



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

1 8 0 3

Facultad de Educación

**EL USO DE LOS ANÁLISIS HISTÓRICOS Y EPISTEMOLÓGICOS EN LA
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**

Una reflexión centrada en la experimentación sobre los fenómenos cromáticos

Erika Tobón Cardona

Universidad de Antioquia

Facultad de Educación

Medellín

2016

**EL USO DE LOS ANÁLISIS HISTÓRICOS Y EPISTEMOLÓGICOS EN LA
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**

Una reflexión centrada en la experimentación sobre los fenómenos cromáticos

Erika Tobón Cardona

**Trabajo de investigación para optar al título de Magister en Educación en Ciencias
Naturales**

Asesor:

Ángel Enrique Romero Chacón

PhD. En Epistemología e Historia de las Ciencias y las Técnicas

Universidad de Antioquia

Facultad de Educación

Departamento de Educación Avanzada

Medellín

2016

Universidad de Antioquia

Facultad de Educación

Trabajo de Investigación:

El uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias

Una reflexión centrada en la experimentación sobre los fenómenos cromáticos

Erika Tobón Cardona

Asesor:

Ángel Enrique Romero Chacón

PhD. En Epistemología e Historia de las Ciencias y las Técnicas

Nota de aceptación

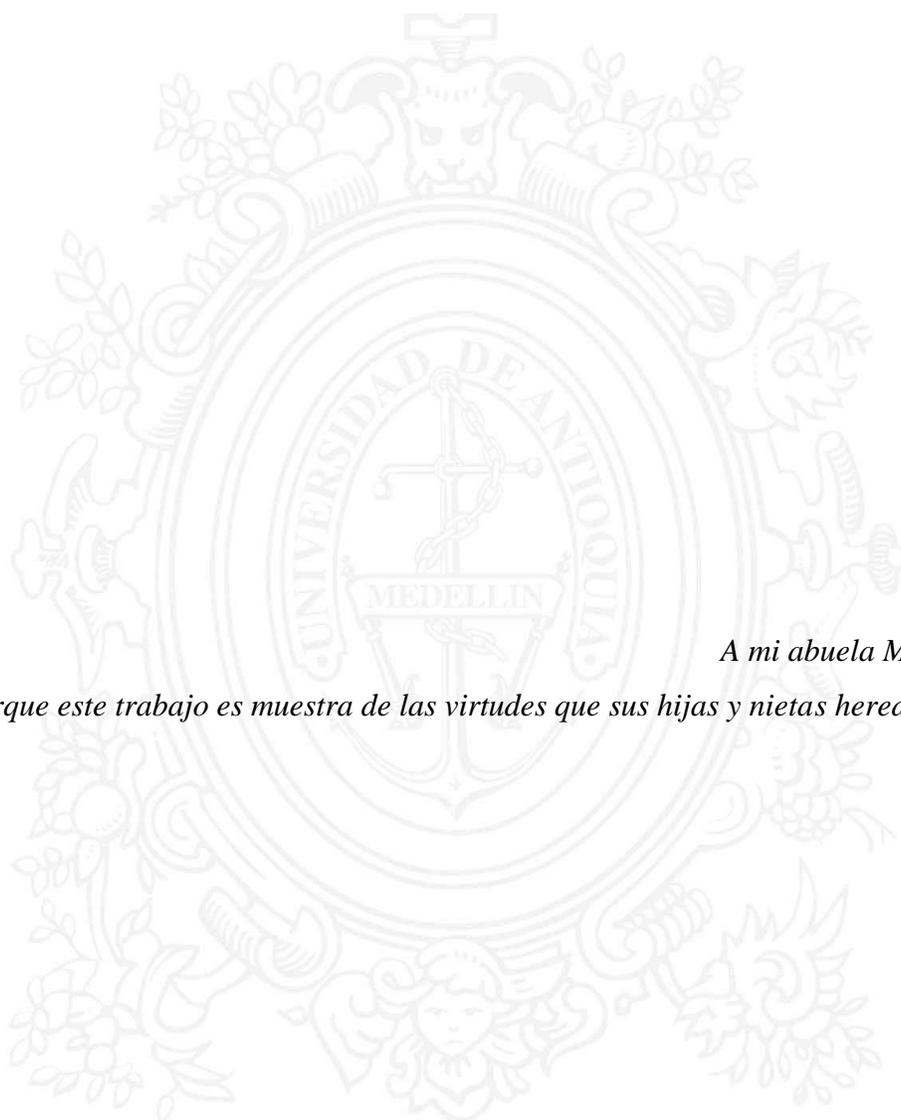
Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Medellín

1 8 2016 3



*A mi abuela María Rosana:
Porque este trabajo es muestra de las virtudes que sus hijas y nietas heredamos de ella.*

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle al profesor Ángel Romero asesor de esta tesis, por trazar el camino de construcción de este proceso de investigación y recorrerlo conmigo.

A la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia en cabeza de sus docentes, coordinadores, secretarias y auxiliares, especialmente a Maribel Barreto coordinadora de la Licenciatura en Pedagogía Infantil, por apoyarme amable y eficientemente en todos los procesos administrativos y académicos.

A Andrea Sosa y Jaime Quinto por formar conmigo un equipo de trabajo que venció el cansancio y la mediocridad que asechan permanentemente a los estudiantes.

Agradezco además a la profesora Luz Dary Rodríguez por ayudarme a definir mi postura frente al uso de la Historia y Epistemología de las Ciencias en la Enseñanza; también por mostrarme en la personalidad de los sujetos la relación entre Acción y Pensamiento.

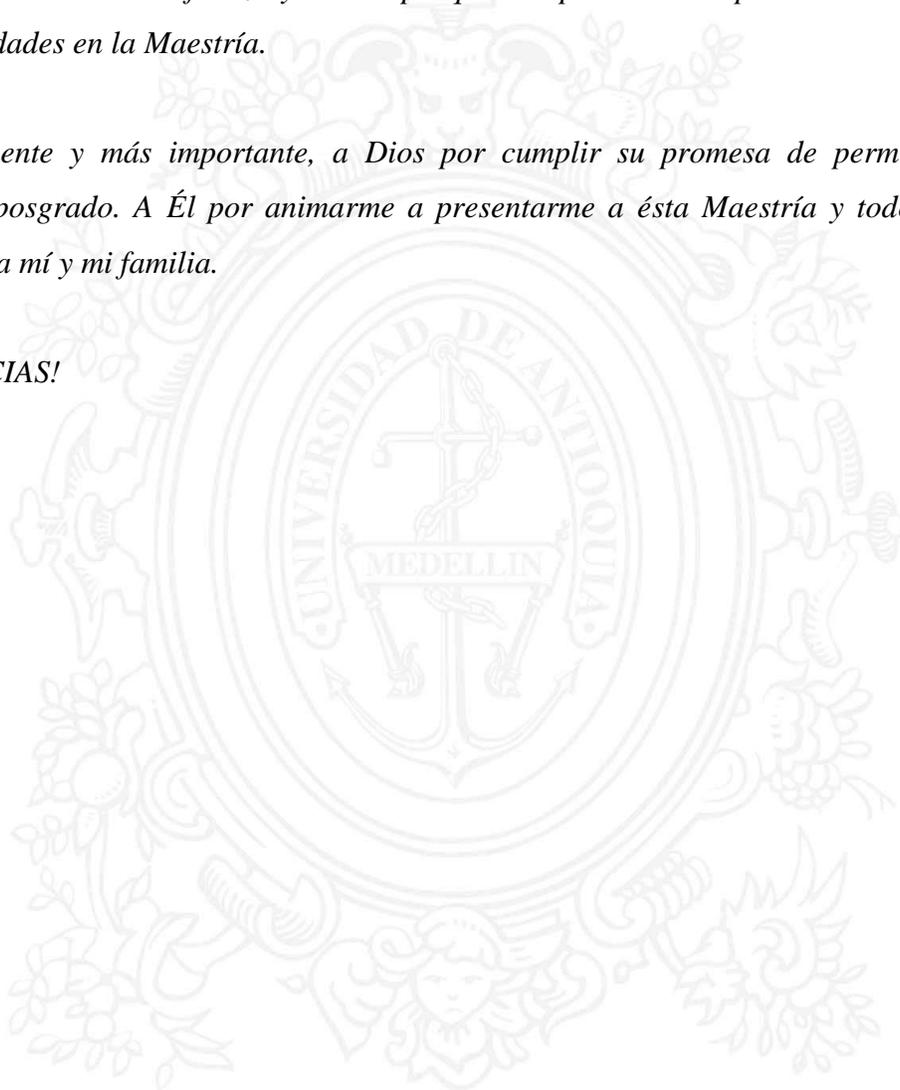
A los maestros de Física en formación que contribuyeron a este trabajo como protagonistas de la investigación porque en sus aportes e inquietudes pude configurar la propuesta de talleres y los elementos conceptuales sobre los fenómenos cromáticos. También al profesor Julián Medina por su disposición, colaboración y valiosos aportes en la implementación de la propuesta pedagógica.

Además a mis estudiantes del curso Pensamiento Científico Física en Pedagogía Infantil de la Universidad de Antioquia porque su creatividad y experiencia con niños pequeños me permitió contrastar posibles maneras de formar maestros desde la Historia y Epistemología de las Ciencias.

A mi esposo Mauricio Portilla, mi mamá Bertha Inés Cardona y mis hijos Juan Eudes y Mauricio por darme la fuerza y el tiempo que me permitió cumplir a cabalidad con mis responsabilidades en la Maestría.

Finalmente y más importante, a Dios por cumplir su promesa de permitirme cursar estudios de posgrado. A Él por animarme a presentarme a ésta Maestría y todo lo que esto significó para mí y mi familia.

¡GRACIAS!



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

Tabla de Contenido

LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE GRÁFICOS.....	9
LISTA DE IMÁGENES	10
LISTA DE TABLAS.....	10
LISTA DE ANEXOS	10
ANEXOS DIGITALES	10
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GENERAL:.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	16
3. REFERENTES CONCEPTUALES.....	17
3.1 LA CONSTRUCCIÓN DE LOS FENÓMENOS CROMÁTICOS DESDE GOETHE	19
3.1.1 <i>Visión y Naturaleza</i>	21
3.1.2 <i>El color como contraste entre claridad-oscuridad</i>	24
3.1.3 <i>Principios asociados a la percepción del color</i>	26
3.2 LA EXPERIMENTACIÓN COMO GENERADORA DE CONOCIMIENTO	31
3.2.1 <i>El carácter exploratorio de la experimentación</i>	33
3.2.2 <i>Acción y Pensamiento</i>	38
3.3 FORMAS DE VER Y SU HISTORICIDAD	41
3.3.1 <i>El experimento del cuadrado rojo y azul</i>	43
3.3.2 <i>Sobre la perspectiva newtoniana</i>	49
3.3.3 <i>Sobre la perspectiva goetheana</i>	50
3.3.4 <i>Los análisis históricos y epistemológicos de las ciencias</i>	51
4. MARCO METODOLÓGICO.....	54
4.1 ENFOQUE Y TIPO DE ESTUDIO	54
4.1.1 <i>La etnografía de Geertz</i>	54
4.1.2 <i>Elkana y la descripción densa en la ciencia</i>	56
4.2 CONTEXTO Y PARTICIPANTES.....	57
4.3 PROPUESTA DE INTERVENCIÓN Y ELABORACIÓN DE REGISTROS	58
4.3.1 <i>Propuesta de enseñanza</i>	58
4.3.2 <i>Otras técnicas de producción de datos: entrevistas y diario investigativo</i>	63
4.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN.....	65
4.4.1 <i>Criterios de selección de unidades de análisis y clasificación de enunciados</i>	65
4.4.2 <i>Interpretación y triangulación de los datos</i>	72
4.4.3 <i>Convenciones de sistematización</i>	76

5. HALLAZGOS.....	78
5.1 LA CONSTRUCCIÓN DE LOS FENÓMENOS CROMÁTICOS DESDE GOETHE	78
5.1.1 <i>Visión y Naturaleza</i>	78
5.1.3 <i>El color como contraste entre claridad-oscuridad</i>	82
5.1.2 <i>Principios asociados a la percepción del color</i>	84
5.2 LA EXPERIMENTACIÓN COMO GENERADORA DE CONOCIMIENTO	91
5.2.1 <i>El carácter exploratorio de la experimentación</i>	91
5.2.2 <i>Acción y Pensamiento</i>	96
5.3 FORMAS DE VER Y SU HISTORICIDAD	100
5.3.1 <i>Sobre el proceder científico en la experimentación</i>	102
5.3.2 <i>Historicidad</i>	105
6. CONCLUSIONES	108
7. CONTRIBUCIONES DEL TRABAJO Y LA PROPUESTA PEDAGÓGICA.....	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
ANEXOS.....	116

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
1803

Lista de Figuras

Figura 1: Círculo negro en fondo gris.....	23
Figura 2: Círculo gris en fondo negro y en fondo blanco.....	25
Figura 3: Cuadrado rojo y azul en fondo negro.....	43
Figura 4: Imagen blanca en fondo negro observada a través del prisma- parte superior.....	46
Figura 5: Imagen blanca en fondo negro observada a través del prisma – parte inferior.....	46
Figura 6: Cuadrado rojo y azul observado por Newton a través del prisma.....	47
Figura 7: Cuadrado rojo y azul observado por Goethe a través del prisma.....	48

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Rectángulo blanco en fondo negro y rectángulo negro en fondo blanco observados a través del prisma.....	27
Gráfico 2: Rectángulo blanco en fondo negro y rectángulo negro en fondo blanco observados a través del prisma (angostos).....	28
Gráfico 3: Círculo cromático de Goethe	28
Gráfico 4: Mezcla de amarillo y azul en el círculo cromático.....	30
Gráfico 5: Mezcla de violeta y rojo anaranjado en el círculo cromático.....	30
Gráfico 6: Línea temporal de la propuesta de intervención.....	64
Gráfico 7: Línea temporal de la interpretación y construcción de datos.....	76
Gráfico 8: Limbos y bordes observados en un rectángulo blanco en fondo negro a través del prisma. A) prisma eje horizontal b) prisma eje vertical.....	88
Gráfico 9: Limbos y bordes observados en un rectángulo negro en fondo blanco a través del prisma. A) prisma eje horizontal b) prisma eje vertical.....	89
Gráfico 10: Bordes de colores observados a través de prisma.....	90

Gráfico 11: Imagen 4 observada a través del prisma..... 91

Lista de imágenes

Imagen 1: Sombra de color magenta en una superficie verdosa 29
Imagen 2: Representación newtoniana de la dispersión de luz al pasar a través del prisma.. 32
Imagen 3: Espacio de contraste entre sombra y luminosidad..... 81
Imagen 4: Parejas de colores según el espectro..... 86
Imagen 5: Preguntas del punto 5. C taller 2..... 86
Imagen 6: Imagen a blanco y negro que permite a través del prisma observar el verde..... 90

Lista de Tablas

Tabla 1: Descripción general de los talleres que componen la propuesta de enseñanza..... 61
Tabla 2: Red de categorías de análisis..... 67
Tabla 3: Cuadro de selección de unidades de análisis..... 69
Tabla 4: Tabla 3 con los indicios correspondientes al ejemplo..... 70
Tabla 5: Triangulación entre diversas fuentes de información sistematizada (tabla 3)..... 75

Lista de Anexos

Anexo 1: Propuesta de enseñanza (Talleres)..... 116
Anexo 2: Protocolo ético..... 132
Anexo 3: Registro fotográfico..... 133

Anexos digitales

Anexo digital 1: Imágenes asociadas a los talleres.pptx

Anexo digital 2: Transcripciones.doc

Anexo digital 3: análisis1.xlsx

Resumen

Presentamos la fundamentación teórico-práctica de un estudio histórico y epistemológico sobre los fenómenos cromáticos y el análisis de la propuesta surgida a partir de este e implementada en la formación inicial de maestros de Física. Esta investigación nace en el programa de Maestría en Educación en Ciencias Naturales de la Universidad de Antioquia, y se inscribe en el enfoque de trabajos de investigación del grupo de Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza – ECCE – de la mencionada universidad.

Este trabajo de investigación es una reflexión sobre el uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias a partir de la experimentación en los fenómenos cromáticos. Describimos la problemática de la reproducción de contenidos a enseñar y el papel del sujeto (maestro) en la selección de estos contenidos; ésta problemática se centra en la enseñanza de los fenómenos luminosos, en particular, los fenómenos cromáticos y la experimentación entorno a estos fenómenos.

Presentamos luego un estudio histórico y epistemológico sobre los fenómenos cromáticos desde Goethe y Newton; este estudio se fundamenta en la construcción de los fenómenos cromáticos, la experimentación como generadora de conocimiento y las formas de ver y su historicidad. Reflexionamos además sobre el uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias, mostrando un uso particular de la historia de las ciencias para determinar la posición epistemológica del maestro frente a la enseñanza. Proponemos una serie de talleres y actividades que configuran la propuesta pedagógica y se fundamentan en el mencionado estudio. Esta propuesta se implementó en un grupo de maestros en formación en física y se interpretó desde una mirada etnográfica como enfoque metodológico.

Como fruto del análisis de la información construida en la implementación de la propuesta, presentamos algunos hallazgos. Los hallazgos retoman los elementos conceptuales desde los protagonistas de la investigación y, además, involucran nuevos elementos relacionados con la historicidad y la relación entre percepción y experimentación-teorización para los fenómenos cromáticos.

1 8 0 3

Finalmente, esbozamos algunas conclusiones e implicaciones pedagógicas que destacan las potencialidades del uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias mostrando a los maestros como sujetos constructores de conocimiento.

Palabras claves: *Historia y epistemología de la ciencia, teoría del color, Newton, Goethe, experimentación exploratoria, estilos de pensamiento, enseñanza de la Física.*

Abstract

We present the theoretical and practical foundations of a historical and epistemological study on the chromatic phenomena and analysis of the proposal arising from this and implemented in the initial training of teachers of physics. This research was created in Master of Education in Natural Sciences at the University of Antioquia, and is part of the focus of research group Cultural Studies on Science and Education - ECCE - of that university.

