador. Al respecto unas estudiantes plantearon que para ellas las ondas se veían diferentes cuando atraviesan diferentes medios, llevándonos a dar valor a aquellos espacios en los cuales se generan debates en el aula, ya que gracias a ellos abrimos las puertas a una gran cantidad de interpretaciones posibles que, conjuntamente, pueden fortalecer los procesos de enseñanza y aprendizaje de la física.

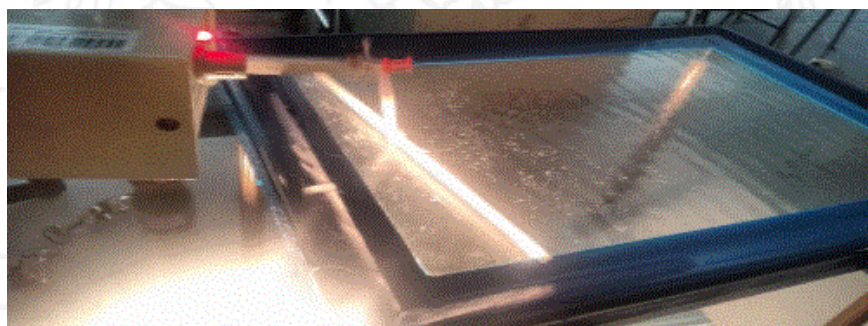


Figura 53: Montaje para una onda plana en la cubeta de ondas. Practicantes

Sigamos con el desarrollo de la actividad experimental y tratemos de describir e interpretar el fenómeno, se dispuso de un pitillo alargado acostado en el centro para generar una onda plana (figura 53), lo cual nos permitió lograr que éstas se dispersaran de manera más ordenada, es decir, con un movimiento leve respecto a las otras ondas generadas.

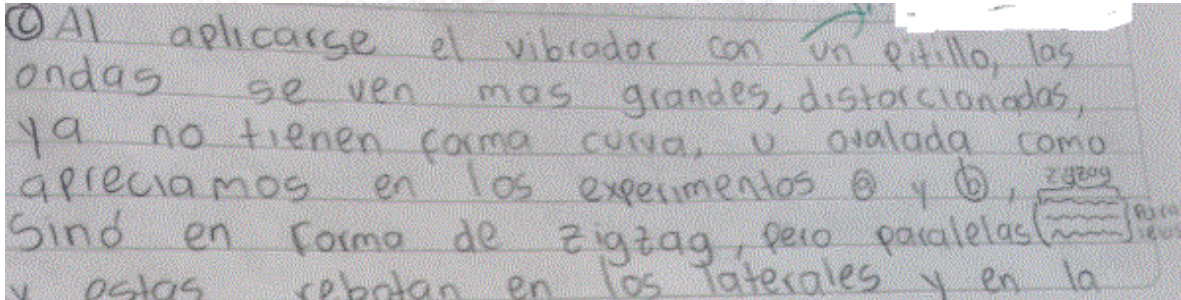


Figura 54: Descripción hecha sobre una onda plana. Edward y Wanderley, 10-1

En esta parte, varios grupos comentaron que la forma que adoptaban las ondas dependía de la forma del objeto con el cual éstas se produjeran, ya que por ejemplo, las ondas generadas con el pitillo conservan las mismas características del pitillo. Al respecto consideramos pertinente mencionar que Da Vinci, mencionado en el capítulo 2, plantea que las ondas se propagan de manera circular al generarse por una piedra cuando es lanzada al agua.

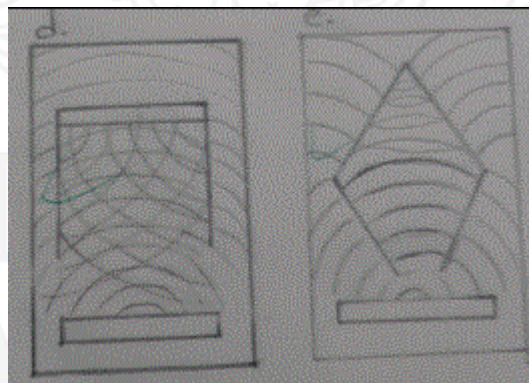


Figura 55: Esquemas de las ondas con obstáculos en la cubeta de ondas. Edward y Wanderley, 10-1

De la esta última respuesta consideramos que a pesar de no encontrarse formalizada la noción de propagación en un espacio determinado, se entiende que la onda se propaga en todas las direcciones, cuando es un punto el que la origina (figura 54). También se utiliza la palabra “paralela” para establecer cierta relación entre onda y onda, como se muestra en la figura 55.

En cuanto al cuarto esquema (Figura 55) propusimos ubicar dos obstáculos de forma diferente en la cubeta de ondas, allí se hicieron esquemas más variados, lo que nos permitió observar que frecuentemente las ondas se chocan entre sí, dando lugar a más ondas.

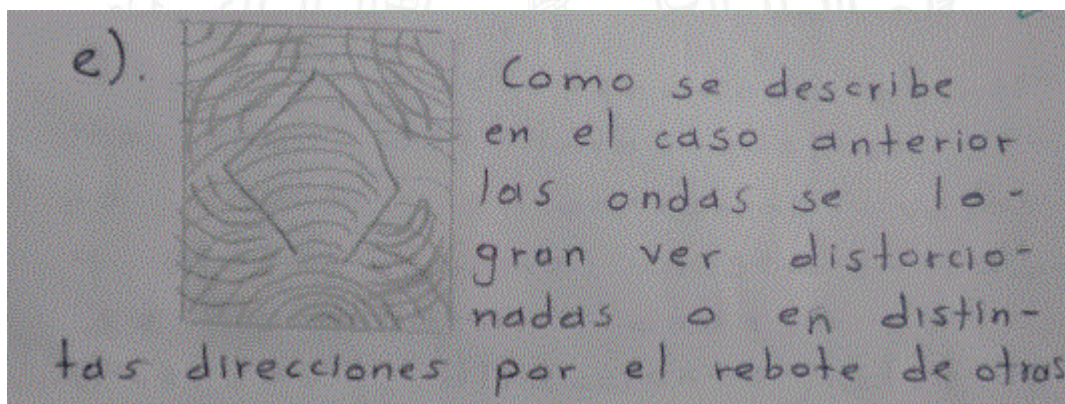


Figura 56: Influencia de un obstáculo en la propagación de las ondas. Andrés, Diego y karol, 10-1