This research is a reflection on the use of historical and epistemological analysis in science education from experimentation in the chromatic phenomena. We describe the problem of reproduction of contents to teach and the role of the subject (teacher) in the selection of such contents; this issue focuses on teaching the luminous phenomena, in particular the chromatic phenomena and experimentation around these phenomena.

Then we present a historical and epistemological study on the chromatic phenomena from Goethe and Newton; this study is based on the construction of the chromatic phenomena, experimentation as generative of knowledge and ways of seeing and its historicity. Also we reflect on the use of historical and epistemological analysis in the teaching of science, showing a particular use of the history of science to determine the epistemological position of the teacher in his role in the science teaching. We propose a series of workshops and activities that shape the pedagogical approach and they are based on the study mentioned. This proposal was implemented in a group of teachers in training in physics and was interpreted from an ethnographic perspective as methodological approach.

As a result of the analysis of information built in implementing the proposal, we presented some findings. The findings retake the conceptual elements from the research players and also

involve new services related to the historicity and the relationship between perception and experimentation-theorizing for chromatic phenomena elements.

Finally, we outline some conclusions and pedagogical implications that highlight the potential use of historical and epistemological analysis in the teaching of science showing teachers as subjects of knowledge builders.

Keywords: *History and epistemology of science, color theory, Newton, Goethe, exploratory experimentation, theory-oriented experimentation, style of thinking, Teaching Physics.*



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
1803

1. Problema de investigación

¿Qué hacemos los maestros de ciencias ante la pregunta por el qué enseñar?

Tomamos un libro de texto y resolvemos el asunto. La ciencia está allí compilada, los hechos científicos y la historia ya están predeterminados y el maestro es solo un reproductor. La reflexión sobre la ciencia que se enseña y el papel del maestro en ella constituye un problema de investigación que se ha postergado durante décadas. La relación que el maestro establece con el conocimiento científico, es parte fundamental del problema en cuestión y la complejidad de la mencionada relación se hace evidente en la reproducción de los contenidos a enseñar año tras año, década tras década.

En este sentido Romero & Aguilar (2013) consideran que “(...) los actuales “contenidos” por enseñar, tanto en educación media como en los cursos introductorios universitarios, no varían sustancialmente de los contenidos establecidos hace más de cinco décadas” (p.2). Esta situación está presente en las instituciones formadoras de maestros agravando el problema y perpetuando su permanencia.

La profesora Ayala (2006) menciona que “los cursos de ciencias a través de los cuales los maestros aprenden los contenidos disciplinares han sufrido muy poca transformación” (p.20), resaltando la invariabilidad de los contenidos científicos no sólo en programas escolares de educación básica y media sino también en los programas de formación de maestros. Esta invariabilidad supone que la ciencia se asume como algo atemporal y estático. Si los contenidos disciplinares tienen algún cambio, es para hacerlos "accesibles", para "acercarlos" a los estudiantes. Este cambio no implica una reflexión sobre los mismos sino el manejo de fórmulas, la memorización de definiciones y la elaboración de estrategias didácticas para facilitar su comprensión.

En síntesis, se enseña y se aprende algo que no sabemos qué es. Entre las diversas consecuencias que esto genera, Malagón, Ayala & Sandoval (2013) consideran que “los estudiantes tienen dificultades puesto que, generalmente, manejan algoritmos que si bien les permite operar las relaciones que se establecen entre variables, no les aportan mayor información sobre la organización de las fenomenologías abordadas que sintetizan” (p.10). En la anterior

expresión parece que la mirada se dirige hacia la organización de las fenomenologías... una frase aún sin significado para estudiantes y para maestros. ¿Qué es organizar la fenomenología de algo? Retomando a Malagón et al. (2013) construir una fenomenología es describir, interpretar y comprender la organización de experiencias y observaciones intencionadas de un fenómeno. Esta organización está acompañada de una comprensión conceptual y una disposición experimental.

¿Aprende el maestro a organizar su experiencia referente a los fenómenos que considera en la enseñanza de la ciencia? ¿Ha pensado en la coherencia entre esta experiencia y la ciencia que enseña? ¿Ha considerado seriamente las ideas de otros (estudiantes, científicos, colegas) como una manera de enriquecer la propia experiencia? ¿Ha reflexionado sobre el papel de la actividad experimental en su propia organización fenoménica? En consecuencia, ¿Ha cuestionado el papel de la actividad experimental en el aprendizaje de sus estudiantes?

No se discute que la ciencia está relacionada directamente con el estudio de fenómenos, para el caso de la física, fenómenos físicos. No se discute tampoco que en la enseñanza de las ciencias estos fenómenos son de fundamental importancia. Sin embargo, consideramos en esta investigación que la reflexión sobre la relación de la experiencia (de maestros y estudiantes) con estos fenómenos debe investigarse.

Lo anterior permite el planteamiento de algunas preguntas: ¿Cómo es la relación que el maestro establece con la ciencia que enseña? ¿Qué papel tiene la experiencia del maestro (relativa a los fenómenos) en la organización de contenidos a enseñar? ¿Cómo el estudio de las ideas de científicos, estudiantes y colegas puede contribuir a la reflexión sobre la organización de las fenomenologías? ¿Cómo la experiencia y observación intencionada de los fenómenos puede redefinir los contenidos a enseñar? ¿Qué papel tiene allí la actividad experimental?

Esta investigación explora posibles respuestas a las anteriores preguntas tomando como centro de reflexión los fenómenos cromáticos, es decir, relativos al color. Esta clase de fenómenos no son considerados ampliamente en la enseñanza tradicional, además exigen un papel protagónico de quien los estudia pues están en dependiente relación con el órgano de la visión. Los fenómenos cromáticos se prestan para situar al maestro como partícipe de la cultura científica, como constructor de conocimiento.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general:

Contribuir a la fundamentación de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias, mediante el diseño e implementación de una propuesta pedagógica dirigida a profesores de física y centrada en la experimentación sobre los fenómenos cromáticos.

2.2 Objetivos específicos:

- Realizar un análisis histórico y epistemológico sobre los fenómenos cromáticos que permita estructurar, simultáneamente, una red de categorías para generar e interpretar reflexiones de un grupo de profesores de física en formación

- Diseñar una propuesta de intervención pedagógica para su inclusión en las clases de física de profesores en formación que aborden actividades experimentales entorno a los fenómenos cromáticos y surgidas del análisis histórico y epistemológico para los fenómenos cromáticos.

- Identificar contribuciones pedagógicas del uso de los análisis históricos y epistemológicos a partir de la interpretación de las reflexiones de un grupo de profesores de física en formación cuando abordan actividades experimentales entorno a los fenómenos cromáticos.

3. Referentes conceptuales

En el caso de las ciencias naturales la pregunta “qué enseñar” no se considera profundamente puesto que las concepciones de maestros e investigadores sobre la ciencia, la asumen como un conjunto de teorías y leyes inmutables. Leyes que permanecen durante un tiempo incomprensibles ante los humanos pero que llegan o algún día llegarán a dominarse y comprenderse a plenitud. Leyes y teorías que en su mayoría corresponden a rigurosos formalismos matemáticos. Así, las formas de comprender la ciencia no son un problema pues ello está resuelto a través de supuestos naturalizados que consideran a la ciencia como aquel “sistema de verdades absolutas e incuestionables, atemporales: verdades objetivas que para existir no necesitan que alguien las conozca” (Rodríguez & Ayala, 1996, p.76). Esta noción de ciencia, que ha definido los contenidos a enseñar, no ha sido asunto de investigación. Shulman (1986) menciona que la investigación sobre la comprensión y representación de la ciencia por parte de los profesores mientras enseñan, está aún en sus comienzos pues no se ha considerado el contenido curricular como un rasgo fundamental del contexto, como un rasgo digno de estudiarse en detalle.

Esta forma de asumir la ciencia ofrece serias desventajas para su enseñanza. Los estudiantes y maestros no son partícipes de ella y por tanto es difícil aprender o enseñar organizaciones conceptuales construidas por otros. Para superar estas dificultades se precisa una forma de comprender la ciencia donde la experiencia del sujeto sea fundamental para darle protagonismo al que conoce, para nuestro caso el maestro. Una mirada diferente de la ciencia permitiría también una forma diferente de asumir la enseñanza de la ciencia.

La concepción de ciencia no es natural, está construida históricamente y depende de la imagen de conocimiento que cada uno posee. Elkana (1983) considera que “son principalmente, las imágenes del conocimiento socialmente determinadas, y no sólo el conocimiento como tal, las que determinan a los individuos o a los grupos, así como las cuestiones sobre las que se llegará a un acuerdo o desacuerdo” (p.8). En este orden de consideraciones, Elkana (1983) considera la ciencia como históricamente constituida, susceptible de ser cuestionada, discutida, formalizada, enseñada; variable de un sujeto a otro, de una disciplina a otra y de una época a otra. Según este autor, la ciencia es un *sistema cultural* determinado por el entramado de

significación que el mismo hombre ha creado. Es decir, una forma cultural, al igual que la religión, la magia y el arte; la ciencia es una expresión de nuestra cultura. Dentro de las múltiples dimensiones de la cultura, la ciencia es una forma de aludir a esta.

Consideramos que esta forma de concebir la ciencia da libertad a la comprensión o más bien a la construcción de la misma. De asumirse explícitamente en la enseñanza de las ciencias contribuiría a debilitar la noción generalizada según la cual los estudiantes no pueden ser constructores de conocimiento o aportar en la formación intelectual de sus pares, incluidos allí sus maestros. Así pues, se podría defender epistemológicamente la importancia de centrar la atención en el proceso de construcción de conocimiento más que en el resultado del aprendizaje; proceso en el cual el estudiante puede asumirse y ser asumido como en igualdad de condiciones y posibilidades que su maestro o cualquier científico. No obstante, a pesar de lo prometedor de estos planteamientos, las formas concretas como esto puede ser llevado a la escuela aún están por construirse. Serogluo & Aduriz-Bravo (2012) opinan que “muchas propuestas potenciales y enfoques de enseñanza han sido desarrollados y propuestos durante décadas pero se han dispersado porque no hay claridad en las intervenciones concretas para el aula” (p.767).

Este trabajo de investigación es una propuesta concreta de intervención. No sólo en la estructura de talleres y actividades sino en la manera como el docente asume su papel en la construcción científica. Para ello nos servimos de la historia y epistemología de las ciencias como referentes conceptuales, de análisis y de intervención.

A continuación discutimos las categorías que sirven de enfoque a esta investigación. En un primer momento, *la construcción de los fenómenos cromáticos desde Goethe* con una breve descripción de la problemática de la enseñanza de los fenómenos luminosos y la ampliación conceptual de la propuesta goetheana a través de las subcategorías: Visión y Naturaleza, El color como contraste entre oscuridad-luminosidad y Algunos principios asociados a la percepción del color. Luego mostramos *la experimentación como generadora de conocimiento* describiendo la experimentación orientada por la teoría y desglosando desde allí dos subcategorías: El carácter exploratorio de la experimentación y la relación Acción y Pensamiento. Finalmente, desarrollamos la categoría: *Formas de ver y su historicidad* donde proponemos un análisis del

pensamiento newtoniano y goetheano para luego determinar un papel concreto para los estudios históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias.

3.1 La construcción de los fenómenos cromáticos desde Goethe

En su acepción más común, en el contexto de la enseñanza la luz se asume constituida por rayos y consecuentemente representada por medio de segmentos rectilíneos. Esta representación hace trasladar a la noción de luz una estructura geométrica por medio de la cual se formaliza la fenomenología identificada. Se habla por ejemplo de la reflexión y la refracción de la luz, y se asocian a estos efectos desviaciones de segmentos y mediciones de ángulos y longitudes. Similares consideraciones se tienen cuando la luz se representa a través de una función de onda. En este caso, la mirada se dirige al análisis de la amplitud, la frecuencia, la longitud de onda, y a todas aquellas características atribuidas a la función de onda como objeto matemático. En esta última, la idea de rayo queda subsumida matemáticamente por la onda como representación de la luz a través del concepto “frente de onda”.

A pesar de que no es posible hacer inteligible el mundo físico si no es a través de las representaciones que tenemos de él, lo cierto es que estas representaciones usuales de la luz restringen la comprensión de los fenómenos luminosos a su dimensión geometría o analítica.

En el ámbito de la enseñanza esta forma de asumir la luz y sus posibles representaciones ha terminado privilegiando una “mirada teoricista” de los fenómenos luminosos, alejada de su nexos con las experiencias de los sujetos. Así, generalmente la enseñanza no se ocupa de ampliar u organizar la fenomenología en torno a la luz y el color sino de reproducir los modelos que de ella se tienen. Se olvida el fenómeno mismo para concentrarse en los modelos de la naturaleza de la luz.

Teniendo en cuenta que el modo de significar y asumir el conocimiento científico (sus contenidos, métodos, formas de producción) determina en gran medida el modo particular de enseñarlo, es claro que si la reflexión sobre los fenómenos luminosos se orienta hacia cuestiones relativas a la naturaleza de la luz, la enseñanza de estos contenidos posee una dirección ya predeterminada: aquella en la que la experiencia del sujeto es anulada por el dogma de la teoría.

Concordamos, en este sentido, con Gagliardi, Giordano, & Recchi (2006) cuando afirman que usualmente en la enseñanza de la física, la descripción e interpretación de los fenómenos luminosos está muy alejada del conocimiento común y de la experiencia de cada sujeto. En este contexto, la pregunta ¿qué es la luz? ha orientado la organización de los contenidos a enseñar. Por ejemplo, De Hosson (2004) realiza un amplio análisis donde rastrea históricamente la construcción de la luz como objeto abstracto merecedor de ser enseñado y de dirigir la comprensión de los fenómenos luminosos. Contrariamente, cuestionamientos asociados a la experiencia sensible del sujeto tales como la visión, la relación claridad–oscuridad y sombra-color, así como la comprensión de las diversas perspectivas que sobre este fenómeno físico se han desarrollado en la historia del pensamiento, son poco o nada importantes. En estos enfoques usuales la luz es un objeto “natural” que no depende del sujeto que lo piensa, ni del ojo que lo acaricia, ni de la cultura que lo crea.

Surgen, en este orden de consideraciones, algunos cuestionamientos como los siguientes: ¿Existen otras maneras de concebir los fenómenos luminosos? ¿Qué otros elementos diferentes a la luz pueden servir para construir tales fenómenos? ¿Cuál es el papel de la visión y la percepción del color en la organización de esta clase de fenómenos?

Los fenómenos cromáticos son parte de los fenómenos luminosos y son aquellos relativos al color. Estos fenómenos adoptan las explicaciones generales que para los fenómenos luminosos se tienen, mencionadas en el apartado anterior. Así pues, adoptan también las dificultades de centrarse en la naturaleza de la luz y en una mirada “teorista” del fenómeno. A pesar de esto, es preciso mencionar que los fenómenos cromáticos no pueden suponerse resueltos, deben construirse como un hecho científico.

Los fenómenos relativos al color han sido material de análisis para muchos científicos: Platón, Boyle, Descartes, Newton, Goethe, Helmholtz, Land, Hegel, Diderot, los aristotélicos y muchos otros (De Hosson, 2004; Goethe, 1945; Ribe, et al. 2002; Txapartegi, 2008; Werle, 2002). En los experimentos relacionados han primado el uso de prismas, líquidos traslúcidos, vidrios, lupas, observaciones astronómicas; además, la generación de sombras y espectros de colores, la reflexión sobre la visión y el ojo, entre otros aspectos.

En particular, Newton y Goethe estudian estos fenómenos, a principios del siglo XVIII en Inglaterra y a principios del siglo XIX en Alemania, respectivamente. Estas dos formas de organizar los fenómenos cromáticos son interesantes porque para el caso de Newton, su mirada fundamenta la forma actual (al menos en la enseñanza de la física) como se conciben los fenómenos cromáticos. Para el caso de Goethe, su estilo de pensamiento obedece a una manera diferente de concebir la naturaleza, donde el sujeto que observa el color es el protagonista.

Son muchas las situaciones donde el color amerita ser reflexionado. Un mismo objeto toma tonalidades diferentes: por ejemplo, las montañas pobladas de árboles que se encuentran lejanas tienden al azul con respecto a las cercanas que tienden al verde. Si esta de noche, estas montañas son negras e irreconocibles. Si nos ponemos unos lentes oscuros, estas mismas montañas se observan más oscuras. Si los árboles se incendian ya las montañas no serían verdes. Si quien observa es daltónico le parecen de color café. Si las miramos fijamente durante algunos segundos y luego observamos un fondo blanco, nos parece notar las mismas montañas pero de otro color. Como estos, son muchos los ejemplos donde un mismo objeto puede verse de diferente color¹. Entonces ¿Qué elementos estructuran esas diferentes percepciones?

3.1.1 Visión y Naturaleza

El fenómeno de la visión estuvo asociado a las condiciones fisiológicas del ojo como condición para ver. Según Taton (1972), luego de Kepler, se separó el problema óptico del problema fisiológico de la visión y esto supuso un logro para explicar este fenómeno. No obstante, también se convirtió en un obstáculo pues se disoció al sujeto de la acción de “ver”. Entonces al ojo, como órgano de la visión se le otorgó un papel pasivo, únicamente en función del reconocimiento de distancias y de su posición con respecto a los objetos que se ven. Como fruto de la mencionada disociación, el fenómeno de la visión se estudia desde dos perspectivas. La primera incluye el estudio de las distancias entre el ojo y el objeto, la nitidez percibida, el color del iris, el aumento o disminución del tamaño de la pupila, el agotamiento del ojo, el tamaño de los objetos en relación con el color del fondo, entre otros aspectos. En la otra perspectiva se centra la atención en la fugacidad del color, en los colores que se observan luego

¹ Todos estos ejemplos son parte de las respuestas a la pregunta ¿de qué color son las montañas? resuelta por varios maestros en formación.

de que el ojo estuvo en reposo, la presencia de imágenes luego de cerrar los ojos, la forma como la intensidad de luz afecta al ojo, las características de las imágenes que se observan en los sueños, la capacidad de simbolizar a través de imágenes coloreadas, las ilusiones ópticas y demás. Aunque relacionadas, estas dos perspectivas definen diferentes abordajes del fenómeno de la visión.

Podríamos considerar que la característica principal del primer grupo de situaciones es que en ellas los individuos y su historia no son relevantes. Ejemplificando lo anterior, el estudio de la visión en relación con el iris ha de ser la misma para un individuo con ojos verdes y para otro que posea el mismo color de ojos. La historia de cada uno de estos sujetos en nada interviene para el estudio de la visión de los objetos en seres humanos con ojos de color verde. Aunque esta apreciación parece ingenua, sirve al propósito de destacar el siguiente grupo.

En segundo lugar, tenemos situaciones que exigen una manera diferente de abordarlas. El siguiente ejemplo pretende ilustrar la manera compleja en la que los humanos se relacionan con la naturaleza a través de la visión. ¿De qué color es el cielo? ¿Azul, naranja o violeta? ¿En la noche cómo cambia su color? ¿Es el mismo color del cielo el que observa un niño en el campo o un niño en la ciudad? ¿Qué tiempo hemos dedicado a observar el color del cielo? ¿Depende el color del cielo de la cultura en la cual crecimos? ¿Cómo estudiar la sensación que genera observar el cielo? En las respuestas a las anteriores preguntas se destaca la historia de vida de cada sujeto. Es una historia donde la observación del cielo está llena de otros, de compañías, de tristezas, de alegrías, de sensaciones, de ojos de un color o de otro, de plantas o de desiertos, de unos colores y no de otros. Allí no basta un metro para medir, una luz para variar su intensidad o una imagen para ubicar lejos o más cerca del ojo.

En la perspectiva goetheana, la visión define un papel protagónico del sujeto y su historia. Para Goethe (1991) “Aunque colores y luz guardan relación exacta entre sí, una y otros pertenecen por completo a la Naturaleza, ya que por medio de ellos place a la Naturaleza revelarse de un modo especial al sentido de la visión” (p. 478). Goethe, antes de pensar en el color y los fenómenos cromáticos que lo constituyen como objeto científico, reflexiona sobre la relación entre el ojo que percibe y la naturaleza que existe para el sujeto en objetos coloreados. Para las observaciones del daltónico no se encuentra una falla del ojo sino una manera diferente

de ver el color, a su vez, una manera diferente de conocer la Naturaleza. Por ejemplo, para el caso más común de daltonismo, el azul cielo y el rosa son el mismo color; no se diferencia entre el rojo de la sangre y el café de la tierra. Podría decirse en este sentido, que esto conlleva a la elaboración de formas diferentes de significar objetos como la sangre, la tierra, las rosas y el cielo. En ocasiones, los daltónicos se adaptan a las apreciaciones de color socialmente establecidas señalando que el cielo es azul, la tierra café; pero estas apreciaciones no obedecen a lo que observan sino a lo que se acostumbran a responder. En esta medida, la naturaleza que conocen es una naturaleza diferente a la que conocen los demás, es necesario para ellos detallar aún más las formas y las texturas de los objetos. Goethe propone diversos experimentos con daltónicos y personas que poseen dificultades visuales para estudiar la manera como ellos observan el mundo, como ellos observan el color de las cosas. En su propuesta, las dos perspectivas mencionadas para el estudio de la visión (aquella dependiente y aquella no dependiente de la historia del sujeto que observa) se convierten en una sola. El estudio del fenómeno de la visión, para Goethe, incluye diversos elementos que dependen del contexto del sujeto que los construye, de su experiencia, de sus ojos, de su cultura y de su forma de asumir el mundo.

La relación Visión y Naturaleza debe comprenderse desde estos dos enfoques. No con la intención de separarlos sino de encontrar coincidencias y disminuir diferencias. Para lograr este objetivo, miremos el siguiente ejercicio.

Este ejercicio es parte del taller numero 2 (Los colores fisiológicos). Es uno de los experimentos propuestos por Goethe en su análisis de los colores fisiológicos (Goethe, Esbozo de una teoría de los colores, numeral 30). Al observar la siguiente imagen ¿qué se observa en el contorno del círculo negro?

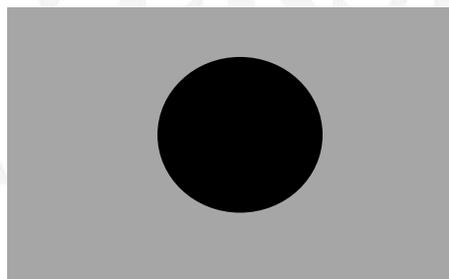


Figura 1: Círculo negro en fondo gris

En la gama de respuestas, lo común es una pregunta: ¿lo que observo es lo que espera que responda? ¿Ese... ese... algo que veo en el contorno entre el negro y el fondo gris es la respuesta a la pregunta? En este punto es necesario estar con alguien más y contrastar lo que se ve o quizás poder preguntarle a aquel que diseñó este ejercicio. Goethe lo propone con la intención de que cada uno mire con atención. Se nota una especie de aureola, contorno brillante, resplandor, arco luminoso, borde resplandeciente²; entre otros calificativos. Este resplandor es una demanda del ojo: ante la oscuridad pide la luz; ante la luz pide la oscuridad. Esta demanda es diferente para cada uno, a tal punto que algunos no logran identificar el resplandor. Todos no vemos lo mismo, depende de nuestra visión, de nuestros ojos, de nuestra historia.

Podemos agregar algunas modificaciones al ejercicio propuesto. Posiblemente cambiar el color del círculo, cambiar el color del fondo, ubicarse más lejos o más cerca, ampliar la imagen, ubicar imágenes claras en fondos oscuros, preguntarle a alguien con algún tipo de defecto visual lo que observa, observar la imagen a través de objetos traslucidos, entre otras modificaciones.

También podemos preguntar ¿qué evoca esta imagen? ¿Qué se observa si luego de mirarla con atención cierro los ojos? ¿Qué se observa si luego de mirarla con atención dirijo la mirada hacia un fondo blanco o negro? ¿En qué situaciones hemos observado cuerpos que presenten el mismo tipo de contorno que se observa en el círculo negro? ¿Si tomo una fotografía se captaría ese arco resplandeciente? Todas estas cuestiones ameritan ser modificadas, variadas, estudiadas, recordadas, relacionadas, contrastadas, complejizadas, simplificadas, captadas, etc. Y todo lo que resulte de ese espacio, define esa forma única como ese sujeto que conoce se relaciona con la naturaleza.

3.1.2 El color como contraste entre claridad-oscuridad

¿Cuáles son las condiciones para observar los colores? Usualmente, un ojo sano, presencia de luz y objetos. Sin alguno de estos tres elementos no es posible observar. Sin embargo, contando con un ojo sano, objetos para observar y presencia de luz tampoco se garantiza la posibilidad de percibir el color. Si nos encontramos a campo abierto, ante la luz incandescente del sol, no se puede observar. Es necesario mirar al suelo o “hacer sombra” a nuestros ojos con la

² Estos calificativos son parte de las repuestas dadas por los participantes de la investigación a esta pregunta.

mano para poder notar los objetos. Por esta razón, podríamos decir que es necesaria la sombra, es necesario un poco de oscuridad. En situaciones extremas, es decir, en la completa oscuridad y en la completa claridad, no se diferencian los colores, no se observa. En situaciones moderadas de claridad y oscuridad los colores de los objetos se modifican, como a medida que transcurre el día por ejemplo. Si miramos con atención, el color de los árboles es de un verde más intenso, más vivo a medio día. Ya en el atardecer ese verde tiende a ser un verde opaco y más oscuro. En otras palabras, no podemos percibir el color sino en una determinada relación entre claridad y oscuridad.

Para Goethe (1991), “la claridad, la oscuridad y el color constituyen juntos aquello que para la vista diferencia los objetos y sus diversas partes” (p. 478). Goethe, considera el color como el contraste entre claridad y oscuridad. La variación de este contraste determina diferentes colores para los objetos. El contraste da la idea de forma de los objetos y la relación de contraste es básicamente una relación de claridad y oscuridad. A medida que cae la noche, es decir, a medida que aumenta la oscuridad, las fronteras entre colores se desdibujan y no permiten la observación de imágenes; de algún modo, los colores tienden al gris, a la opacidad, a la igualdad y dejan de ser observables. Cuando se observan los colores, estos son más claros que la oscuridad y más oscuros que la claridad. No es una observación aislada sino en contexto, en el contexto del contraste.

Consideremos el siguiente ejercicio propuesto por Goethe. En la imagen ¿Cuál de los círculos grises es más oscuro? ¿Cuál es más claro?

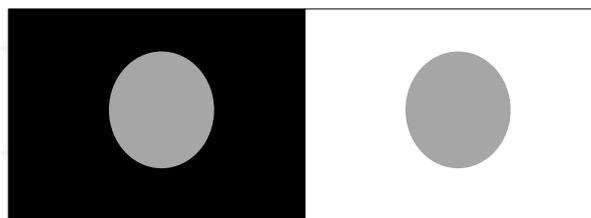


Figura 2: Círculo gris en fondo negro y en fondo blanco.

En palabras de Goethe (1991), el negro es el lugarteniente de la oscuridad y el blanco el representante máximo de la claridad. En la oscuridad el ojo pide la luz y en la claridad el ojo pide

la oscuridad. Acaso, ¿no parece que el gris de la izquierda es más claro que el gris de la derecha? Pues para este ejercicio se eligió la misma tonalidad de gris pero el gris de estos círculos depende del fondo en el que se encuentran.

Los colores de los objetos no son algo aislado del contexto en el que se ubican, ya sea un contexto tendiente a la oscuridad o a la claridad. Son en esencia más claros que lo oscuro y más oscuro que lo claro. Los colores no son una constante, varían dependiendo principalmente de la relación claridad-oscuridad en la que estén inmersos. Al ser los colores más claros que lo oscuro ¿podrían observarse en la completa oscuridad? Al ser los colores más oscuros que lo claro ¿podrían observarse en la completa claridad?

Ahora bien, ¿Cuál es el elemento primario que permite la creación de los fenómenos cromáticos desde la mirada goetheana? No es la luz, ni la oscuridad, ni su forma, ni su naturaleza sino el color y su percepción. El color como contraste entre claridad-oscuridad es el elemento epistemológico que permite construir los fenómenos cromáticos desde la mirada goetheana puesto que a través de este principio se estudian las sombras, la relación claro-oscuro, la gama de colores, la relación de los colores con el gris, el papel del blanco y el negro, los colores fisiológicos, los colores físicos y los colores químicos. El color se percibe siempre en relación con el contexto en el cual se enmarca y este contexto está determinado por la relación claridad-oscuridad.

3.1.3 Principios asociados a la percepción del color

Con propósito de organizar los fenómenos cromáticos, Goethe centra su atención en el color como concepto primario y estructurante. Propone organizar fenoménicamente todas aquellas experiencias frente al color y por ello surge la pregunta: ¿Qué principios permiten organizar el fenómeno cromático? Para ello Goethe propone diferenciar tres tipos de color: los colores *fisiológicos*, como siendo parte de la vista; los colores *físicos*, como derivados de medios materiales; y los colores *químicos*, como parte integrante de los objetos.

Las sombras coloreadas son un fenómeno que corresponde a los colores fisiológicos. Lo que normalmente las teorías científicas han llamado “ilusión óptica” puede comprenderse desde la perspectiva de Goethe como una situación donde los colores son parte de la vista. En este

sentido, corresponde al estudio de los colores fisiológicos el percibir de mayor tamaño un objeto blanco en fondo negro que un objeto negro en fondo blanco. Los colores químicos son aquellos que normalmente asumimos como los colores de los objetos. Se fijan permanentemente a través de la pintura o de procesos químicos, y usualmente son tan permanentes que pueden comunicarse a otros. Cuando ponemos una superficie coloreada al sol y un objeto traslúcido cerca, notamos cómo el color se comunica al objeto. Los procesos de tintorerías, litografías y pintores corresponden a procesos con colores químicos: mezclas, decoloración, continuidad del color en el tiempo y demás.

Para los colores físicos tenemos todos aquellos en los cuales un espacio material está entre el observador y los objetos. Este espacio puede ser un gas, el vidrio, el agua, un prisma, la atmosfera, entre otros. Goethe realizó sendos experimentos con prismas, imágenes de diversos colores y formas, y el observador en diversas posiciones. Los limbos coloreados son franjas de colores que comúnmente observamos en las fronteras entre colores (si observamos con atención), nos parece en algunos momentos que los bordes de las imágenes no están bien definidos. Al utilizar el prisma, la observación de estos bordes coloreados se magnifica y su estudio se hace más cómodo. Goethe presta especial atención a aquellos colores observados en estas franjas y bordes a través de un prisma transparente.

A continuación se describen las imágenes (sus franjas) de rectángulos observadas a través de un prisma (columna al extremo derecho) para algunos experimentos propuestos por Goethe.

	Imagen	Imagen observada
Rectángulo blanco en fondo negro		
Rectángulo negro en fondo blanco		

Gráfico 1: Rectángulo blanco en fondo negro y rectángulo negro en fondo blanco observados a través del prisma

En la frontera entre el blanco y el negro emerge el amarillo que se hace más denso hasta el naranja casi rojo. En la frontera entre el negro y el blanco emerge el cian que se hace más denso hasta obtener el violeta. El violeta es la exaltación del azul, como el rojo anaranjado es la exaltación del amarillo. Haciendo los rectángulos más angostos las franjas de colores se aproximan hasta unirse y obtener lo siguiente.

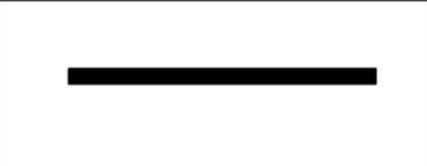
	Imagen	Imagen observada
Rectángulo blanco delgado en fondo negro		
Rectángulo negro delgado en fondo blanco		

Gráfico 2: Rectángulo blanco en fondo negro y rectángulo negro en fondo blanco observados a través del prisma (angostos)

En la unión del azul y el amarillo se forma el verde. En la unión del rojo anaranjado y el violeta se forma el magenta. Estos seis colores organizados en el círculo cromático permiten explicar todos los procesos alusivos a los colores ya sean colores fisiológicos, físicos o químicos.



Gráfico 3: Círculo cromático de Goethe

En la parte inferior el verde, que se forma de la unión entre el azul y el amarillo. El azul se va haciendo más denso hasta obtener el violeta, a su vez el amarillo hasta el naranja casi rojo. En

la parte superior el magenta como la unión entre el violeta y el rojo anaranjado. Según Goethe, los colores opuestos son colores complementarios y su unión representa el equilibrio. La naturaleza junto con el órgano de la visión como parte de ella, siempre buscan el equilibrio. Ante una superficie amarillenta se observa una sombra violeta. Ante una superficie verdosa se observa una sombra magenta.

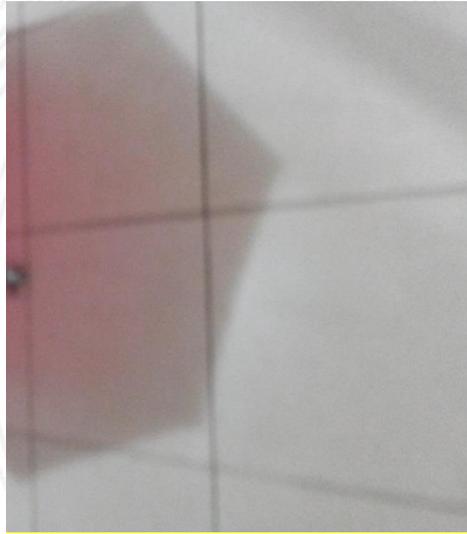


Imagen 1: Sombra de color magenta en una superficie verdosa³

El círculo de colores recoge potentemente la propuesta de Goethe. Este es utilizado actualmente para todas las combinaciones de color, desde pigmentos hasta la combinación de “luces de colores”. Las llamadas “luces de colores” son en la propuesta de Goethe colores físicos pues tras de cada luz de color esta un filtro traslúcido del color que se desea. “La luz revela ciertas propiedades de las superficies” (p. 638) dice Goethe (1991), para el caso la superficie que sirve de filtro. La combinación de las luces de colores y de los pigmentos de colores puede sintetizarse simétricamente en el círculo de colores de Goethe.

Si combinamos, en cualquiera de sus formas, el amarillo y el azul se obtiene el verde. En el caso de las luces, un verde que tiende hacia el amarillo (el color característico de la claridad). En el caso de los pigmentos un verde que tiende hacia el azul (el color de la oscuridad), puesto que los colores químicos conservan su carácter general de sombra.

³ Fotografía tomada por un niño de 1º en la Escuela Normal Superior de Copacabana en marzo de 2015. Esta imagen hace parte de la práctica pedagógica de la docente Cruz Andrea Sosa Rivera docente de 1º en esta institución.

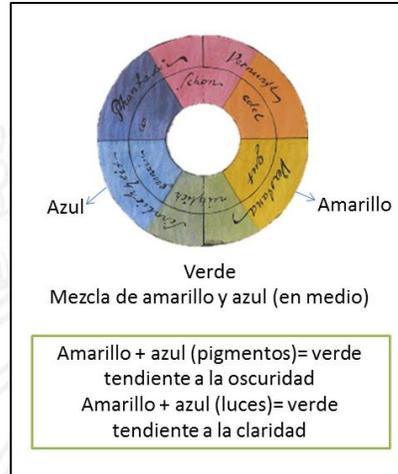


Gráfico 4: Mezcla de amarillo y azul en el círculo cromático

Si combinamos el rojo anaranjado con el violeta obtendremos un magenta para el caso de las luces y un morado para el caso de los pigmentos. El magenta está más cercano al amarillo (color de la claridad) y el morado más cercano al azul (color de la oscuridad).

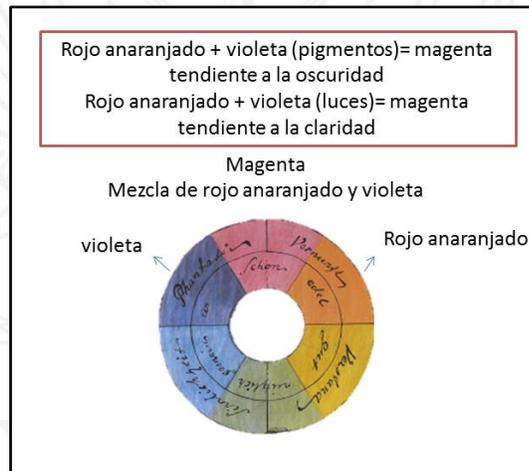


Gráfico 5: Mezcla de violeta y rojo anaranjado en el círculo cromático

En muchos experimentos se combinan los colores químicos con los colores prismáticos y la combinación se explica en términos del círculo de colores. Igual para la combinación de colores fisiológicos con colores prismáticos y cualquier otra combinación. El círculo de colores de Goethe es simétrico, armónico, complementario y útil.