Durante las sesiones correspondientes a la cubeta de ondas, propiciamos debates en torno a la observación de las formas adoptadas por las ondas, en concordancia a las figuras 55 y 56. Durante la discusión hubo aportes que afirmaron que cuando las ondas de agua se chocaban con los obstáculos, éstas se desviaban; o cuando el agua entraba en cada lado del rombo, formaba pequeños diamantes. Dicho de otra manera, al chocar con los obstáculos la onda inmediatamente cambia de dirección. En las figuras 56 y 57 pueden leerse comentarios al respecto, en donde los estudiantes se refieren a la reflexión de las ondas al chocar con las paredes de la cubeta y de los objetos que ubicamos.

El uso de la cubeta de ondas nos permite identificarla importancia del papel que juegan los instrumentos en el acto de medir, en relación a lo expuesto por Campbell en capítulo 2. A su vez el lenguaje en función realizar descripciones de las actividades experimentales, vinculadas a la observación de un fenómeno, en consideración a los aportes hecho por Arcá *et al* en el capítulo 2. De ahí que plateemos la necesidad de establecer una relación que integre el conocimiento en función de las experiencias y el lenguaje, es decir, cómo llegar a éste, a partir de las actividades experimentales. Por ejemplo, en esta actividad la mayoría de los grupos concluyeron que las ondas se originan dependiendo del lugar donde se encuentre el generador (figura 50) y a la forma del mismo.

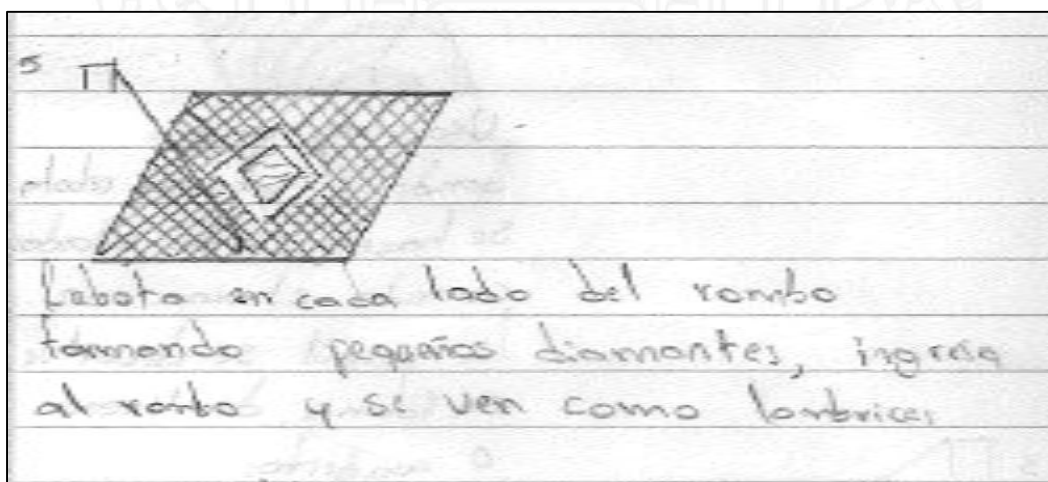


Figura 57: Descripción de las generación de ondas planas en la cubeta de ondas. Julián y Brando, 10-2

Como maestros en formación de Física pensamos que esta actividad experimental posibilitó la apropiación de la perspectiva ondulatoria de la luz, al permitirnos desarrollar situaciones experimentales que se centraran en la refracción desde el componente mecánico, para luego llevarlo a la conceptualización referente a la luz. La cubeta de ondas fue importante para interpretar los fenómenos, puesto que la descripción de las observaciones constituye, a nuestro parecer, un aspecto clave en el proceso de comprensión de un fenómeno.

Análisis de la refracción de la luz en el contexto de la fenomenología de la visión

Hasta el momento hemos dilucidado la importancia que tiene el experimento en la enseñanza de la física, ya que a partir de éste los maestros logramos mostrar fenómenos que no son tan evidentes, permitiéndonos clarificar la comprensión del fenómeno en función del acto de la enseñanza de la física. Desarrollamos la presente actividad experimental en torno a la necesidad de abordar la refracción de la luz basados en la fenomenología de la visión, tal y como lo enunciarnos en el capítulo anterior (figura 37 y 38).

En concordancia con ello, encontramos que por medio del uso del experimento, el aprendizaje de los estudiantes se vuelve autónomo, en la medida en que se convierte en una herramienta que motiva y genera asombro. Para nosotros como docentes, sin duda alguna, el hecho de abordar una clase de física desde el uso del experimento aporta significación a nuestra práctica, en la medida en que mediamos entre el aprendizaje de los estudiantes y el contexto de cada uno. Lo anterior nos sitúa en los análisis que hemos desarrollado en torno a las actividades experimentales desarrolladas, caso concreto en lo concerniente a la refracción desde la fenomenología de la visión.

La actividad tuvo como objetivo comprender el funcionamiento del ojo humano a partir de la manipulación y elaboración de artefactos, tales como: cámaras oscuras y lentes; por lo cual, la presente reflexión se sitúa en este aspecto. Claro está, la reflexión está permeada por nuestra práctica docente, al ubicarnos como eje central que articula las diferentes actividades. Al hacerlo, nos situamos inicialmente en la elaboración y manipulación de una cámara oscura (ver figura 58), en donde encontramos interpretaciones

que describen las características de la misma en relación al comportamiento rectilíneo o, en nuestro caso, geométrico de la luz.

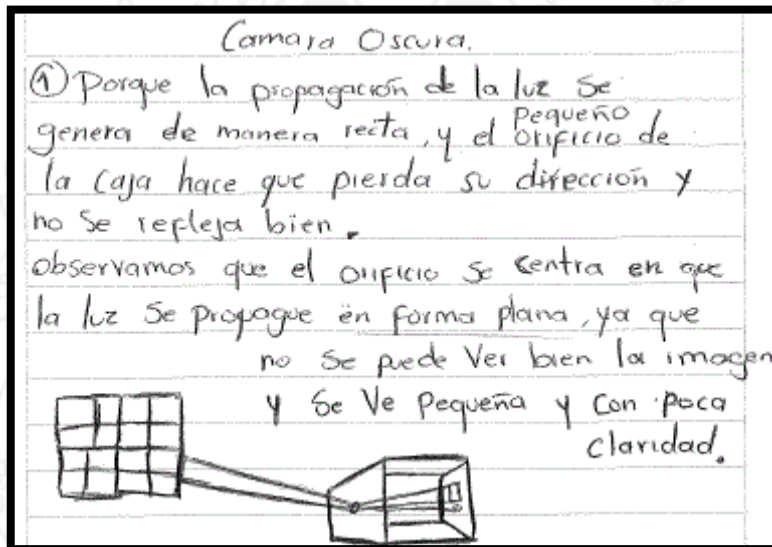


Figura 58: Comportamiento de la cámara oscura. Sebastián 10-3

En la figura previa logramos visualizar cómo el estudiante da una interpretación del comportamiento de la cámara oscura, al manifestar que hay una desviación de los rayos de luz al ingresar por un pequeño orificio. Se refiere además a una propagación de la luz, al manifestarse de forma plana. Al respecto, encontramos cómo Sebastián describe el funcionamiento de la cámara oscura, situándonos a nosotros como docentes en la clara necesidad de propiciar situaciones experimentales que centren su atención en el aspecto de describir las características esenciales de los fenómenos para, posteriormente, escalar en torno a la comprensión del fenómeno.

Lo anterior nos lleva establecer símiles con Da Vinci (1998), al plantear que en una cámara oscura las imágenes se ven invertidas respecto al objeto real (figura 11), llevándonos a relacionar un segundo fragmento (figura 60) en el cual dos estudiantes dan una interpretación del comportamiento en la cámara oscura, y de las características que el dibujo

de la figura 59 guarda con los bosquejado por Da Vinci en el capítulo 2. Observamos cómo experimentalmente los estudiantes llegaron a la identificación de las características de la cámara oscura en relación a su comportamiento, al describir los rasgos que identifican el proceso de formación de imágenes e, incluso, yendo más allá al relacionar directamente con el ojo humano (figura 10).

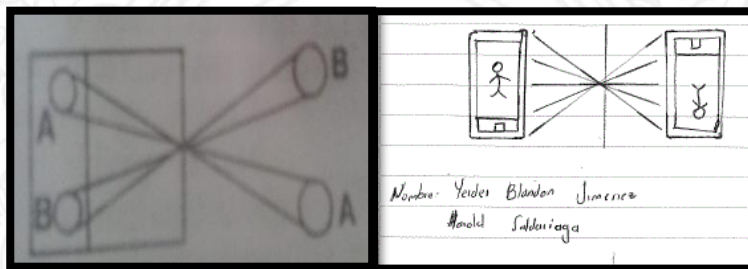


Figura 59: Comparación imagen Da Vinci (figura izquierda) y dibujo realizado por Yeider y Harold a, 10-3

De la interpretación de dos estudiantes, en correspondencia con la imagen siguiente, observamos cómo involucran la pupila (ver figura 58), asemejándola al orificio de la cámara oscura, según ellos, responsable de invertir las imágenes.

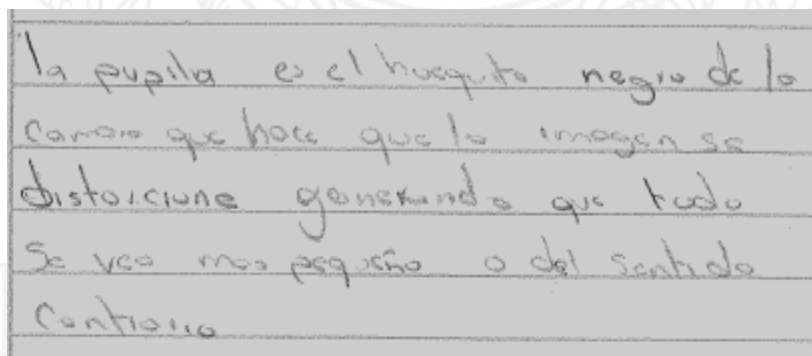


Figura 60: Semejanza de la cámara oscura con el funcionamiento del ojo humano. Kevin y David, 10-3

Los estudiantes hicieron uso del experimento para construir una cámara oscura y manipularla con determinados objetivos, vinculados a relacionar el comportamiento de la cámara con el funcionamiento del ojo humano. El problema abordado les situó en un lugar

privilegiado, al retarles a dar solución a un problema por medio de los beneficios que proporciona el experimento. Resaltamos que la intención que nos motivó inicialmente a la construcción de esta actividad se fundamenta en una necesidad: que los estudiantes construyeran experimentalmente el concepto de la refracción de la luz, lo cual vislumbramos a lo largo de los capítulos 3 y 4 de la presente investigación, lo cual responde al aspecto de permitirles comprender el funcionamiento del ojo humano desde el fenómeno de la refracción de la luz. La presente reflexión insta en nosotros, como docentes, la necesidad de acudir al experimento como posibilitador de un amplio mundo de significaciones para los estudiantes, para mostrar que hay otras rutas para llevar el conocimiento al aula de clase, que hay otras alternativas de enseñar el concepto de refracción sin limitarnos a la simple reproducción operativa en el tablero, tal y como lo manifestamos en el capítulo 1.