El color es el camino para dotar de significado el mundo. El color es susceptible de ser comunicado, desaparecido, transportado y modificado. El color de un objeto es distinto en distintos momentos del día, o mirado bajo lentes diferentes, o pintado con pinturas diferentes. Los objetos translucidos toman el color del objeto más cercano mostrando su comunicabilidad. Ciertos químicos desaparecen el color de los objetos, también basta con cerrar los ojos o interponer unos lentes negros. El color puede ser transportado puesto que las anilinas y algunos tintes definen un nuevo color para los objetos. Además en nuestra mente se transforman los colores a nuestro arbitrio. Es necesario dejar de considerar el color como una característica de las cosas (que son diversas, movibles, transportables, cambiantes, etc.) y más bien al contrario. Es dotar de “características” medibles al color: intensidad, brillantez, permanencia o desaparición, cambio, relación, etc. El color se constituye a través de un diálogo entre el hombre y la naturaleza que construye en su hacer científico.

3.2 La experimentación como generadora de conocimiento

La experimentación tiene un papel fundamental en el quehacer científico; no obstante, al tratar de reflexionar sobre ésta, su rol no está bien definido. Cotidianamente se asume la experimentación como un proceso diferenciado de la teorización. Primero la teoría luego el experimento o viceversa. Por lo anterior es importante reflexionar un poco más sobre esta relación, ejemplificándola en los fenómenos cromáticos.

Actualmente nos parece que pensar los fenómenos luminosos necesariamente es cuestionarse sobre la naturaleza de la luz. Destacándose allí Newton y su teoría del color, pues la explicación que él da al experimento del prisma y la dispersión de la luz blanca se considera crucial para demostrar la naturaleza corpuscular de la luz. No obstante, un análisis de la relación teorización – experimentación para el caso de Newton pudiese servirnos a mejores fines.

En la época de Newton el efecto de la dispersión de la luz a través del prisma era conocido. Sin embargo, las teorías existentes predecían un espectro de colores circular, mientras que el espectro observado era oblongo. La ley de refracción de la luz, aceptada y utilizada en el momento, no explicaba dicha forma alargada del espectro. Newton orienta su trabajo a resolver esta contradicción.

Granés (1988), en su obra *Newton y el empirismo*, plantea que Newton forzó los experimentos luminosos, acomodándolos a la ley de Snell o ley de refracción de la luz. De acuerdo con Granés, el único camino para esta conciliación era asumir la luz como un ente de naturaleza compuesta, formada por diversas “cosas” que se refractan de manera diferente para formar el espectro oblongo. Esa diversidad estaba dada por distintos colores. Asumir lo contrario, la luz como un ente indivisible, implicaba por la ley de Snell la formación de un espectro circular. El experimento de la dispersión de la luz blanca al pasar por un prisma, “revela” su verdadera naturaleza: la luz del sol (o luz blanca) es una mezcla de rayos de diferente color. Así, según Newton, la propiedad “color” corresponde al grado de refrangibilidad diferente de los rayos de luz cuando se desvían al pasar por un prisma.

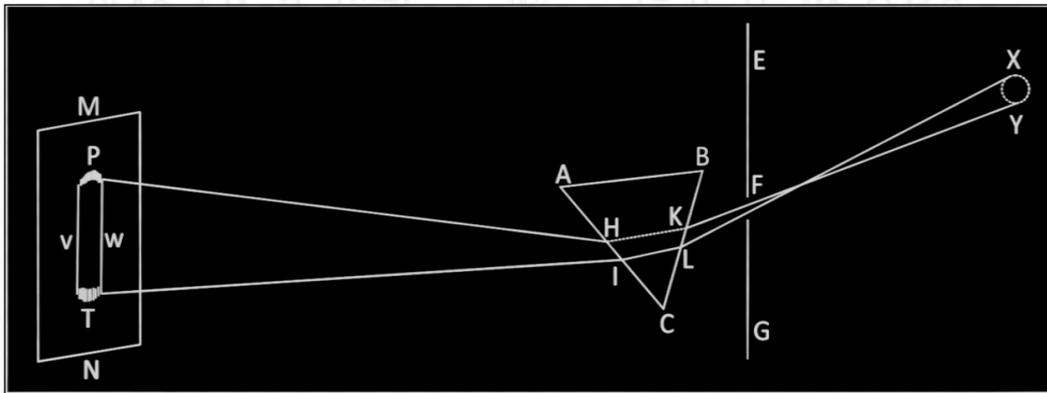


Imagen 2: Representación newtoniana de la dispersión de luz al pasar a través del prisma⁴

La refrangibilidad trae consigo la ley de Snell y la condición geométrica de rayo luminoso. Estos dos aspectos, configuran los experimentos newtonianos. Duhem (2003), luego de analizar con detenimiento el método newtoniano, aduce que este consiste en “comparar los colorarios de todo un conjunto de hipótesis con todo un conjunto de hechos” (p. 255). Todo el compilado experimental está orientado por la teoría y allí encontramos una relación teorización – experimentación que no escapa al caso de los fenómenos cromáticos.

⁴ En la imagen XY representa el orificio en la pared y el triángulo representa la vista transversal del prisma. Según Newton el haz de luz pasa a través del prisma y sus rayos se dispersan en el espectro de colores que va desde T (rojo) hasta P (violeta) según la refrangibilidad de sus rayos. Tomada de: ISAAC NEWTON. Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz. Traducción: Eugenio Días Del Castillo. Editorial Maestros de la Ciencia. Año 1945: Pág. 23

Según Silva y Martins (2003), cuando Newton publicó su obra, muchas personas no entendieron que todo su argumento dependía de la posición del prisma. Esto induce a pensar que las consideraciones experimentales de Newton requerían ciertas condiciones precisas para ajustar los resultados a conceptos ya elaborados.

Newton orientó su experimento para poder aducir que la luz se comporta como rayo, que existen diferentes tipos de rayos según su refrangibilidad (color) que se derivan en colores; los forzó para validar la ley de Snell. Esta clase de experimentación es llamada por Ribe & Steinle (2002) como experimentación guiada-teóricamente (theory-oriented experimentation), “se corresponde más o menos a la "estándar" en la filosofía de la ciencia, donde los experimentos están diseñados con las teorías formuladas previamente en la mente y sirven principalmente para probar o demostrar” o convencer (p. 45).

De acuerdo con lo planteado por Ferreiros & Ordoñez (2002), la filosofía de las ciencias ha privilegiado la visión “estándar” por encima de cualquier otro atributo; como los problemas y las virtudes en las dimensiones referentes a la base empírica y en las instancias experimentales, la reflexión sobre la relación filosofía - técnica, la disposición instrumental, entre otros aspectos. Inadvertidamente podríamos tratar de privilegiar la experimentación en contraposición a la preferencia por la teoría, pero se trataría entonces de recaer en la negación de un atributo de la ciencia, ahora desde otra perspectiva.

La experimentación guiada teóricamente no es la única manera de concebir la relación teoría-experimento. Al interior del discurso sobre la naturaleza de las ciencias, científicos, sociólogos e incluso antropólogos y maestros de las ciencias han encontrado alternativas para comprender la relación experimentación y la teorización. A continuación se menciona el abordaje experimental de la propuesta de Goethe como otra forma de significar la teoría y el experimento.

3.2.1 El carácter exploratorio de la experimentación

Goethe y su teoría del color son ejemplo de una forma diferente de asumir la experimentación en comparación con la experimentación orientada por la teoría. En su texto “Esbozo de una teoría de los colores” de 1810, describe un gran número de experiencias y

experimentos sobre la percepción del color. Su texto se divide en dos partes: parte didáctica y parte polémica. En la parte didáctica estudia los colores fisiológicos, físicos, químicos, las relaciones con otras disciplinas y el efecto sensible moral del color. En su parte polémica, critica uno a uno los experimentos del Tomo Primero de la Óptica de Newton.

¿Qué papel desempeñó la propuesta newtoniana en la teoría de los colores de Goethe? Cada quien ha de imaginarse una respuesta. No obstante, una cosa es común a todas las posibles: Goethe leyó con seriedad la teoría newtoniana. Según él, el estudio de esta propuesta le había robado “un uso más alegre y provechoso de varios años” (Goethe, 1945, p. 466). Varios años, años donde reprodujo uno a uno los experimentos newtonianos.

Para Duhem (2003), un experimento físico es “la observación precisa de un grupo de fenómenos acompañados de la interpretación de esos fenómenos” (p.193). Esta interpretación, es fruto de una elaboración intelectual muy compleja, diferente para cada sujeto, cuando menos, para cada cultura. La diferencia entre los experimentos propuestos por Newton y los reproducidos por Goethe (en su parte polémica) es la interpretación. Goethe se mostró en desacuerdo con los conceptos e ideas que orientaban la interpretación de los experimentos newtonianos. Por ejemplo, el primer teorema de la primera proposición de la Óptica de Newton inicia: “Las luces de diferente color...”. Inmediatamente Goethe manifiesta su desacuerdo: “¿qué luces? Newton en sus experimentos nos muestra papeles coloreados y las sensaciones que estos suscitan en nuestra retina las define como luces” (Goethe, 1945, p. 291). Es claro que Goethe no comparte los conceptos que sustentan la interpretación newtoniana. Por ello, es necesario, elaborar otros.

La base interpretativa de los fenómenos cromáticos, la construyó Goethe simultáneamente con los hechos experimentales. El no se preocupa por definir cosas sino por percibir efectos. Dice Goethe (1991), “quizás una historia completa de estos efectos comprendería a lo mejor la esencia de dicha cosa” (p. 11)”. Y así se dedicó a observar, a explorar, pero no a observar contemplativamente. Para Goethe, “El solo mirar no lleva a ninguna parte. Todo mirar se transforma en considerar, todo considerar en meditar, todo meditar en relacionar; a poco que se mire con atención ya se está en plena actividad teorizante”. (1991)

¿Y qué observó? Objetos de un color e igual forma en distintos fondos, la ropa negra o blanca en las siluetas de diferentes personas y en distintos lugares, los marcos de las ventanas en la madrugada, la luna en sus distintas fases, las imágenes que se forman en la retina, el sol, objetos de distinto color en fondos de variadas tonalidades grises... solo por mencionar algunas de las experiencias y experimentos que sugiere en los primeros 24 párrafos de su texto. Puede considerarse entonces que esta exploración del fenómeno es una simple observación aislada. Sin embargo, en los 920 párrafos de su obra, expone una gran variedad de experimentos agrupados según intenciones específicas.

Para el caso de los colores fisiológicos, por ejemplo, sugiere un grupo de experimentos con el negro, el blanco y diversas tonalidades de gris. Luego, en línea con este primer grupo, sugiere otros experimentos similares pero ahora con imágenes de diversos colores en fondos negros y blancos. Para concluir, al menos en este grupo de experimentos, cambia los fondos negros y blancos por tonalidades grisáceas. Luego traslada las mencionadas situaciones experimentales a observaciones a través de vidrios de color y a contextos de formación de sombras coloreadas.

A continuación, retomaremos paso a paso, un grupo de estos experimentos. La forma de desarrollar este grupo consiste en observar una imagen algunos segundos y luego retirar la imagen. En otras ocasiones, virar la mirada hacia una pared blanca o pantalla blanca⁵.

Parágrafo 37: Si se mira una imagen negra recortada sobre una superficie gris y, sin apartar la mirada, se la retira, el lugar que había ocupado aparece de pronto mucho más claro. Cuando del mismo modo se mira una imagen blanca, el lugar aparecerá luego más oscuro que la demás superficie.

Parágrafo 49: Cuando se mira fijamente un pedacito de papel o de seda de color vivo sobre una pantalla blanca poco iluminada y al cabo de algún tiempo se lo retira, sin apartar la mirada, se percibe en la pantalla blanca el espectro de otro color. (Goethe, 1945, p. 35 y 39)

Este experimento (parágrafo 49) se debe realizar con papelitos de otros colores. Luego de esto, cambiar el fondo blanco por fondos en tonalidades grises. Luego también, considerar la misma situación, ya no para papelitos, sino para vidrios coloreados. Por ejemplo, luego de mirar durante algún rato por unos anteojos de tonalidad verde y retirarlos, los objetos se observan con

⁵ Sugerimos mirar archivo digital adjunto llamado “imágenes y animaciones asociadas a los talleres” lo correspondiente al taller 2 para mayor claridad al respecto.

un brillo de color rosa. Se pueden complejizar un poco más estas experiencias, creando sombras de color, fenómeno que Goethe ampliamente describe en los párrafos del 62 al 80 y que proponemos en el taller 2 (Los colores fisiológicos).

El anterior recuento se relaciona con algunas experiencias comunes que Goethe narra antes de enunciar la regla empírica que define la observación del color para este grupo de experimentos. Consideramos que esta conexión con experiencias comunes es muestra de un diálogo permanente entre la percepción de la naturaleza y la disposición experimental para la construcción de los fenómenos cromáticos.

Parágrafo 52: “Cierta día en que, al caer la tarde, entré en una fonda y una muchacha de cuerpo bien plantado, rostro níveo, cabellos negros y corselete de color escarlata acudió a atenderme, la miré fijamente cuando en la penumbra se hallaba de pie a alguna distancia de mí. Cuando ella luego se apartó, percibí en la pared blanca de enfrente un rostro negro circuido de un halo de luz y la indumentaria de la figura claramente visible apareció de un hermoso color verde mar”. (Goethe, 1945, p. 39)

Para los anteriores experimentos y los demás relacionados que no alcanzan a describirse en este trabajo, Goethe (1945) define una regla empírica en línea con sus conocimientos sobre pintura. Parágrafo 56 “cuando una imagen coloreada se inscribe en una parte de la retina, la parte restante se apresta inmediatamente para producir los colores complementarios de los percibidos” (p. 41).

Los colores complementarios son parejas de colores que al combinarse originan el gris. Por ejemplo el color verde al ser agregado al color magenta, produce gris. En los experimentos mencionados se forman parejas de colores que se corresponden a los colores complementarios. La manera como Goethe representa esta regla empírica (junto con las otras que surgen de las observaciones sobre los otros tipos de colores físicos y químicos) es a través del círculo cromático, aspecto abordado en la primera categoría de este trabajo: *Construcción de los fenómenos cromáticos desde Goethe* en la parte correspondiente a *principios asociados a la percepción del color*.

Así pues, Goethe describe una gran variedad de experimentos en grupos para los cuales varía ciertas condiciones y con conexiones diversas. Esto con la intención de encontrar

regularidades y simultáneamente construir su representación. Ese abordaje exploratorio de los fenómenos cromáticos, ese pensar el color en distintos contextos, esa intención de relacionar los experimentos entre sí, más que un experimento aislado con una teoría general, es la principal característica de la obra de Goethe. La repetición y variación de una gran multiplicidad de experimentos es esbozada organizadamente en su propuesta de la teoría del color.

Esta forma de asumir la experimentación es propia de campos fenoménicos poco explorados. Propuesta por Ribe & Steinle (2002) como *experimentación exploratoria*, este tipo de experimentación “es impulsada por el deseo elemental de obtener regularidades empíricas y de construir los conceptos adecuados y las clasificaciones por medio de las cuales las regularidades pueden estar formuladas”. De esta forma “todos los demás efectos se pueden deducir o explicar de aquellos elementales complicando progresivamente la disposición experimental y la adición de nuevas condiciones” (p. 46). Un efecto particular y un fenómeno elemental pueden relacionarse mediante una serie de efectos intermedios. Según Steinle (2002), es común en la ciencia encontrar enunciados como el siguiente: “en ciertas condiciones A, B, C ocurre el efecto D” (p. 70). Aunque, como lo mencionamos anteriormente, estas afirmaciones están insertas en un marco interpretativo definido, han de tener una historia, una génesis; al menos para los conceptos A, B, C y D. Así, la construcción conceptual, la génesis de ideas, también es una característica de la experimentación exploratoria. A pesar de no estar direccionada por una teoría específica estructurada formalmente, la experimentación exploratoria es sistemática y de alguna manera direccionada.

En línea con el argumento esbozado sobre los colores fisiológicos en el extracto anterior, se enlistan a continuación algunas de las características fundamentales de la experimentación exploratoria: (Steinle, 2002, p. 301)

* “La variación de un gran número de diferentes parámetros experimentales”. *Diversos colores, diversos fondos, diversos materiales, diversas imágenes, diversos contextos.*

* “La determinación de cuáles de las diferentes condiciones experimentales son indispensables, las que únicamente se están modificando”. *¿La retina, la relación claridad-*

oscuridad, el estado de reposo o excitación del ojo, la superficie coloreada, la tonalidad del color, el ojo que observa?

* “La búsqueda de reglas empíricas estables”. *La formación de parejas de colores que se relacionan de una forma específica en diversos contextos.*

* “Encontrar representaciones apropiadas por medio de los cuales las reglas se pueden formular”. *El círculo cromático.*

Para esta intención, la de caracterizar la experimentación exploratoria desde el trabajo goetheano sobre los fenómenos cromáticos, tenemos unos hechos experimentales y la construcción de una base interpretativa que sirve al diseño de otros hechos. De alguna manera, la estrecha relación de constitución entre estos hechos experimentales y la construcción del marco conceptual que posibilita la experimentación exploratoria, es en sí misma, *la construcción de los fenómenos cromáticos*, categoría que discutimos al inicio de este marco teórico.