Adicionalmente, el análisis que desarrollamos se sitúa en la identificación de la distancia focal de las lentes, en la medida en que la pretensión se instauró en lograr que los estudiantes realizaran mediciones de las distancias focales, asemejándolas a las



Figura 62: Lupa generando imagen en papel. Mayo 13. Wendy, 10-3

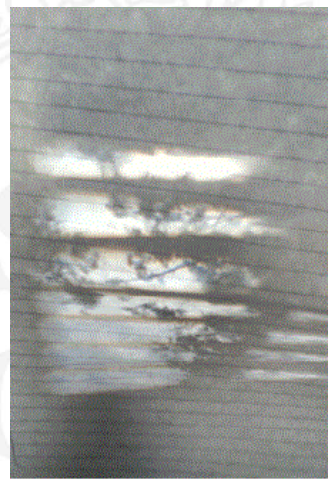


Figura 61: Ventana a través de una lupa. Mayo 13. Laura, 10-3

características de visión del ojo humano (figuras 61 y 62), y lo cual concuerda con lo que expusimos en el capítulo 3.

Cuando realizamos la actividad con los estudiantes, observamos que ellos se asombraban al constatar que al variar las distancias entre la lupa y el papel, se genera una calidad de la imagen distinta, es decir, que a ciertas distancias logramos visualizar la imagen generada opaca y otras con total nitidez. Esto nos permitió reflexionar en torno a las virtudes, alguna de ellas mencionadas en el presente capítulo, que tiene el experimento en la clase de física al despertar asombro en los estudiantes, permitiendo explorar otras alternativas de interacción con el experimento.

Durante el proceso de observación de las distancias focales, era común ver que relacionaban la formación de las imágenes con la lupa a las formadas en la cámara oscura. Sin embargo, encontramos que en muchas ocasiones el uso de la actividad experimental constituía un arma de doble filo, en la medida en que había estudiantes que veían el experimento como un juego sin ningún tipo de significación, llevándonos a reformular algunas actividades con el objetivo de ganar la atención de ellos.

Ahora bien, para la identificación de la distancia focal de las lupas pedimos a los estudiantes que midieran las longitudes entre las lentes y los objetos, y a partir de éstas hacer descripciones de dichos artefactos (figura 63). Al



Figura 63: Medición distancia focal. Mayo 13. Sara, 10-3

finalizar la actividad concluyeron que la formación de las imágenes se da gracias al fenómeno

de la refracción, según el cual, los rayos de luz pasan por la lente y generan la imagen sobre el trozo blanco de papel.

Al respecto retomamos las palabras de Luisa, quien dice que

Los rayos de luz que salen por la ranuras de la ventana chocan en la lupa y al hacerlo pasan por ella por la refracción así como sucedió en el experimento del pitillo⁴².

Con lo cual reafirmamos que la experiencia de los estudiantes puede ampliarse a través de la experimentación de fenómenos relacionados, que conlleven a la comprensión del fenómeno. Luisa relaciona dos fenómenos: el que sucede en la lupa y el de la cámara oscura, que se direccionan al concepto de refracción. Otros estudiantes establecen que la luz llega a la lente y pierde su velocidad (figura 64), el grosor de la misma influye en el comportamiento de la luz.

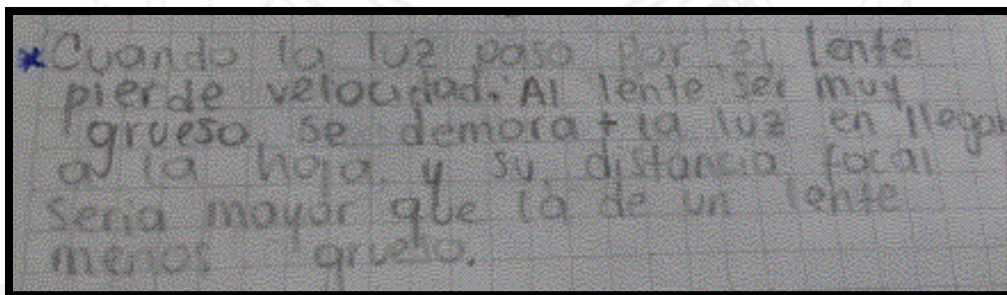


Figura 64: Interpretación del comportamiento de la luz en una lente. Diego, Andrés y Fabio, 10-1

Encontramos entonces que las interpretaciones de los estudiantes plantean el comportamiento de una lente en términos de la refracción de la luz, la distancia focal y la

⁴² (Mayo 13 del 2016) Luisa Doria 10-3.

curvatura de la lente, de manera similar al planteamiento de los científicos que abordamos en el capítulo anterior.

Hasta el momento hemos mostrado cuál ha sido el abordaje que realizamos en torno a la fenomenología de la visión, situados en los aportes de Young, da Vinci, Newton y Huygens, ubicándonos inicialmente en la construcción de la cámara oscura y posteriormente en la identificación de la distancia focal de las lentes, para llegar a cierta caracterización del funcionamiento del ojo humano. Sin embargo, hay un tercer momento que nos ubica en la situación problemática expuesta en la *Actividad experimental 3* (figura 37 y 38), en la cual un carnicero observa a través del ojo de una vaca las imágenes invertidas, luego de extraer una membrana del mismo. A pesar de ser propuesta en la respectiva planeación, nos fue imposible desarrollar dicha actividad ya que hicimos una inadecuada distribución de los tiempos al momento de desarrollar los diferentes momentos experimentales; es decir, que dedicamos mayor cantidad de tiempo a profundizar en otras actividades, viéndonos cortos al momento de desarrollar la fase final de la propuesta. Sin embargo, dicha condición nos arrojó cuantiosos aprendizajes en la medida en que nos permitió comprender que muchas veces hacemos extensas planeaciones de nuestras clases, pero a la hora de la verdad pocas veces desarrollamos a cabalidad lo planeado. Además, el no abordaje experimental nos situó en otra ruta que nos permitió desarrollar con los estudiantes reflexiones en torno a la refracción desde la fenomenología de la visión

Conjuntamente, al sintetizar la voz de algunos estudiantes, consideramos que logramos el objetivo inicial de vincular la teoría y el experimento desde algunas de las características de la visión, en la medida en que ellos lograron comprender el funcionamiento

del ojo, el proceso de ingreso de los rayos a él y la respectiva formación de las imágenes a partir del fenómeno de la refracción de la luz.

La refracción desde el estudio de las lentes con materiales de fácil acceso

Los docentes de física muchas veces adoptamos una actitud facilista, en la medida en que atribuimos la ausencia del experimento en la clase a factores de tipo económico, demandas institucionales y, en general, a un sinnúmero de excusas más, que niegan la importancia del experimento en la clase de física. Como logramos constatar, la mayoría de las situaciones experimentales que abordamos se caracterizan por ser desarrolladas con elementos de fácil acceso. En tanto la presente reflexión, propia de nuestra narrativa, se torna hacia el aspecto de considerar el experimento como un objetivo hacia el cual se llega más con la mentalidad de querer hacerlo.

Al considerar la facilidad con la cual podemos desarrollar situaciones experimentales, resaltamos su importancia en la medida en que éstas, según Gil (2014) “puede y debe ser usado para estimular la curiosidad y el placer por la investigación y el descubrimiento (...) brinda a los alumnos la posibilidad de explorar, manipular, sugerir hipótesis, cometer errores



Figura 65: Sellado, relleno y manipulación de lentes artesanales. Edwar, 10-3

y reconocerlos” (p. 8). Así desarrollamos un análisis en torno a los hallazgos propios de la presente actividad experimental, al involucrar la construcción de lentes con materiales de fácil acceso (figura 65).

Notamos que la construcción de lentes artesanales motivó a los estudiantes. A su vez, ésta y las anteriores actividades experimentales, nos sirvieron para ratificar la necesidad de propiciar un entorno de enseñanza mediado por la utilización de situaciones que dialoguen con la teoría.

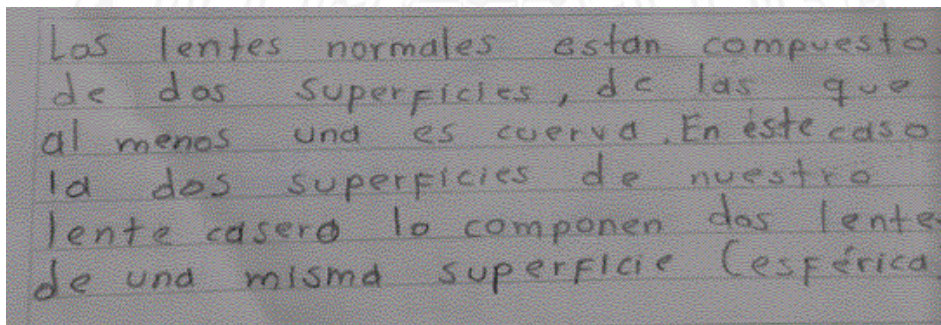


Figura 66: Definición de una lente. Yhoan, 10-1

La definición de lente de Young (1807), como “una porción detallada de una sustancia transparente” (p. 72), está en concordancia con lo planteado por algunos estudiantes, como aquella que está formada por dos superficies, en la que al menos una de ellas es curva (figura 66).

La segunda fase de la actividad consistió en la observación a través de una botella con agua (figura 67), para visualizar el fenómeno de la refracción a partir de una lente, que en el caso del recipiente con agua, corresponde a una lente convergente.

Nos llamó la atención la reacción de los estudiantes al observar cómo un elemento que hace parte del diario vivir de cada uno, presenta dicho comportamiento y, aún más, cómo

éste se explica igual que el funcionamiento de los anteojos, lupas, microscopios y telescopios: de cómo la refracción de la luz puede presentarse en una pluralidad de situaciones cotidianas que muchas veces desconocemos.

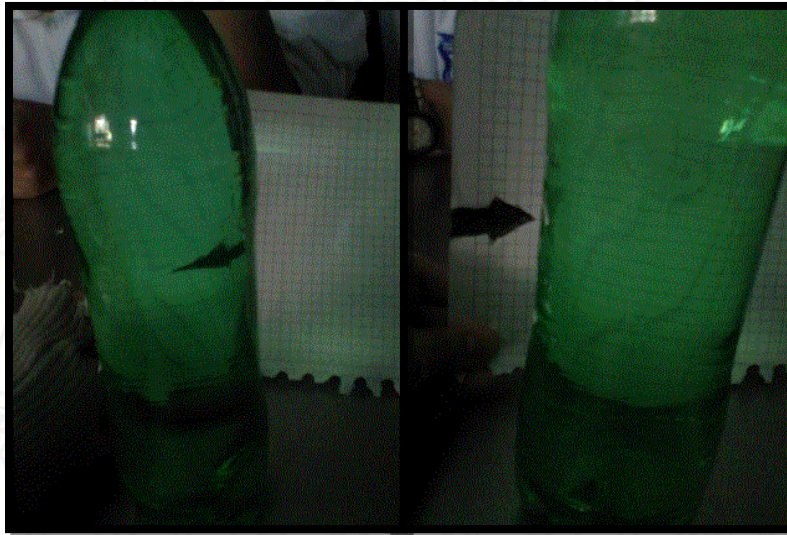


Figura 67: Refracción de la luz en una botella con agua. Flecha invertida. Edwar, 10-3

La construcción de esta narrativa enriqueció nuestra práctica en la medida en que nos permitió contemplar un amplio mundo de posibilidades, de conocer de primera mano varias interpretaciones y significaciones en torno a determinados postulados físicos, concernientes a la refracción de la luz. Cómo los estudiantes ubican el fenómeno refractivo en su contexto familiar y social. Cómo lo explican a partir de la experimentación. El porqué de algunos fenómenos que pasan desapercibidos porque los ignoramos, cómo funciona el ojo humano (figuras 11, 19 y 30), cuál es la función de los anteojos en la visión, cuál es el origen del arcoíris (figura 14) y, en general, de una amalgama de aspectos que pueden ser explicados desde la refracción de la luz.