3.2.2 Acción y Pensamiento

Podríamos decir entonces que en la propuesta de Goethe se tienen unos hechos y es necesario adecuar los pensamientos a estos hechos (para cimentar la interpretación); esto es lo que Mach (1948) llama: *observación*. En cambio, para el caso de Newton y su teoría del color, se privilegian los pensamientos y la adaptación de estos pensamientos entre sí, está directamente relacionada con la *teorización*. Estos dos procesos, el de la *observación* (adaptación de los pensamientos a los hechos) y la *teorización* (adaptación de los pensamientos entre sí), son inseparables. Son características propias de la experimentación - teorización, para la que ahora podemos definir una relación alternativa. De acuerdo con Romero (2013) aceptamos una forma diferente de concebirlas, “las dos son dimensiones complementarias y dialécticas en los procesos de construcción social del conocimiento científico” (p. 87). La teorización y la experimentación son procesos complementarios y simultáneos pero diferenciables. Simultáneos porque para un instante dado no se pueden separar, complementarios porque no se conciben los hechos experimentales sin un marco conceptual que los interprete y viceversa. Pero estos procesos son diferenciables porque se les puede otorgar cierto énfasis a cada uno. ¿Qué énfasis? En la

experimentación prima la *observación* en el sentido Machiano, es decir, la adaptación de los pensamientos a los hechos. En la teorización prima la adaptación de los pensamientos entre sí.

Comúnmente, y siguiendo la tradición cartesiana, se separa el pensar del hacer, la mente del cuerpo, la naturaleza de la cultura. No obstante en esta forma alternativa de significar la experimentación es claro que en la acción hay pensamiento (García, 2011). En particular, y siguiendo a Steiner (1991), para la mirada de Goethe sobre los fenómenos cromáticos no se puede separar el mundo sensible del mundo de las ideas; Goethe argumenta esta dualidad específicamente con la relación Visión y Naturaleza, para la cual no hay separación alguna.

Este pensar en la acción es la génesis de ideas y conceptos que sólo se concretiza al ser comunicada (Mach, 1948). Y en estos actos comunicativos donde la abstracción se hace materia, la elaboración de juicios, ideas, descripción de percepciones y demás, suponen una construcción conceptual. En cuanto a la observación del color, tenemos que en la descripción de la acción de percibir los colores, hay manifestaciones del pensar. Para ejemplificar lo anterior, podemos retomar un párrafo del taller 1 (En compañía del color): Este taller proponía un ejercicio de completación de frases según unas instrucciones específicas. Para el párrafo retomado se muestran las instrucciones desde la 29 hasta la 41⁶.

Sin embargo, un mismo objeto no posee el mismo color en todo momento. Por ejemplo, **29**. Yo podría cambiar el color de algo a voluntad. Este **30** es de color **31**. Si **32** lo observo de color **33**. También podría **34** y se tornaría de color **35**. O quizás **36** porque así se ve de color **37**. Entonces si quisiera que durante unos segundos el **38** se observara de color naranja puedo **39**. El **38** puede verse también de color naranja durante más tiempo, unas horas o minutos, si **40**. En cambio, si quiero que el **38** sea de color naranja definitivamente o al menos durante días debo **41**.

29. Describa en este punto tres situaciones donde un objeto evidencie un cambio de color.

30. Tome un objeto de los materiales para la actividad y ubique el nombre del objeto en este apartado.

31. Describa el color o colores del objeto.

32. Diseñe un procedimiento para que el objeto en cuestión se observe de otro color.

33. Complete.

34. Describa un procedimiento diferente al del punto 32 que logre el mismo objetivo.

35. Complete.

⁶ Para profundizar en este aspecto mirar la descripción del taller (anexo 1).

36. Igual que el 34.
37. Complete.
38. Nombre una cosa u objeto monocromático (de un solo color).
39. Diseñe un procedimiento que se ajuste a la frase, es decir que permita observar esa cosa de color naranja durante unos instantes.
40. Describa otro procedimiento para lograr el naranja por un poco más de tiempo.
41. Describa otro proceso para lograr el naranja de manera casi definitiva.

Taller 1 (En compañía del color - fragmento)

Este párrafo de la actividad 1, exige ver los colores de las cosas y diseñar maneras diferentes de percibir los colores. Al describir la acción de “ver detenidamente” se pueden encontrar juicios e ideas sobre los puntos de vista de los sujetos o los grupos que construyen conocimiento. Estas son manifestaciones del pensamiento.

Retomando a Mach (1948), “en los primeros grados de la adaptación de los pensamientos a los hechos, es decir, de la observación, a menudo es suficiente combinar recuerdos intuitivos con la imaginación” (p. 143). Por ejemplo, ¿qué pensamos ante la pregunta por el color de nuestra piel? Observamos nuestros brazos con detenimiento, observamos los rostros de quienes nos rodean, recordamos intuitivamente que ya hemos resuelto esa pregunta y concluimos: “Mi piel no es blanca, ni oscura, ni amarilla ¿de qué color es mi piel? ¿Cuáles elementos configuran la pigmentación de la piel?”. En este ejemplo, notamos que el apelar a la intuición, imaginación o al pensamiento se configura en la acción misma de percibir. Luego, “para llegar a la adaptación ulterior, es preciso efectuar operaciones abstractas sobre los conceptos y considerar clases enteras de hechos desde el punto de vista de su reacción característica” (Mach, 1948, p. 143). Cuando Goethe y los participantes de esta investigación observan a través del prisma, estudian una clase entera de hechos: la formación de limbos, la adición de colores, la formación de espectros, entre otros. Para estos hechos es necesario adaptar sus pensamientos y definir nuevas reglas para pensar y percibir el color. Son varias las consecuencias investigativas de asumir la acción y el pensamiento como interrelacionados, pero confiamos con optimismo que la lectura y desarrollo atento de las actividades de la propuesta de intervención permitan esclarecer este supuesto, pues cada lector podrá entender que la lectura exige la acción y que en la acción está el pensar.

3.3 Formas de ver y su historicidad

La construcción de los fenómenos cromáticos y el papel de la experimentación en los mismos no son independientes del sujeto, sino directamente dependientes de su visión de mundo. Lo que observamos no depende estrictamente de los ojos; la visión se configura con la historia y forma de pensar de cada sujeto. Es común escuchar el dicho: “cada quien ve lo que quiere ver”, significando con esto que no se ve únicamente con los ojos físicos. La forma como se observa y se asume el mundo depende de la cosmovisión que cada uno tiene.

De acuerdo con Fleck (1986), “todo lo considerado sabido fue, en todos los tiempos y en opinión de sus autores respectivos, sistemático, probado, aplicable y evidente. Todos los sistemas ajenos fueron para ellos contradictorios, indemostrados, inaplicables, fantásticos o místicos” (p. 69). Es claro que en lo anterior no se trata de verdad o realidad, sino de observar con ojos diferentes. El llamado de Fleck en el estudio de perspectivas científicas, es un llamado a la epistemología comparada, es decir, a una investigación histórica y crítica de diferentes perspectivas sobre un grupo de fenómenos. Según Fleck (1986), “los sistemas de opinión tienen una tendencia a la persistencia donde lo que no concuerda con el sistema permanece inobservado y en caso de ser observado se guarda silencio al respecto” (p. 74).

Para el caso de los fenómenos cromáticos, dos han sido las perspectivas que se han estudiado en este trabajo: la de Goethe y la de Newton. La construcción de los fenómenos cromáticos de Goethe no es sólo muestra de una forma alternativa de organizar la observación del color, obedece a una forma alternativa de observar el mundo. Igual para Newton, su Óptica no es únicamente una propuesta de organización fenomenológica sino una consecuencia de su particular forma de concebir la Naturaleza. No se trata de justificar la teoría Newtoniana o Goetheana por encima de la otra, para el caso, la construcción de los fenómenos cromáticos en uno o en otro estilo de pensamiento; se trata más bien de estudiar estas perspectivas epistemológicamente.

Las preguntas sugeridas por Fleck (1986) que direccionan el estudio de estas dos perspectivas sobre los fenómenos cromáticos son las siguientes:

- ¿Qué concepciones estructuran el punto de vista newtoniano y goetheano?

- ¿Cómo la teoría newtoniana o goetheana para los fenómenos cromáticos describe hechos que encajan perfectamente en estas?
- ¿Qué contradicciones surgen de estas perspectivas? ¿Se reflexiona sobre esas contradicciones?
- ¿Cómo se reinterpretan nuevos hechos para hacerlos acordes con los estilos de pensamiento estudiados?
- Si “En la ciencia como en el arte y en la vida, sólo aquello que es realidad para la cultura es realidad para la naturaleza (Fleck, 1986, p. 81)”, entonces ¿qué conexiones histórico – conceptuales encontramos actuando en estos dos autores?

Cualquier intento por caracterizar el estilo de pensamiento newtoniano siempre resulta difícil. Hay muchos, demasiados trabajos sobre Newton que intentan caracterizar su obra y su forma de proceder. Además, todos los iniciados en Física (y ni que decir de los filósofos de la ciencia) suponen conocer el estilo de pensamiento newtoniano y esto dificulta aún más la tarea. Sin embargo, tratar de dilucidar el proceder científico de Newton, la base de su pensamiento, la forma como la relación con otros constituyó su obra, serviría; al menos para ayudar a comprender un poco más nuestra propia forma de pensar los fenómenos cromáticos. Para la propuesta goetheana ocurre algo diferente. Son tantas las biografías, los escritos originales y las explicaciones sobre la forma de proceder del filósofo, que el mar de interpretaciones posibles van desde tipificar su experimentación, hasta exaltar su esoterismo; pasando por la ética, la estética, la literatura, entre otros (Magallanes, 2000). Estudiar la obra de Goethe se presta para reflexionar sobre muchas disciplinas: el arte, la estética, la física, la literatura, la filosofía, entre otras. Tanto así que algunos llegan a considerar su obra científica como mera especulación.

Para efectos de este trabajo optamos por una opción sencilla. Un proceder que no ambiciona comprender plenamente un estilo de pensamiento; sino más bien dilucidar en algunas palabras un mensaje. Se trata, como propone Piñuel (2002), “de lograr la emergencia de aquel sentido latente que procede de las prácticas sociales y cognitivas que instrumentalmente recurren a la comunicación para facilitar la interacción que subyace a los actos comunicativos concretos y subtiende la superficie material del texto” (p. 4). Entonces pretendemos captar el sentido latente de los actos comunicativos plasmados en los textos sobre la teoría del color de Newton y Goethe.

Proponemos para ello, una reflexión desde el estudio de uno de sus experimentos de más renombre. En la descripción de este experimento, en su redacción, en la explicación de sus características, quizás hallemos la clave para dilucidar cómo Newton o Goethe observaban el mundo para estructurar su teoría de los colores.

3.3.1 El experimento del cuadrado rojo y azul

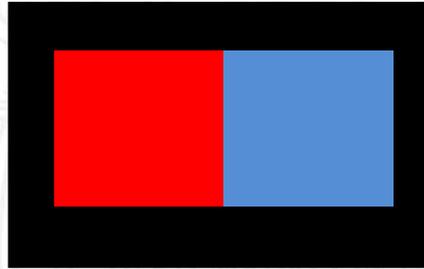


Figura 3: Cuadrado rojo y azul en fondo negro.

Como explicitamos en el apartado: *la experimentación como generadora de conocimiento*; Goethe estudió uno a uno los experimentos propuestos por Newton en su Óptica. Para cada uno tenía comentarios que se fundamentaban en su propia propuesta de comprensión de los fenómenos cromáticos.

En particular, el experimento del cuadrado rojo y azul sirve para el objetivo de comparar epistemológicamente estas perspectivas. Este experimento guarda en las explicaciones de sus autores los principios que estructuran cada teoría. El color como el resultado de un grado de refrangibilidad diferente para cada rayo de luz, en el caso de Newton; y el color como elemento primario que configura las observaciones, para Goethe.

A continuación se muestran los fragmentos originales donde estos científicos se remiten al mencionado experimento.

Inicialmente Newton muestra los experimentos que considera cruciales como el experimento del cuadrado rojo para fundamentar los experimentos consecuentes. A través de la descripción de este experimento, Newton considera como evidente asociar un color a cada grado

de refrangibilidad de los rayos de luz. Como parte del tomo primero de la Óptica de Newton (1945) se encuentra el mencionado experimento:

Tomé un papel negro y rígido más largo que ancho, delimitado por lados paralelos, y mediante una raya perpendicular que unía los dos lados anchos lo dividí en dos partes iguales. A continuación pinté una de las dos partes de rojo y la otra de azul. El papel era de un negro intenso, y extendí los colores en una capa gruesa y saturada, para que el fenómeno se destacara en toda viveza. (p. 19)

Se trata de dos cuadrados, uno rojo y otro azul en un fondo negro, como muestra la figura 3. No obstante Newton especifica que estos colores se pintan encima de un fondo negro. Esto seguramente para que el rojo y azul sean muy oscuros. En su descripción del experimento, Newton continúa:

Miré este papel a través de un prisma macizo de vidrio cuyas caras atravesadas por la luz eran planas y cuidadosamente pulimentadas y formaban un ángulo de unos 60 grados, que denomino el ángulo refringente. Mirando así el papel, alcé el prisma hacia la ventana, en forma que los lados anchos del papel y el prisma quedaban paralelos al horizonte, la raya que separaba los dos colores formaba un ángulo recto con el mismo y la luz que desde la ventana caía sobre el papel formaba con este un ángulo igual a aquel bajo el cual el papel reflejaba la luz en la retina. (p. 19)

Se puede comprender lo que Newton plantea; para esto es necesario un poco de geometría, paciencia en la lectura y preferiblemente estar acompañado. Aquel que trate de reproducir este experimento y lo logre, se dará cuenta que la descripción anterior obedece a mirar los cuadrados a través del prisma, ubicando el eje del prisma paralelo al horizonte. La forma de tomar el prisma no es obvia y supone una construcción colectiva que se propone en gran parte de los talleres de la propuesta de intervención. Continuemos con Newton:

Más allá del prisma, el alfeizar [base de la ventana] estaba revestido de paño negro, para evitar que desde allí penetrara luz, pasara rasando los contornos del papel a la retina y, mezclándose allí con la luz reflejada por el papel, perturbara el fenómeno. (p. 20)

Continúa con más descripciones para que el experimento no falle. Para el caso, cubrir con un paño negro aquellos lugares que impidieran que el experimento funcione.

Una vez así dispuestas las cosas, al volver hacia arriba el ángulo refringente del prisma y quedar el papel coloreado aparentemente desplazado hacia arriba, me di cuenta de que la mitad azul aparecía más elevada a raíz de la refracción que la roja. Y cuando volvía el ángulo refringente hacia abajo, así que el papel aparecía desplazado hacia abajo a raíz de la refracción, la mitad azul lo parecía estar más que la roja de lo cual se infiere que en ambos casos la luz que desde la mitad azul del papel llega a la retina a través del prisma experimenta en igualdad de condiciones una mayor refracción que la luz proveniente de la mitad roja y por ende es más refrangible que esta. (p. 20)

Al tratar de observar por el prisma se puede ubicar el prisma a una altura mayor que la de la posición de los ojos. O también, ubicar el prisma por debajo de la altura de los ojos. A esas dos posiciones se refiere el *ángulo refringente desplazado hacia arriba o hacia abajo*. En el segundo experimento, Newton (1945) toma el cuadrado rojo y azul y lo enrolla con hilo negro para observarlo a través de un lente. Nuevamente concluye lo mismo "... el azul era refractado más que el rojo por el lente y en consecuencia debía ser más refrangible" (p. 21). Goethe (1945) en el capítulo 2 (colores físicos) de su *Esbozo sobre una teoría de los colores* también se refiere al experimento del cuadrado rojo y azul. Este capítulo inicia en el párrafo 136 y finaliza en el 485. En él propone diversas experiencias sobre la percepción de colores al mirar a través de la niebla, de prismas, de lupas, en general de medios incoloros o al menos traslucidos. En el párrafo 260 al 266 luego de estudiar los limbos y bordes observados (mirar categoría Construcción de los fenómenos cromáticos – principios asociados a la percepción del color) nos dice:

Si desplazamos una imagen coloreada, se origina, con arreglo a las mismas leyes una imagen concomitante [simultánea]. En el primer caso, la imagen virtual se identifica con la real y la agranda aparentemente, en tanto que en el segundo la imagen real es susceptible de volverse impura y borrosa a raíz de la imagen virtual [...] Si se toma la lámina preparada para estos experimentos y se miran a través del prisma el cuadro rojo y el azul sobre fondo negro, uno al lado del otro, en la forma habitual, como ambos colores son más claros que el fondo, exhiben arriba y abajo idénticos bordes y limbos [franjas] coloreados, sólo que no se presentan con nitidez pareja. El rojo aparece, respecto al negro, mucho más claro que el azul; de modo que los bordes del cuadrado rojo son más vivos que los del cuadrado azul, que aquí se presenta más bien de un color gris oscuro que se distingue muy poco del negro. El borde superior rojo se identifica con el color bermejo del cuadrado, así que el cuadrado rojo

aparece un poco ampliado hacia arriba. El limbo amarillo sólo aviva la superficie roja y se destaca recién cuando se mira más cerca. (p. 89 y 90)

Según la ley de limbos y bordes esbozada en la primera categoría, al observar a través de un prisma un cuadrado rojo o azul en fondo negro se comporta como la imagen blanca en fondo negro, determinando un borde amarillo y rojo. Estos bordes rojo y amarillo, son los que se identifican con el rojo bermejo del cuadrado y avivan la superficie roja, respectivamente.



Figura 4: Imagen blanca en fondo negro observada a través del prisma- parte superior

Goethe continúa:

En el contorno inferior de los dos cuadrados se originan un borde azul y un limbo violeta, con el efecto contrario; el borde azul, incompatible con la superficie bermeja, ensucia el rojo amarillento produciendo una especie de verde, así que de este lado el cuadrado rojo parece reducido y llevado hacia arriba y el limbo violeta lindante con el negro es apenas perceptible. (p. 90)

En forma análoga, según la ley de limbos y bordes esbozada en la primera categoría, al observar a través de un prisma un cuadrado rojo en fondo negro se forma en la parte inferior un limbo violeta y otro cian.

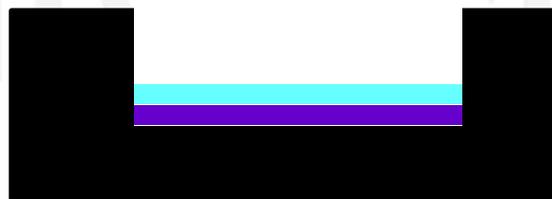


Figura 5: Imagen blanca en fondo negro observada a través del prisma – parte inferior

Finalmente describe la regla empírica que organiza todos los experimentos esbozados en su obra, no sólo para cuadrados en fondo negro sino también en otros fondos y de otros colores.

Es por demás, muy singular el fenómeno que se comprueba en las imágenes coloreadas sobre fondo claro, oscuro o coloreado: el color de la imagen concomitante se fusiona con el color real de la imagen principal dando lugar a un color compuesto ya realzado por armonía o menoscabado por falta de armonía. (p. 90)

Los anteriores fragmentos, tanto de Newton como de Goethe, pueden ser analizados desde tres aspectos: el dispositivo material para el experimento, la percepción de lo observado, y finalmente, la adecuación entre lo observado y su justificación. Sugerimos para este análisis observar a través del prisma un cuadrado rojo y otro azul en fondo negro, para ello se adjunta el archivo digital con una presentación que facilita este objetivo.

Newton describe un experimento que exige diversas disposiciones materiales: un tono para el rojo y para el azul muy específico, un paño en el alfeizar, una ubicación muy precisa para el prisma, “un prisma macizo de vidrio cuyas caras atravesadas por la luz eran planas y cuidadosamente pulimentadas”, entre otras disposiciones. Para ello describe que observa lo siguiente (figura 6):

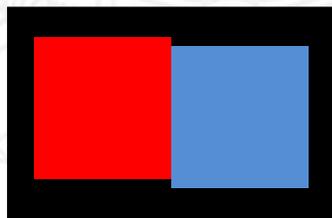


Figura 6: Cuadrado rojo y azul observado por Newton a través del prisma.

Aquí se ve el cuadrado rojo desplazado con respecto al azul. Justifica esta observación en la refrangibilidad⁷ de los rayos de luz. Indicando que la refrangibilidad de la luz azul es mayor que la refrangibilidad de la luz roja.

⁷ “Refrangibilidad de los rayos de luz es su aptitud para ser refractados o desviados de su trayectoria al pasar de un cuerpo o medio transparente a otro. Y una mayor o menor refrangibilidad de los rayos es su aptitud para desviarse más o menos de su trayectoria...” (Newton, 1945, pág 18).

Para el caso de Goethe, él realiza diversos experimentos con fondos de distinto color y cuadrados con cualquier tipo de azul o rojo. No necesita el paño negro en el alfeizar ni de ciertas condiciones de luz. Al observar a través del prisma nota unos bordes o limbos coloreados, más o menos así (figura 7):

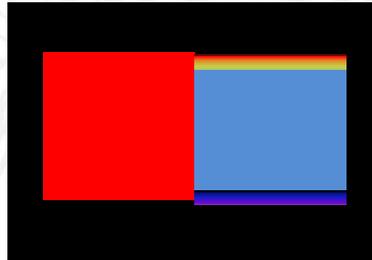


Figura 7: Cuadrado rojo y azul observado por Goethe a través del prisma.

Goethe argumenta la formación de limbos y bordes en línea con el principio que se describe en la subcategoría *principios asociados a la percepción del color* de este mismo trabajo. El borde superior rojo que genera el cuadrado rojo se adiciona al mismo haciéndolo parecer desplazado. El borde amarillo se suma al rojo destacándolo aún más.

El borde inferior generado por el cuadrado rojo es de un tono gris que se ve opacado por el negro del fondo.

Para el cuadrado azul, las franjas que se generan no son azules sino de un violeta y un cian que ensucian [le restan a su característica de ser azul] el azul del cuadrado. Goethe en su estudio encuentra en los colores de los bordes que se observan a través del prisma un principio de construcción para toda su propuesta. Este principio supone que los colores fisiológicos (colores fugaces donde el ojo es el factor determinante), los colores físicos (colores observados a través de un medio turbio – es el caso del prisma – y permanecen lo que dure el objeto turbio en medio del ojo y lo que se observa) y los colores químicos (los colores de las cosas – son colores perdurables) se adicionan los unos a los otros. Para el caso, los colores de los cuadrados son colores químicos, los colores de las imágenes concomitantes son colores físicos y se suman de tal modo que el cuadrado rojo se ve desplazado y el cuadrado azul se ve falto de armonía. A través de este principio explica las posibles variaciones de los experimentos que propone.

En el análisis anterior notamos que la disposición material para el experimento varía, lo observado también y la relación entre lo observado y su justificación está claramente diferenciada.

Entonces, ¿Qué es lo que se ve?⁸ ¿Qué observamos cuando a través del prisma miramos un cuadrado rojo y azul en fondo negro? ¿Limbo coloreado o un aparente desplazamiento?

Se ve lo que Newton argumenta siempre que el cuadrado tenga un azul muy oscuro. Él mismo da la indicación de la tonalidad para los cuadrados. Si no se sigue esta indicación, el experimento no funciona. Para Goethe, se observan limbo siempre que el observador observe bien; como lo reitera en muchos experimentos.

3.3.2 Sobre la perspectiva newtoniana

Newton asume el anterior experimento como *crucial*. Es decir, que pone fin a toda duda sobre la formación de los colores y supone la base que explica la observación de los mismos. Para él, es evidente que el desplazamiento en los cuadrados es debido a la refracción de la luz roja y azul al pasar por el prisma. El construye el experimento de tal modo que minimiza todas aquellas condiciones que puedan alterar el fenómeno. Al describir la forma como ha de reproducirse el experimento es en suma detallista; de tal modo, que aquel que falle en su observación es porque no lo realizó tal cual sus indicaciones. Entonces, independientemente del sujeto que percibe, siempre que se sigan tal cual las indicaciones, se ha de observar lo mismo. Este argumento es coherente con las indicaciones que el mismo da sobre el proceder de un filósofo natural, “Al momento de experimentar es necesario prescindir de aquellas observaciones que contradicen las proposiciones verdaderas” (regla IV, Newton, 1967). Algunas condiciones experimentales dan muestra de razones verdaderas, no puede el filósofo dejarse engañar por aquellas condiciones superfluas. Por tal razón, para poder evitar aquellas condiciones que contradicen las razones superiores, es obligatorio especificar con tal detalle las descripciones de los experimentos. La intención es facilitar la reproducción de los mismos y evitar caer en aquellas contradicciones que pueden surgir de una *mala* disposición instrumental. En otras

⁸ Invitamos al lector a realizar el experimento.

palabras, la reproducción detallada de los experimentos hace que la naturaleza se muestre verdadera e independiente de aquel que observa, es la objetividad pura.

El experimento del cuadrado rojo y azul es para Newton la esencia de una gama amplia de experimentos. Es el representante que puede luego por inducción dar las pautas sobre la interpretación de otros experimentos de su misma condición. Sin embargo, no presenta cómo se llegó a ese experimento; enuncia el adecuado, el que se ajusta, el que si da. Su discurso, catalogado comúnmente como sumamente empírico, es una lectura directa de la Naturaleza; en esa medida los experimentos le ofrecen el comportamiento de la misma.

De los anteriores párrafos se puede concluir que, para Newton, la filosofía experimental aleja al sujeto de la naturaleza permitiendo su observación objetiva. Además, la naturaleza puede reducirse a experimentos cruciales que sirven para comprenderla globalmente. El sujeto puede a través de la filosofía experimental objetivar la Naturaleza, “La Naturaleza, es acostumbradamente simple y siempre consonante consigo misma (regla III)” dice Newton.

3.3.3 Sobre la perspectiva goetheana

Goethe muestra su comprensión del experimento del cuadrado rojo y azul luego de una variada serie de experimentos. En la subcategoría *experimentación exploratoria* se puede evidenciar la manera como Goethe amplía, varía y complejiza los experimentos. Luego de variar ampliamente los experimentos, trata de identificar en ellos principios básicos que permiten analizar estos grupos. Estos principios los utiliza para mirar nuevamente los experimentos de los que partió en un inicio. Así, el proceso continúa, puesto que una nueva mirada bajo principios organizadores necesariamente permite el surgimiento de nuevas condiciones experimentales. Así pues, el sujeto tiene un papel activo al momento de conocer la Naturaleza. Es el sujeto quien define el camino, quien dirige su mirada, quien reconstituye su pensar.

Goethe pretende determinar los fenómenos en la medida como estos lo determinan a él. En palabras de Goethe (1945), “en todo el mundo sensible, todo depende, en definitiva, de la relación que guardan entre sí los objetos, sobre todo de la que existe entre el hombre, el objeto terreno más importante, y los demás” (p. 71).

Así como el hombre es la Naturaleza: compleja, amplia, manifiesta, indeterminada; además, constituyente del sujeto. Esto lo ejemplifica en la variedad de sus experimentos y la forma de abordarlos. Goethe considera que el estudio de la Naturaleza y sus fenómenos son una obligación pues el deber de todo hombre es configurar su existencia. Esta se logra en directa relación con la percepción. Pues no se concibe hombre sin un lugar para percibir o un lugar sin un hombre para que lo perciba. Según Steiner (2002), para Goethe, no existe un mundo sensible (naturaleza) sin idea, fuera del hombre. La Naturaleza está hecha para que nosotros la percibamos y nosotros estamos hechos para percibir la Naturaleza. Pero no sólo eso, en ese camino de percepción, hombre y naturaleza se constituyen.

Traer en forma comparativa las propuestas de Newton y Goethe es importante porque se convierten en una excusa para reflexionar sobre nuestra visión de mundo. Es un uso de la Historia que destaca la experiencia de cada sujeto. Sujetos no del pasado sino del presente y maestros del futuro. Lo que está en juego sobre todas estas consideraciones, no es sólo la historia de los fenómenos cromáticos en Goethe y Newton, menos una historia sobre el papel de los sentidos y lo que se ve o lo que ha de verse; es nuestro *estilo de pensamiento*. Como dicen Arnaud & Pierre Mayrargue Savaton: “¿no existe detrás de toda opinión científica una posición epistemológica?” (2006, p. 2).

El anterior estudio histórico y epistemológico ha desarrollado planteamientos sobre la construcción de los fenómenos cromáticos, la experimentación como generadora de conocimiento y las formas de ver y su historicidad. Estos tres aspectos corresponden a características del proceso de construcción de conocimiento. Es pertinente ahora preguntarse ¿Cómo el análisis histórico y epistemológico desglosado en este capítulo cobra sentido en la enseñanza de las ciencias?

3.3.4 Los análisis históricos y epistemológicos de las ciencias

Los estudios históricos y epistemológicos de la ciencia ofrecen una gran variedad de posibilidades, porque no solo aportan maneras diferentes de comprenderla sino que también determinan nuevas posibilidades de asumir la historia y la dinámica del conocimiento científico. “Mirar la historia es preguntar por el pasado desde el presente, y en consecuencia implica

reconstruir el pasado desde el presente y viceversa”, dice Ayala (2006, p. 28) en su propuesta del uso de los análisis histórico y epistemológicos para la enseñanza de la física. A través de los estudios históricos y epistemológicos buscamos respuestas a preguntas por el sentido de los fenómenos estudiados, por el papel de los científicos en la producción de estos fenómenos, por la importancia de la experiencia de cada sujeto y de cada cultura en una organización conceptual, por las actividades experimentales planteadas, entre otras. El diálogo con aquellos que históricamente han pensado los fenómenos también es una característica de la ciencia.

En particular, la lectura de textos de primera fuente y el enriquecimiento de la experiencia a través de ellos es un paso exigido en esta construcción. Como menciona Ayala (2006) este proceso puede considerarse como una recontextualización de saberes en el que “se trata más bien de establecer un *diálogo* con los autores a través de los escritos analizados, con miras a construir una estructuración particular de la clase de fenómenos abordados y una nueva mirada que permita ver viejos problemas con nuevos ojos” (p. 29). Esta estructuración particular depende del maestro, del científico, de la época, de la intención, de los contextos. Es la evidencia de la diversidad pura que caracteriza a la ciencia como sistema cultural.

En particular, los análisis históricos y epistemológicos son fundamentales para el maestro para reflexionar sobre los contenidos a enseñar. De acuerdo con Ayala, “el conocer el carácter cambiante y diverso de la ciencia y la ausencia de una dirección de desarrollo única y trascendente exige repensar lo que se enseña” (p. 26).

En los análisis históricos y epistemológicos encontramos una forma concreta de situar intelectualmente al maestro (y al investigador) puesto que estos exigen repensar los procesos científicos y a su vez los procesos de enseñanza. A través de estos se puede identificar la cambiante naturaleza del discurso científico, las características del mismo, el papel del sujeto y del grupo de sujetos que construye conocimiento, además del momento cultural e histórico en el cual se dan los hechos científicos.

Como argumentamos en las categorías y subcategorías previas a este apartado, el estudio histórico y epistemológico realizado para los fenómenos cromáticos permitió destacar aspectos disciplinares (La construcción de los fenómenos cromáticos desde Goethe), de orden

metodológico (La experimentación como generadora de conocimiento) y de orden epistemológico (formas de ver y su historicidad). No obstante, los estudios de esta naturaleza no solo permiten identificar los mencionados aspectos y construir discursos teórico-prácticos al respecto, sino también reformular las prácticas de enseñanza. ¿Cuál es la función de un maestro? ¿Cuál es su papel frente a la elección de contenidos? ¿Qué debe enseñar a sus estudiantes? ¿Qué función le otorga a la historia de la ciencia dentro de su formación y práctica pedagógica? Estas preguntas también se pueden abordarse al realizar un análisis histórico y epistemológico. En las categorías mencionadas se destacaron aspectos sobre Newton, Goethe, formas usuales de asumir la experimentación, estilos de pensamiento, entre otros elementos; sin embargo, se trata primordialmente de un episodio histórico construido desde el presente que tiene como referentes la historia de vida de los investigadores y los participantes de esta investigación. La historia a destacar no es la de Newton ni la de Goethe, sino la de aquellos que desde el presente configuran su historia a partir del diálogo con otros. Aunque se resalten los estilos de pensamiento de Newton y Goethe, lo importante aquí es que cada uno de los participantes reflexione sobre su forma de asumir el mundo y percibir la naturaleza. En línea con esto, las prácticas de enseñanza necesariamente se transforman en oportunidades para generar espacios de diálogo con aquellos que han aportado a nuestras formas de pensar, como Newton o Goethe, pero sobretodo, con nosotros mismos.

4. Marco Metodológico

4.1 Enfoque y tipo de estudio

¿Cómo contribuir a la fundamentación de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias?⁹

Al interior de las múltiples formas de resolver esta pregunta podría un investigador recoger gran multiplicidad de estudios históricos y epistemológicos, agruparlos bajo categorías funcionales y describir su sentido científico y pedagógico. Así pues, podría este investigador sentar los fundamentos sobre el uso de los estudios históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias. Otra manera de resolver la pregunta podría consistir en estudiar la historia de vida de un maestro dedicado a la construcción de análisis de este tipo e identificar las virtudes de esta práctica para el maestro en cuestión.

No obstante, la opción por la que hemos tomado partido es la de contribuir a la fundamentación de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias mediante el diseño e implementación de una propuesta pedagógica dirigida a profesores de física y centrada en la experimentación sobre los fenómenos cromáticos. El diseño de la propuesta pedagógica es el fruto del análisis histórico y epistemológico realizado para los fenómenos cromáticos y allí ya se define un fundamento para este tipo de estudios en la enseñanza de las ciencias. En un segundo momento la interpretación profunda de la implementación de dicha propuesta contribuye al logro del objetivo. Es en esta interpretación y el destacado papel que allí tienen los maestros donde podemos destacar elementos que sirvan de base al uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias.

4.1.1 La etnografía de Geertz

Metodológicamente buscamos nombrar aquel esfuerzo intelectual, aquella especulación elaborada por los maestros al construir los fenómenos cromáticos y participar de la experimentación. Para Geertz (1992) esta construcción es etnografía.

⁹ Pregunta de investigación correspondiente al objetivo general de esta investigación.

¿Cómo desentrañar las reflexiones que realiza un maestro si en ellas están plasmadas estructuras conceptuales relativas a la enseñanza, la ciencia, la experiencia y demás? Al respecto Geertz (1992) responde:

Lo que en realidad encara el etnógrafo es una multiplicidad de estructuras conceptuales complejas, muchas de las cuales están superpuestas o enlazadas entre sí, estructuras que son al mismo tiempo extrañas, irregulares, no explícitas, y a las cuales el etnógrafo debe ingeniar de alguna manera, para captarlas primero y para explicarlas después. (p. 7)

Una labor de interpretación en un contexto donde aparece lo que los maestros pensamos sobre la ciencia, la enseñanza, los científicos, la educación, los estudiantes y sobre nuestra labor. Reflexiones que en el momento mismo de su captación son un claro ejercicio interpretativo. No puede confundirse la etnografía con un observar todo. El etnógrafo se concentra en un ámbito específico de observación, susceptible de construcción. Así pues, la labor del investigador, para esta investigación, es interpretar los hechos de un grupo de maestros que se reúnen para discutir en torno a la ciencia y su enseñanza.

La ciencia es entendida en este trabajo como un sistema cultural, como una forma de construir sociedad. ¿Y qué es la cultura? Retomando a Geertz (1992), “la cultura consiste en estructuras de significación socialmente establecidas en virtud de las cuales la gente hace cosas tales como señales de conspiración” (p. 9). La enseñanza de las ciencias es una estructura de este tipo, en la cual los maestros se reúnen a conspirar...

Cabe aclarar que el papel del maestro como protagonista de la investigación no es el de receptor de un contenido, ni el de ejemplo de errores conceptuales. El maestro es más bien, como dice Fleck (1935), un colega que participa del intercambio de ideas en una estimulante conversación, ésta a su vez produce un estado en el que cada uno de ellos (investigador y maestro) expresan pensamientos que no estarían en condiciones de producir por sí mismos o en compañía de otro. “Lo que procuramos es (en el sentido amplio del término en el cual éste designa mucho más que la charla) conversar con ellos (los protagonistas de la investigación)”, una cuestión, según Geertz (1992; p. 10), bastante difícil.

En este orden de ideas, esta investigación es de tipo cualitativo-interpretativo abordada desde un enfoque etnográfico. La elaboración de los talleres constituye un intento por captar esas

estructuras conceptuales y complejas de los maestros. Luego la interpretación de la implementación de la propuesta es una forma de hacer explícitas esas estructuras complejas.