No obstante, Newton (1704, 1966), como lo abordamos en el capítulo 2, plantea que sus experimentos fueron realizados de tal manera que se reprodujeran fácilmente por otros

sujetos, incluso por personas inexpertas no conocedoras del tema; lo anterior, contribuye significativamente a la idea de vincular el experimento a la enseñanza de la óptica, en la medida en que los docentes podemos propiciar situaciones experimentales que estén al alcance nuestros estudiantes, valiéndonos del uso de materiales de fácil acceso tanto para nosotros como para nuestros estudiantes. Evidentemente, el desarrollo expuesto hasta el momento insta en la previa condición, en la medida en que todos los montajes experimentales fueron fácilmente desarrollados, porque priorizan en el uso de artefactos de uso cotidiano, no alejándose del objetivo que enmarca la presente reflexión narrativa en torno a la fundamentación de nuestra propuesta pedagógico didáctica.

Finalmente, la última actividad experimental se sitúa en la construcción de un microscopio casero, presentado en el capítulo 3 (ver figura 40), en donde una gota de agua sucia en una jeringa cumplió el papel de lente convergente, a través de la cual, un haz de luz permite la observación de las imágenes en una pantalla distante (ver figura 68). Al igual que en las situaciones de las lentes artesanales (figura 65) y en la botella de agua (figura 67), el experimento de la gota en la jeringa, descrito en el anterior capítulo, nos generó asombro, en la medida en que fueron varias las sustancias que se analizaron en el microscopio, llevándonos a visualizar la inmensa cantidad de bacterias en las mismas. De nuevo, indirectamente, a partir de la construcción del microscopio casero involucramos circunstancias que hacen parte del diario vivir de los estudiantes, al permitir que manipularan

sustancias que les son cercanas y les permitieran descubrir algunas propiedades hasta el momento desconocidas, gracias a la refracción de la luz en la gota de agua sucia.

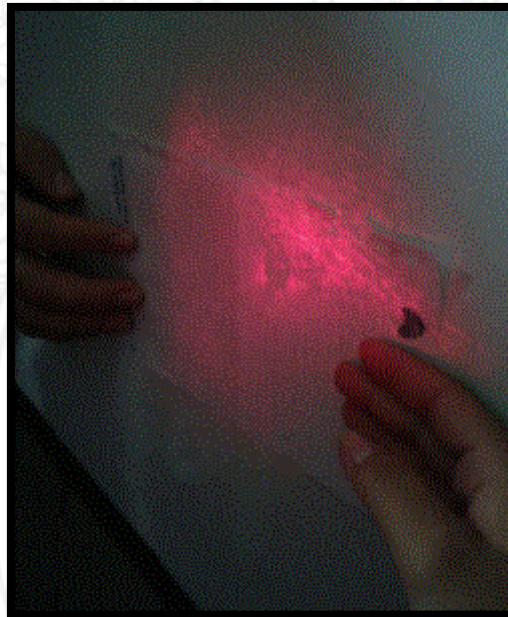


Figura 68: Construcción de microscopio casero. Observación de bacterias. Kevin, 10-3

Al respecto muchos comentarios e interpretaciones surgieron, comentarios de asco y escozor, al visualizar que muchas de las sustancias con las cuales tenían contacto comúnmente estaban invadidas de bacterias. Sin embargo, en lo referente al fenómeno de la refracción de la luz, los comentarios no se hicieron esperar, resaltando las palabras de Laura del grupo 10-3, quién manifestó que:

Las bacterias se ven gracias a que la gota de agua hace lo mismo que en la botella de agua, haciendo que la luz pase a través de ella y se puedan mirar las bacterias⁴³.

⁴³ (Mayo 20 del 2016).

De lo descrito por Laura encontramos cómo los estudiantes lograron relacionar las diferentes actividades abordadas, en aras de dar una explicación de un fenómeno en particular, que en este caso corresponde a la consideración de una gota de agua como un microscopio casero; la gota fue atravesada por el haz de luz del láser (figura 68) al cumplir la función de una lente convergente vista en el capítulo 2. Al respecto, resaltamos la importancia que tiene el hecho de abordar un fenómeno desde diferentes perspectivas, ya que la experiencia de los estudiantes puede ampliarse a partir del abordaje experimental de varios fenómenos relacionados, que en el presente caso, se orientan a la comprensión del concepto de refracción desde múltiples perspectivas, en relación al abordaje que hacemos desde la perspectiva geométrica de la luz, la perspectiva ondulatoria, fenomenología de la visión y, finalmente, en lo concerniente al fenómeno refractivo a partir del uso de elementos cotidianos.

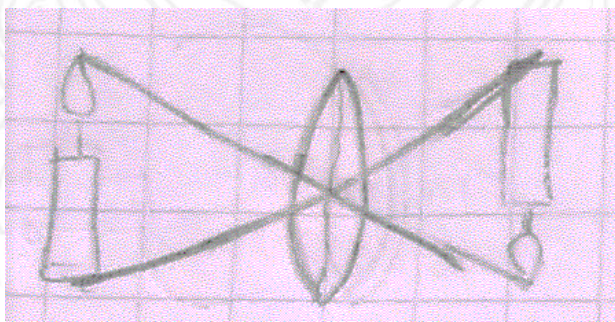


Figura 69: Ilustración de la inversión de una imagen vista a través de una lente convergente. Adriana y Valeria, 10-1

La gota de agua es la lente a través de la cual pasan los rayos de luz y forman las imágenes (figura 69), y dicho fenómeno se puede generalizar a un amplio conjunto de experiencias relacionadas que pueden ser fácilmente llevadas al aula: la refracción atmosférica (figura 23), la posición aparente de los objetos en el agua (figuras 48 y 49), la

generación de los colores (figuras 14, 15, 16 y 17), la elaboración de microscopios, el funcionamiento del ojo humano (figura 19), el uso de microscopios y telescopios, entre otros.