4.1.2 Elkana y la descripción densa en la ciencia

La etnografía sugerida por Geertz (1992), es descripción densa. Esta herramienta de descripción cultural aplica no sólo para discursos sobre la educación, las etnias, los grupos sociales, sino también para la ciencia. Al respecto Elkana (1983) considera que “La descripción densa supone acabar con la falsa distinción filosófica entre el lenguaje de observación y lenguaje teórico” (p. 5). Y este lenguaje perteneciente a la actividad de observar, en nada se diferencia del lenguaje teórico o elaborado por aquellos a quienes se observa. Se pretende que los maestros piensen la ciencia y en la opinión de Ryle, “La descripción densa es una manera de describir la complejidad del pensamiento” (Ryle, 1966, Citado por Elkana, 1983: 5)

De acuerdo con Elkana, consideramos que la historia de las ciencias y el discurso científico están formados por descripciones densas. En esas descripciones se encuentran estructuras conceptuales complejas y, retomando a Geertz (1992), la labor del etnógrafo es captar estas estructuras y luego explicitarlas.

¿Cómo lograr que el maestro elabore descripciones densas sobre la ciencia? Tenemos los análisis históricos y epistemológicos como una forma de dialogar con el pasado desde el presente, como una forma de situar al maestro en la cultura científica. Además contamos con Goethe y Newton, con su fértil propuesta teórico-práctica sobre el color. Con lo anterior podemos lograr lo que Elkana (1983) describe como:

Formular problemas, ubicar fenómenos, demarcar lo que parece evidente por sí mismo de lo que parece asombroso, escoger y observar los movimientos, cambios, procesos, dimensiones, colores, mostrar las conexiones entre fenómenos que hasta entonces se habían considerado independientes o alejados, reducir un fenómeno a otro, describir sus experimentos. (p. 5)

Allí están esas estructuras complejas superpuestas que para el caso de la ciencia, son según Elkana (1983) de tres tipos. 1) Del cuerpo del conocimiento científico: en cualquier momento dado hay un estado del conocimiento con sus métodos, sus problemas abiertos, sus conjuntos de teorías y sus conceptos. 2) De orden metodológico: las opiniones sobre las tareas de la ciencia (la

comprensión, la predicción), sobre las fuentes del conocimiento (la revelación, el razonamiento, la experiencia basada en los sentidos). 3) De orden epistemológico: Los valores y las normas incluidas en las ideologías, las consideraciones políticas, las presiones sociales, las concepciones de mundo (p. 8).

Para esta investigación, el diseño de actividades e instrumentos de indagación se realizó simultáneamente con el análisis histórico y epistemológico realizado para los fenómenos cromáticos. Este análisis se encuentra ampliado en el marco conceptual. Para propósitos metodológicos, las categorías definidas en el marco conceptual se cruzan con las estructuras que se encuentran en la descripción densa propuesta por Elkana.

Así pues, proponemos tres dimensiones de análisis. 1) Sobre la construcción de los fenómenos cromáticos desde Goethe: visión y naturaleza, el color como contraste entre claridad-oscuridad y los principios asociados a la percepción del color. 2) En cuanto a la experimentación: el carácter exploratorio de la experimentación y la relación entre la acción y el pensamiento. 3) Sobre las formas de ver y su historicidad: el estilo de pensamiento newtoniano y el estilo de pensamiento goetheano.

4.2 Contexto y participantes

El contexto donde se implementó la propuesta de intervención, es la formación inicial de profesores de física en el programa de Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia). En dicho programa se ofrece el espacio de conceptualización *Taller de física*. El objetivo de este espacio es “concientizar al estudiante de su rol como generador de conocimiento en la enseñanza de las ciencias, a través de actividades donde la experimentación se presenta como uno de los ejes articuladores de los procesos de enseñanza”¹⁰. Este curso plantea el análisis de una serie de fenómenos a través de talleres y documentos de referencia. Para el caso de la implementación de la propuesta se incluyó para el programa del curso, un núcleo temático sobre experimentación exploratoria en los fenómenos cromáticos. Este núcleo se desarrolló en 4 semanas con 14 participantes en el semestre 2015-1. Por tal motivo, a la propuesta de enseñanza se le agregaron documentos relacionados con el curso para ajustarlo al

¹⁰ Programa de curso: Taller de Física. Docente: Julián David Medina Tamayo. Semestre: 2015-1. Licenciatura en Matemáticas y Física. Facultad de Educación. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia.

programa. Este agregado a la propuesta (la inclusión de la lectura de textos asociados a la experimentación exploratoria) permitió mejorar aún más la participación de los protagonistas.

4.3 Propuesta de intervención y elaboración de registros

Las técnicas de producción de registros para esta investigación se centran principalmente en una propuesta de enseñanza que incluye talleres, lectura de documentos y plenarias de socialización para los talleres y documentos. Para la implementación de esta propuesta de enseñanza se desarrolla también una observación participante documentada a través del diario del investigador. Adicionalmente algunas entrevistas semiestructuradas permiten fortalecer el análisis de la implementación de la propuesta. El objetivo es la construcción de registros que puedan ofrecer *descripciones densas* tan cual proponemos en el marco metodológico.

A continuación detallamos en dos grupos (propuesta de enseñanza y otras técnicas de producción de datos) la propuesta de intervención.

4.3.1 Propuesta de enseñanza

La propuesta de enseñanza sobre los fenómenos cromáticos constituye una opción de enseñanza de la física a maestros en formación. Es una alternativa a las tradicionales maneras de enseñar los fenómenos cromáticos donde el maestro como sujeto de conocimiento en nada interfiere en los contenidos a enseñar. Esta propuesta, en cambio, destaca al maestro como constructor de conocimiento y como partícipe de la cultura científica.

Los talleres fueron inspirados por el estudio histórico y epistemológico realizado para los fenómenos cromáticos; sin embargo los 2 últimos talleres están rediseñados a partir de lo observado en la implementación y plenarias de los primeros talleres. La elaboración de estos talleres supone la concreción de un gran número de lecturas, experiencias, experimentos, discusiones, búsquedas, contrastes, propuestas e ideas.

La propuesta de enseñanza está formada por cuatro talleres para desarrollar cada uno en dos horas de clase y de los cuales quedan registros escritos. Además, luego de cada taller se propone una plenaria de dos horas acompañada con un documento de base. Las intervenciones

de los participantes fueron grabadas en audio. Los talleres proponen episodios históricos para contextos de discusión específicos.

El taller número 1 se titula “En compañía del color” y pretende situar a los participantes como protagonistas de la acción de ver en la medida en que las actividades exigen evocar experiencias diferentes para cada observador. Este taller utiliza la creación de textos como materialización de las lecturas del mundo, para el caso la acción de ver los colores. En las diversas actividades se deben realizar acciones que permiten completar un texto sobre la historia de alguien (ellos) que observa el color y el cambio de color de los objetos. La labor del pintor y la observación de los entornos naturales inspiran algunas de los puntos del taller, pues permiten que los maestros en formación reconozcan en su experiencia con el arte y su relación con la naturaleza elementos para la construcción de los fenómenos cromáticos. Se trata entonces de un episodio histórico construido desde el presente que tiene como referentes la historia de vida de cada participante.

Para el taller numero 2 titulado “Los colores fisiológicos” retomamos fragmentos de la propuesta goetheana sobre estos colores para ser discutidos en la relación Visión y Naturaleza. Estos fragmentos se relacionan con experimentos donde el ojo como órgano de la visión es protagonista. Exigen que los participantes representen observaciones de colores sumamente fugaces y diseñen nuevos dispositivos experimentales para lograr que estos colores permanezcan un poco más y facilitar su estudio. Además, la realización de este taller se propone en parejas pues las observaciones de colores obedecen a percepciones consensuadas dadas la relevancia de la visión (que es diferente para todos) y la dificultad para observar colores de este tipo.

En el taller 3 que trata sobre “Los colores y el prisma triangular” se propone el estudio de la observación a través del prisma de imágenes negras, blancas y coloreadas en distintos fondos. Allí proponemos varios de los experimentos sugeridos por Goethe para los colores físicos y el análisis de un fragmento que cuestiona la experimentación tradicional, pues exige repensar la manera como asumimos la experimentación para otros fenómenos distintos al cromático.

Algunas de las imágenes de los talleres 2 y 3 (los colores fisiológicos y los colores y el prisma triangular) se encuentran disponibles en una presentación en Power Point como anexo digital para este trabajo (imágenes y animaciones asociadas a los talleres.pptx). El objetivo de

este archivo es facilitarle al lector la realización de los talleres pues consideramos compleja la comprensión de la construcción de los fenómenos cromáticos sin que el observador sea protagonista de lo que se ve.

El taller 4 titulado “Newton y Goethe: el problema del cuadrado rojo y azul” es el resultado del análisis no sistematizado de la implementación de los primeros dos talleres, la participación en el curso complementario II sobre Epistemología e Historia de las Ciencias y la concreción de algunos supuestos en torno al carácter epistemológico de la construcción de los fenómenos cromáticos en Newton y Goethe como episodio histórico. En medio de la elaboración del estudio histórico y epistemológico de los fenómenos cromáticos para Goethe, en contraste con Newton, estuvieron presentes inquietudes sobre la historia como posibilidad de análisis epistemológico para la formación de maestros. A su vez, en el curso complementario en cuestión se preguntaba por un uso para la historia de las ciencias en la enseñanza de las mismas. Además en las plenarios de los talleres 1 y 2, los maestros hicieron aportes que cuestionaban permanentemente lo que aprendían en la universidad en contraste con formas alternativas de asumir la experimentación donde ellos eran protagonistas. Aunque los enunciados por parte de los participantes a los que nos referimos se interpretan con mayor detenimiento en el capítulo de los *hallazgos*, es necesario aclarar que estos aportes permitieron la concreción del taller 4. Este taller utiliza los fragmentos de Newton y Goethe a cerca del experimento del cuadrado rojo y azul para que cada participante se ubique como lector y protagonista de la interpretación de estos fragmentos. Por esta razón la plenaria es simultánea pues el estudio de las perspectivas newtonianas y goetheanas sobre este experimento sirve para que los participantes y el colectivo de maestros expliciten formas de ver. Es un episodio histórico a destacar pues aunque Newton y Goethe sirven como instrumento de análisis, son los maestros en formación que participan de esta investigación los que reconocen en esta actividad sus formas de ver y la historia asociada a ellas. Es un uso específico para la historia de las ciencias; un uso donde la historia sirve para reconocernos como protagonistas de la construcción científica.

A continuación se muestra una tabla resumida de los talleres. Estos aparecen como anexos a este trabajo.

1 8 0 3

Tabla 1: Descripción general de los talleres que componen la propuesta de enseñanza

TALLER	OBJETIVO	DESCRIPCIÓN	PREGUNTAS CLAVE	DOCUMENTOS PARA LA PLENARIA
1. En compañía del color	Encontrar en el color un elemento que permite organizar la acción de “ver”, a través de la idea de transformación del color.	Es un texto de carácter narrativo donde se deben realizar algunos experimentos y evocar experiencias para completar las frases del texto.	¿Cómo transformar el color de un objeto? Ilustre algunas situaciones donde la observación del color es fugaz, temporal o permanente. ¿Cuáles son las condiciones para percibir el color?	Goethe, J.W. (1991). <i>Obras completas</i> . Tomo I. Aguilar S.A. de Ediciones: México, D.F. (Introducción a la teoría de los colores pp. 476-481)
2. Colores fisiológicos	Reconocer el papel de la visión en la percepción del color.	Se muestran algunos fragmentos del texto de Goethe que exigen la realización de experimentos. Con algunas indicaciones se hace necesario proponer nuevos arreglos experimentales y variaciones en los mismos.	Diseñe un dispositivo que permita obtener una sombra de color. ¿Cuál es el color del espectro de una imagen coloreada que se observa por algunos instantes y luego desaparece?	Steinle, F. (1997). <i>Entering new fields: Exploratory uses of experimentation. Philosophy of Science</i> , S65-S74.
3. Los colores y el prisma triangular	Formalizar la percepción del color utilizando el prisma como instrumento de exploración en los	Se proponen la elaboración de algunas imágenes para ser observadas a través del prisma y a partir de su estudio	Construir imágenes a blanco y negro que al ser observadas a través del prisma permitan la percepción de colores como el verde y el magenta.	Ribe, N., & Steinle, F. (2002). <i>Exploratory experimentation: Goethe, Land, and color</i>

	procesos de transformación del color.	sistemático proponer regularidades en la percepción del color.	Identificar regularidades en la percepción de los colores que resultan de las anteriores observaciones.	theory. Physics Today, 55(7), 43.
4. Newton y Goethe: el problema del cuadrado rojo y azul.	Identificar en la propuesta goetheana y newtoniana de los fenómenos cromáticos dos formas de abordar la naturaleza, definiendo en este proceso la posición epistemológica de cada uno.	A partir de la lectura de las propuestas originales del experimento del cuadrado rojo y azul por parte de Newton y Goethe, se proponen variaciones experimentales que cuestionan la posición de cada participante frente a lo que se observa y por ende, ante la forma de concebir la naturaleza.	¿Qué se observa en el experimento del cuadrado rojo y azul? ¿Cómo variar este experimento? Caracterice las propuestas de Goethe y Newton para organizar los fenómenos cromáticos. ¿Cuál es el papel del científico en los dos enfoques mencionados? ¿Cuál es la relación teorización-experimentación en estos enfoques?	Plenaria simultánea con taller.

Es importante destacar que la elaboración formal del marco conceptual de esta investigación lo realizamos en simultánea con la construcción de los talleres que hacen parte de la propuesta de enseñanza. Consideramos que la construcción de referentes conceptuales para la elaboración de propuestas pedagógicas es parte de la labor de *teorización* de un investigador en enseñanza de las ciencias. Así mismo, la elaboración e implementación de talleres es parte de la *actividad experimental* de un investigador en enseñanza de las ciencias. Entonces, la relación teorización y experimentación como “dimensiones complementarias y dialécticas en los procesos de construcción social del conocimiento científico” (Romero, 2013, p. 87), se hizo evidente en el desarrollo de esta investigación. La construcción del marco teórico y la propuesta de intervención se desarrollaron de manera dialógica constituyéndose simultáneamente y aportando de manera recíproca. Deseamos hacer especial énfasis en lo anterior puesto que la relación entre teorización y experimentación que proponemos debe evidenciarse en la investigación misma, desnaturalizando ideas tradicionales según las cuales un investigador primero teoriza y luego experimenta.

4.3.2 Otras técnicas de producción de datos: entrevistas y diario investigativo.

Además de la propuesta de enseñanza como recurso óptimo para la elaboración de registros, la observación participante (diario del investigador) y la entrevista semiestructurada (audio) sirvieron como elementos de interpretación.

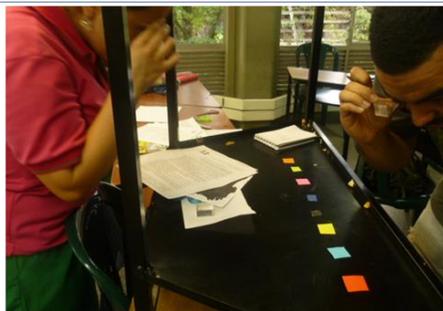
La entrevista se realizó luego de finalizadas las sesiones de talleres y plenarias, y su objetivo era comprender con mayor profundidad los aportes de los participantes. Durante la entrevista y gracias a la conversación con el entrevistado también pudimos concretar algunas ideas sobre las potencialidades del uso del análisis histórico y epistemológico sobre los fenómenos cromáticos materializado en la propuesta de enseñanza para la formación de maestros. Las preguntas que sirvieron de base a la entrevista buscaban la opinión del entrevistado sobre la propuesta de talleres, la experiencia del grupo en el desarrollo de la propuesta, el análisis de la perspectiva newtoniana y goetheana, el proceder científico y la

experimentación, la percepción del color y su relación con la historia del observador, la variación experimental para profundizar en el estudio de los fenómenos cromáticos y demás.

El diario del investigador sirvió como instrumento para la observación participante y formó parte de la construcción de registros desde el inicio de la investigación. En el diario investigativo se registraron dudas, ideas, narraciones, deseos, decepciones y en general toda clase de reflexiones que resultaran de una necesidad comunicativa. Inicialmente sirvió al propósito de ubicarnos frente a la historia de Newton y Goethe en la construcción de los fenómenos cromáticos. Luego sirvió para el fin de documentar aquellos aspectos que como etnógrafos queríamos destacar en la implementación de la propuesta de enseñanza. Este diario, a través de las narraciones que en él se encuentran, permitió la estructuración de las actividades finales, la concreción de dudas sobre la misma investigación y el registro de la percepción de los aportes de Goethe, de Newton y del colectivo de maestros en formación.

En el siguiente gráfico presentamos la línea temporal de elaboración e implementación de la propuesta de intervención.

Gráfico 6: Línea temporal de la propuesta de intervención



4.4 Análisis e interpretación

Luego de contar con los registros ¿Cómo proceder con el análisis? La mirada metodológica de esta investigación nos proporciona herramientas de interpretación que inician con la misma investigación y que no se agotan luego de la sistematización de los datos. No obstante es importante describir el proceso de transformación de los registros en datos y su interpretación, es decir, la obtención de los hallazgos.

Como mencionamos en el apartado anterior, los registros que resultaron de la propuesta de intervención son el diario investigativo y los talleres escritos; además los audios de las plenarios y la entrevista. Inicialmente, los audios se transcribieron para que todos los registros estuviesen en forma escrita y se numeraron en párrafos separados por frases completas o grupos de frases. En esta transcripción se desecharon aquellos diálogos que consideramos desconectados de nuestros objetivos. Luego se procedió a la selección de unidades de análisis y a la clasificación y depuración de enunciados. Finalmente, se procedió a la ilación de estos enunciados en un discurso análogo al planteado en los referentes conceptuales, que obedecía al proceso de interpretación y triangulación de datos.

A continuación desglosaremos los mencionados componentes del proceso de análisis.

4.4.1 Criterios de selección de unidades de análisis y clasificación de enunciados

Luego de tener los registros escritos, las unidades de análisis obedecieron a aquellas descripciones densas donde las reflexiones de los maestros apuntaran a la experimentación, el conocimiento en cuanto tal o la historia y epistemología de la ciencia. Todos aquellos actos comunicativos que se relacionaran con las anteriores cuestiones fueron objeto de análisis. Tales unidades de análisis pueden constar de un discurso construido en un mismo tiempo, o de varias alusiones respecto a un mismo asunto pero en momentos diferentes. También pueden ser enunciados del mismo asunto pero con diferentes participantes. En este sentido, cabe aclarar que el discurso analizado no se limita a momentos, textos y verbalizaciones, sino a una práctica social.