El abordaje experimental de todas las actividades propuestas nos sitúa en una necesidad clara de propiciar un espacio de aprendizaje en física que abogue por cierta equidad entre el experimento y la teoría, y que responda a las características del contexto en el cual se desarrolle; es decir, que responda a las exigencias que demanda, tanto los estudiantes como nosotros desde nuestra función formativa.



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

CONCLUSIONES GENERALES

En primera instancia, resaltamos que las actividades experimentales propuestas nos permitieron situar al experimento en un lugar estratégico: como eje articulador de la teoría en la construcción del conocimiento por parte de nosotros mismos y de los estudiantes que nos acompañaron en el proceso. Vimos cómo el experimento fue también un dinamizador en los espacios de conceptualización en física y particularmente en óptica, invitamos a los estudiantes a hacer parte activa de su propio proceso formativo, de manera análoga al nuestro, a aprender de las preguntas que ellos generaron y de las que nosotros mismos nos planteamos.

A través de estas actividades que diseñamos, revelamos también que el carácter algorítmico de la física es importante pero no es lo principal cuando se enseña; en cambio sí lo es la promoción de habilidades para explicar el mundo, en la construcción de representaciones que permitan ser relacionadas con experiencias nuevas. Estas habilidades las potencializamos por medio de la exploración con materiales de fácil acceso, de la construcción de explicaciones, del acto de proponer ejemplos cotidianos que fueran análogos a la actividad en ejecución, del desarrollo de procedimientos, etc.

Por medio entonces de los sentidos, nuestros estudiantes y nosotros mismos interactuamos con el mundo, nos ideamos construcciones para analizar aquello en lo que situamos nuestra mirada; por ejemplo, en la configuración de la cámara oscura y reflexionamos en torno a nuestras propias condiciones, de visión por ejemplo.

El abordaje experimental de las problemáticas trabajadas en las actividades fue, además, nuestra estrategia para enseñar física, sin dejar por fuera las características del

contexto, de esta manera facilitamos que el recorrido experiencial propio en relación con el lenguaje nos ayudara a construir el concepto de refracción desde las perspectivas corpuscular y ondulatoria de la luz.

Resaltamos también la manera en que los estudiantes se atrevieron a plantear situaciones, ejemplos y configuraciones de sistemas físicos; porque el espacio compartido no estaba dispuesto para juzgar o tildar de erróneos sus planteamientos, por el contrario asumimos una mirada que nos permitió analizar sus comentarios en contexto, de acuerdo a sus experiencias compartidas; para así, fomentar un ambiente académico favorable.

Subrayamos el trabajo conceptual que logramos con los estudiantes, pues se hizo evidente en los análisis el reconocimiento de las particularidades del fenómeno de refracción. Allí notamos que el trabajo experimental permite la identificación de las condiciones que como experimentadores requerimos, aquellos recursos concretos que facilitan el experimento. De igual modo, subrayamos cómo los estudiantes adquirieron la capacidad de interpretar sus observaciones y sus creaciones, por medio de los elementos simbólicos que con el paso de los encuentros se fueron ganando por las interacciones con sus compañeros.

En los procesos conceptuales notamos como nuestra propuesta ayudó también a perfeccionar los procesos de medición, allí notamos cómo se configura la noción de índice de refracción en relación con la velocidad de la luz en un medio determinado. Así nos dimos la oportunidad de explorar las propiedades que les atribuimos a los objetos, en este caso a los medios materiales que dispusimos a fin de interactuar con la luz.



Finalmente, expresamos que esta investigación nos permitió mostrar que sí es posible narrar nuestras experiencias en la enseñanza, que nuestras visiones no las construimos de manera independiente sino en contexto con nuestros estudiantes quienes proponen cambios y realizan preguntas que promueven los movimientos de pensamiento en el aula.

Por medio de esta narrativa ponemos de manifiesto que los relatos docentes nos permiten escuchar nuestra propia voz y constituyen una herramienta para plantear la enseñanza de manera distinta a la tradicional. Nos permite conocernos, analizarnos y proponernos metas para transformar nuestras propias visiones y hábitos, a fin de que no sean una barrera en las aulas.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

BIBLIOGRAFÍA

- Alís, J. C., Gil-Pérez, D., Peña, A. V., & Valdez, P. (2006). *Papel de la actividad experimental en la educación científica*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 23(2), 157-181.
- Arcà, M., Guidoni p. y Mazzoli, P. (1990). *El desarrollo del proceso cognitivo como tarea de la educación*. En “Enseñar ciencia. Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base”. Barcelona: Paidós.
- Alzate, H. (2013). *Manual de Laboratorio Ondas*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Biografías y vidas. Enciclopedia biográfica en línea. (2016). *Albert Einstein*. Recuperado el 15 de julio de 2016 de <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/e/einstein.htm>.
- Biografías y vidas. Enciclopedia biográfica en línea. (2016). *Christiaan Huygens*. Recuperado el 15 de julio de 2016 de <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/h/huygens.htm>.
- Biografías y vidas. Enciclopedia biográfica en línea. (2016). *Isaac Newton*. Recuperado el 15 de julio de 2016 de <http://www.biografiasyvidas.com/monografia/newton/>.
- Biografías y vidas. Enciclopedia biográfica en línea. (2016). *Leonardo Da Vinci*. Recuperado el 14 julio de 2016 de <http://www.biografiasyvidas.com/monografia/leonardo/>.

Biografías y vidas. Enciclopedia biográfica en línea. (2016). *Thomas Young*. Recuperado el 14 de julio de 2016 de <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/y/young.htm> .

Bolívar, A. (2016). *Las historias de vida y construcción de identidades profesionales*. En libro de Maria Helena Abrahão, Lourdes Frison, Christianny Barreiro (org.), *A Nova Aventura (Auto) Biográfica*. Tomo I. Porto Alegre: Edipucrs, pp. 251-287. ISBN: 978-85-397-0836-9.

Campanario, J. M., & Moya, A. (1999). *¿Cómo enseñar ciencias? Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 179-192.

Campbell, N. (1956, 1986). *Medición*. Tomado de “What Is Science”, 1921. En: Enciclopedia “Sigma, el mundo de las matemáticas”. Título original: “TheWorld of Mathematics”. Tomo 5, Ed. Grijalbo, Barcelona.

Cassirer, E. (1948, 1986). *Fin y método de la física teórica*. En: “El problema del conocimiento IV”. Título original: *Das Erkenntnisproblem in der PhilosophieundWissenschaft der neuerenZeit*, IV. 1ª edición en español. Fondo de cultura económica, México. Pp. 102-145.

Conelly, M., y Clandinin, J. (1995). *Relatos de experiencias e investigación narrativa*. En Bondía, J., i Morral, R., Ferrer, V., de Lara Ferré, P., Connelly, M., Clandinin, J., y Greene, M. (Ed), *Déjame que te cuente: ensayos sobre narrativa y educación* (pp 11-78)

Da Vinci, L. (1651, 1998). *Tratado de pintura* (Vol. 108). Ediciones Akal. Traducción e ilustración fue realizada por don Diego Antonio Rejon De Silva en el año 1927

- Duhem, P. (1914, 2003). El experimento de física. En: “La teoría física, su objeto y su estructura”. Ed. Herder, Barcelona. Título original: “La Théoriephysique, son object, sastructure”.
- Einstein, A., & Infeld, L. (1971, 1986). *La evolución de la física*. (Vol. 24)
- Gil, S. (2014). *Experimentos de Física usando las TIC y elementos de bajo costo*. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), p.231.
- Gómez, A. L. y Flórez, I. D. (2013). Fenomenología asociada al ver. En “Construcción de fenomenologías y procesos de formalización”, J.F. Malagón, M.M. Ayala y S. Sandoval: editores, CIUP, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- Granés, J.; Caicedo, L. M. y Morales, M. (1999). *La representación como juego de lenguaje, una aplicación a la teoría de los colores de Newton*. En “Ciencia y representación”, José Antonio Amaya y Olga Restrepo: editores, Centro de Estudios Sociales, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Pp.15-32.
- Huygens, C. (1678, 1690). *Tratado de la luz*, París, Francia, Academia Real de Ciencias de Francia.
- Mach, E. (1948). El Concepto. En E. Mach. *Conocimiento y error*. Buenos Aires: Espasa-Calpe Argentina S.A.
- Magie, W., & Weber, R. L. (1965). A source book in physics. *American Journal of Physics*, 33(3), 247-247.
- Newton, I. (1717, 1977). *Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*, Carlos Solís (Ed.), Ed. Alfaguara, 1977, Madrid.

- Romero, A., & Aguilar, Y. (2013). *La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico. Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos*. Colombia: Universidad de Antioquia.
- Romero, A., Aguilar, Y. & Mejía, L. (2016). *Naturaleza de las ciencias y formación de profesores de física. El caso de la experimentación*. CPU-e, Revista de Investigación Educativa, No. 23, pp.75-98.
- Romero, O., y Bautista, M. (2011). *Hipertexto Santillana Física 2*. Santafé de Bogotá, Colombia: Santillana
- Salazar Serna, A. S., Gómez Galeano, D. M., & Rúa Gallego, E. M. (2013). *A propósito de la óptica geométrica: una propuesta de recontextualización en la enseñanza de la física desde la perspectiva newtoniana* (Tesis de pregrado). Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Schrödinger, E. (1956, 1990). *El misterio de las cualidades sensoriales*. Conferencias Tarner leídas en el Trinity College, Cambridge. En “Mente y materia”. Tusquets Editores, Barcelona. Recuperado de: <https://realidadtrascendental.wordpress.com/2015/04/19/el-misterio-de-las-cualidades-sensoriales/>.
- Shapin, S. y Schaffer, S. (1985). *Entendiendo el experimento*. En “El Leviathan y la bomba de vacío: Hobbes, Boyle y la vida experimental”, Ed. Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires.

Suárez, D. (2007). ¿Qué es la documentación narrativa de experiencias pedagógicas?

Documentación narrativa de experiencias y viajes pedagógicos. (2), 7-49.

Toro, G., Giraldo, B., Rodríguez, O. & Ruiz, M. (Agosto de 2015). *Educación y calidad para el conocimiento científico desde una mirada del maestro en formación: contextualización del carácter ondulatorio de la luz*. En R. Jaramillo (organizador), Educación y calidad: el rol de los maestros. Encuentro llevado a cabo en San Jerónimo, Colombia.

Toro, G., Giraldo, B., Rodríguez, O. & Ruiz, M. (Noviembre de 2015). *Contextualización narrativa de la naturaleza de la luz en la enseñanza: articulación del carácter ondulatorio y la perspectiva geométrica de la luz*. En G. Malagón (organizador), 2do encuentro de estudios históricos para la enseñanza de las ciencias y 5to encuentro nacional sobre la enseñanza de la mecánica. Encuentro llevado a cabo en Bogotá, Colombia.

Toro, G., Giraldo, B., Rodríguez, O. & Ruiz, M. (Marzo de 2016). *Las narrativas y la óptica en la escuela: análisis histórico crítico para articular las perspectivas ondulatoria y geométrica*. En A. Yarza (organizador), XII Congreso Iberoamericano de historia de la educación, CIHELA 2016. Congreso llevado a cabo en Medellín, Colombia.

Toro, G., Giraldo, B., Rodríguez, O. & Ruiz, M. (Septiembre de 2016). *Construyendo una narrativa en torno a la articulación de las perspectivas geométrica y ondulatoria de la luz: el fenómeno de la refracción desde una mirada experimental*. En G.



Murillo (organizador), 3° Simposio internacional de narrativas en educación: infancias, maestros, estéticas, pedagogía de la memoria. Simposio llevado a cabo en Medellín, Colombia.

Young, T. (1807). *A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts* (Vol. 2). Johnson.

Zitzewitz, P., y Neff, R. (1999). *Física 2. (2ª ed.)* Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill interamericana, s.a.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3