El criterio de selección se fundamentó en que estas unidades de análisis guardaran alguna de las tres estructuras mencionadas en el párrafo anterior y relacionadas directamente con las

categorías sugeridas en el marco conceptual. Para ello nos servimos de los indicios elaborados para cada subcategoría. Estos indicios corresponden a acciones de los participantes y se fundamentan en las características de cada subcategoría. A continuación mostramos la tabla con las categorías, subcategorías e indicios que nos permitieron la selección de las unidades de análisis.



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
1803

Tabla 2: Red de categorías de análisis

CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍAS	INDICIOS
Construcción de los fenómenos cromáticos desde Goethe	Visión y Naturaleza	Caracteriza formas en las que diferentes personas observan distintas imágenes en las mismas situaciones.
		Crea factores que determinan la visión como: la fugacidad del color, permanencia del color, distancia entre el ojo y los objetos, tipo de ojo, entre otros.
		Relaciona la experiencia de cada sujeto con la observación de diversas imágenes.
		Reconoce en sus experiencias formas particulares de relacionarse con el mundo que dependen de la manera como observa los objetos.
	El Color como contraste entre claridad-oscuridad.	Identifica el color como más oscuro que la claridad y más claro que la oscuridad.
		Observa diversas tonalidades y colores dependiendo de la relación claridad-oscuridad.
		Evoca situaciones cotidianas donde el cambio en la relación claridad-oscuridad representa un cambio en la percepción del color.
		Percibe la ausencia de color en condiciones extremas de oscuridad o luminosidad.
	Principios asociados a la percepción del color	Identifica bordes y limbos coloreados en diversas situaciones.
		Adiciona limbos y bordes para formar otros colores.
		Resignifica el color como un elemento dinámico susceptible de ser comunicado, exaltado, desaparecido y transformado.
		Define parejas de colores bajo reglas empíricas en distintas situaciones experimentales.
	La Experimentación como generadora	Carácter exploratorio de la Experimentación
Determina cuáles de las diferentes condiciones experimentales son indispensables.		
Busca regularidades.		
Experimentación		Propone representaciones por medio de los cuales las regularidades se pueden formular.
		Diseña y ejecuta experimentos que resultan del análisis de experimentos propuestos por otros.

de conocimiento	Acción y pensamiento	Organiza grupalmente efectos sensibles a través del análisis de experimentos.
		Establece nexos entre la teoría y la experiencia en experimentos concretos.
		Reflexiona sobre su papel en el diseño de experimentos y la creación de regularidades.
Formas de ver y su historicidad	Estilos de pensamiento newtoniano	Define la Naturaleza como un ente externo al sujeto susceptible de ser modificado y estudiado a través de la experimentación y teorización.
		Utiliza la idea de rayo de luz o de predominancia de la luz para interpretar el fenómeno cromático.
		Considera que el científico debe describir en detalle los experimentos que planea para que sean fácilmente reproducibles.
	Estilo de pensamiento goetheano	En la experimentación encuentra maneras particulares como el sujeto comprende su papel como parte de la Naturaleza.
		Estructura los fenómenos cromáticos a través de la percepción del color como elemento fundamental.
		Considera que cada sujeto debe construir sus propios experimentos y elaborar propuestas teóricas en línea con ellos.

Las unidades de análisis están formadas por uno o varios enunciados completos y con cohesión (Piñuel, 2002). Algunas pueden corresponder a varios indicios. Podemos decir entonces que en este punto se realizó un proceso de selección y clasificación de unidades de análisis. Estas se ubicaron en una tabla numeradas según los párrafos de ordenación (Mirar anexo digital 2 transcripciones.doc) y según los indicios y los talleres y plenarios realizadas de la siguiente manera.

Tabla 3: Cuadro de selección de unidades de análisis

		Actividades	Taller 1	Plenaria 1	Taller 2	Plenaria 2...	Entrevista Etc...
		Indicios					
Categoría 1	Sub categoría 1	Indicio 1...	Parágrafo 1	Parágrafo 6 Parágrafo 8		Parágrafo 15	
		Indicio 2...			Parágrafo 10		
		Indicio 3...	Parágrafo 2 Parágrafo 3	Parágrafo 7			
	Sub Categoría 2	Indicio 4...	Parágrafo 1			Parágrafo 12	
		Indicio 5...	Parágrafo 4 Parágrafo 5		Parágrafo 9 Parágrafo 10		
Categoría 2	Sub Categoría 3	Indicio 3...				Parágrafo 15 Parágrafo 14	
		Indicio 4...			Parágrafo 11		
	∴		Parágrafo 3	Parágrafo 7		Etc.	

Tabla 4: Tabla 3 con los indicios correspondientes al ejemplo

CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍAS	INDICIOS	Taller 4: Newton y Goethe _ El experimento del cuadrado rojo y azul.
		Varía un número amplio de parámetros experimentales.	N° 113 Francy: Pues, después de hacer el experimento... con el prisma de acrílico no me dio, nos dio fue con el prisma de vidrio. Yo traté de mover los cuadrados, no solo que estuvieran al frente, sino arriba, [...]
La Experimentación como generadora de conocimiento	Carácter exploratorio de la Experimentación	Determina cuáles de las diferentes condiciones experimentales son indispensables.	
		Busca regularidades.	
		Propone representaciones por medio de los cuales las regularidades se pueden formular.	
Formas de ver y su historicidad	Estilo de pensamiento goetheano	En la experimentación encuentra maneras particulares como el sujeto comprende su papel como parte de la Naturaleza.	
		Estructura los fenómenos cromáticos a través de la percepción del color como elemento fundamental.	
		Considera que cada sujeto debe construir sus propios experimentos y elaborar propuestas teóricas en línea con ellas.	N° 113 Francy: Pues, después de hacer el experimento... con el prisma de acrílico no me dio, nos dio fue con el prisma de vidrio. Yo traté de mover los cuadrados, no solo que estuvieran al frente, sino arriba, [...]

Como ejemplo de una unidad de análisis seleccionada tenemos el siguiente. La plenaria del taller 4 (Newton y Goethe, el problema del cuadrado rojo y azul) fue simultánea con el taller, y su transcripción se numeró en los párrafos que van desde el 107 al 106 (ver anexotranscripciones.doc). Entre ellos tenemos el N° 113 en el que participa Francy y corresponde a uno de los comentarios acerca de la lectura de la propuesta newtoniana sobre el experimento del cuadrado rojo y azul.

Francy: Pues, después de hacer el experimento... con el prisma de acrílico no me dio, nos dio fue con el prisma de vidrio. Yo traté de mover los cuadrados, no solo que estuvieran al frente, sino arriba,...pues que estuvieran en otra posición y ahí si pude notar bien el fenómeno, si se puede decir así, que se desplazaba el naranja y veía que se desprendía. Y de lo que estábamos hablando, de si el ángulo o la forma particular de como se mire, pues yo miraba... lo que vi, pues en contraste con lo que dice Newton,... pues me queda como todavía, siento como si no explicara, no quedaría satisfecha con lo que él estuviera diciendo, podría interpretarse de otra manera. (Taller 4 – Plenaria simultánea. Párrafo N° 113)

El anterior fragmento enmarcado en un contexto de comunicación específico se puede considerar como una descripción densa. En él, la participante nos indica las diversas variaciones al experimento: cambió de prisma, posición del prisma y de los cuadrados, el ángulo o forma de mirar. Además conecta estas variaciones con una manera particular de comprender el texto newtoniano. Por esta razón, este fragmento podríamos ubicarlo en la subcategoría *carácter exploratorio de la experimentación* a través del indicio “varía un número amplio de parámetros experimentales”. La forma como ella relaciona su percepción con la propuesta newtoniana indicando que “no quedaría satisfecha con lo que él estuviera diciendo” nos lleva inmediatamente a ubicar este enunciado también en la categoría *Formas de ver y su historicidad* a través del indicio “Considera que cada sujeto debe construir sus propios experimentos y elaborar propuestas teóricas en línea con ellos”. No obstante, para esta última categoría los enunciados de los participantes, en su relación con las acciones que postulan los indicios, nos dan ideas sobre cómo caracterizar esta categoría que está en construcción simultánea con la interpretación dado su énfasis epistemológico.

4.4.2 Interpretación y triangulación de los datos

La selección y clasificación de unidades de análisis mencionada en el párrafo anterior estuvo siempre iluminada por las categorías esbozadas en el marco conceptual y los referentes metodológicos a través de la idea de “descripción densa”. Sin embargo, luego de seleccionar las unidades de análisis, la interpretación se convierte en el ejercicio de narración de las categorías pero ahora desde la voz de los protagonistas.

Para la categoría “La construcción de los fenómenos cromáticos” se interpretaron aquellos enunciados que corresponden a descripciones densas sobre la percepción del color en distintos observadores, la relación entre visión y naturaleza, el contraste entre claridad – oscuridad y la idea del color como elemento primario para la construcción de los fenómenos cromáticos. Se desglosaron las unidades de análisis destacando la percepción del color desde lo individual y grupal. Se buscaron y se ordenaron enunciados que relacionaran los experimentos de los talleres con experiencias anteriores sobre la percepción del color, que mostraran la percepción del color como elemento de identificación de regularidades, que narraran la historia de cada uno en cuanto a la percepción de la naturaleza, que hablaran de la claridad y luminosidad como elementos relacionados que permiten la percepción del color, entre otros.

Para la categoría “La experimentación como generadora de conocimiento” se realizó un ejercicio de interpretación que buscaba resaltar el carácter exploratorio de la experimentación y la cohesión entre el pensamiento y el acto. Para ello se adelantó un proceso de ilación de enunciados sobre la experimentación que propusieran variaciones en las condiciones experimentales, cuestionamientos sobre el papel de los instrumentos, la búsqueda de elementos esenciales, intenciones del experimentador, reflexiones sobre el rol del sujeto que experimenta y cuestionamientos sobre el papel de la experimentación en el aprendizaje de la física.

Los enunciados seleccionados para la categoría “Formas de ver y su historicidad”, por su parte, se interpretaron de manera diferente a la interpretación realizada para las unidades de análisis de las categorías anteriores. En el marco conceptual se caracterizó el pensamiento newtoniano y goetheano a través del experimento del cuadrado rojo y azul y para cada una de estas subcategorías se enunciaron indicios que podían dar cuenta de estos estilos de pensamiento.

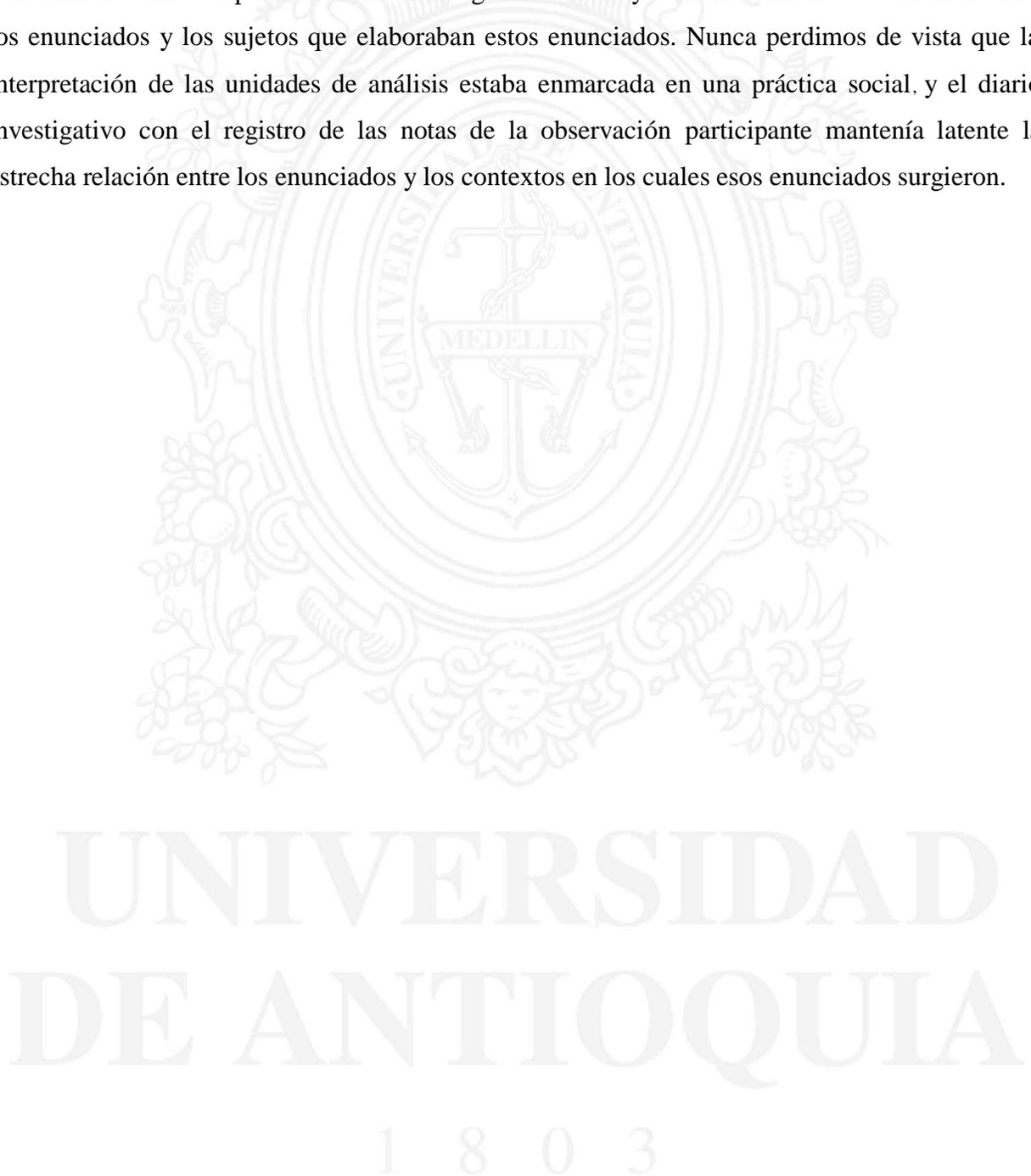
No obstante, aunque los enunciados de un participante o grupo de participantes puedan clasificarse según los indicios mencionados, no fue nuestra intención clasificar a los participantes como sujetos enmarcados en un estilo de pensamiento particular. Más bien buscamos en la interpretación de los enunciados argumentar características sobre el proceder de los científicos, la manera como los maestros (ellos) se relacionan con la historia de la ciencia, las formas de asumir la experimentación y la naturaleza, las diversas maneras de leer y escribir sobre el mundo, la transformación de concepciones sobre la ciencia, y las posibles relaciones entre la historia y las formas de ver. Por esta razón, la interpretación de las unidades de análisis correspondientes a esta categoría no se esboza según las subcategorías correspondientes sino según la dirección que mostraron las inquietudes de los participantes. Por lo manifestado sobre esta categoría en el marco conceptual, en la descripción del taller 4 (Newton y Goethe: el problema del cuadrado rojo y azul) y en la manera de interpretar las unidades de análisis correspondientes, podríamos decir que en opinión de algunos estilos de investigación, esta categoría es de algún modo emergente.

En cuanto a la triangulación de los datos, consideramos importante mencionar que este proceso fue simultáneo con la interpretación. El objetivo de la triangulación para esta investigación era el de fundamentar los hallazgos a través del cruce dialógico de los datos. La triangulación se dio en 3 niveles: triangulación entre diversas fuentes de información, triangulación entre estamentos y triangulación con el marco teórico (Cisterna, 2005).

La triangulación entre diversas fuentes de información se dio gracias a la implementación de los diversos instrumentos para la construcción de registros, para nuestro caso los talleres escritos, las plenarias, la entrevista y el diario del investigador. Esta triangulación se sistematizó a través de la tabla 3 (Cuadro de selección de unidades de análisis) que en una mirada horizontal permite el dialogo entre los diversos instrumentos.

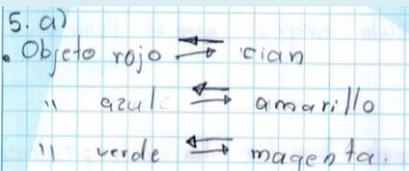
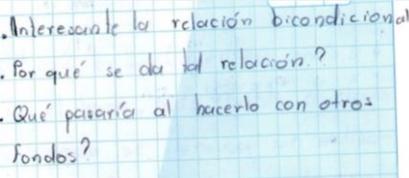
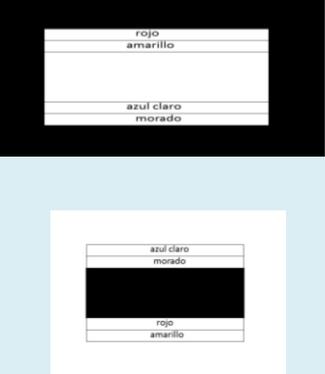
La triangulación entre estamentos obedece a una mirada intersubjetiva de la construcción de registros y permite establecer relaciones de comparación entre los sujetos o grupos de sujetos en tanto actores situados en torno al objeto de investigación (Cisterna, 2005). Para esta investigación, este tipo de triangulación se desarrolló a través del seguimiento de enunciados por parte de los participantes de la investigación o de las parejas de desarrollo de los talleres. En la

tabla 3 (Cuadro de selección de unidades de análisis) los aportes de los participantes se registraban con su nombre permitiendo un seguimiento a los aportes de cada uno. Sin embargo, el objetivo de esta triangulación no es comparar para encontrar acuerdos o desacuerdos entre los sujetos, sino más bien encontrar en los aportes relaciones de construcción intersubjetiva de conocimiento. En este punto el diario investigativo constituyó una herramienta de conexión entre los enunciados y los sujetos que elaboraban estos enunciados. Nunca perdimos de vista que la interpretación de las unidades de análisis estaba enmarcada en una práctica social, y el diario investigativo con el registro de las notas de la observación participante mantenía latente la estrecha relación entre los enunciados y los contextos en los cuales esos enunciados surgieron.



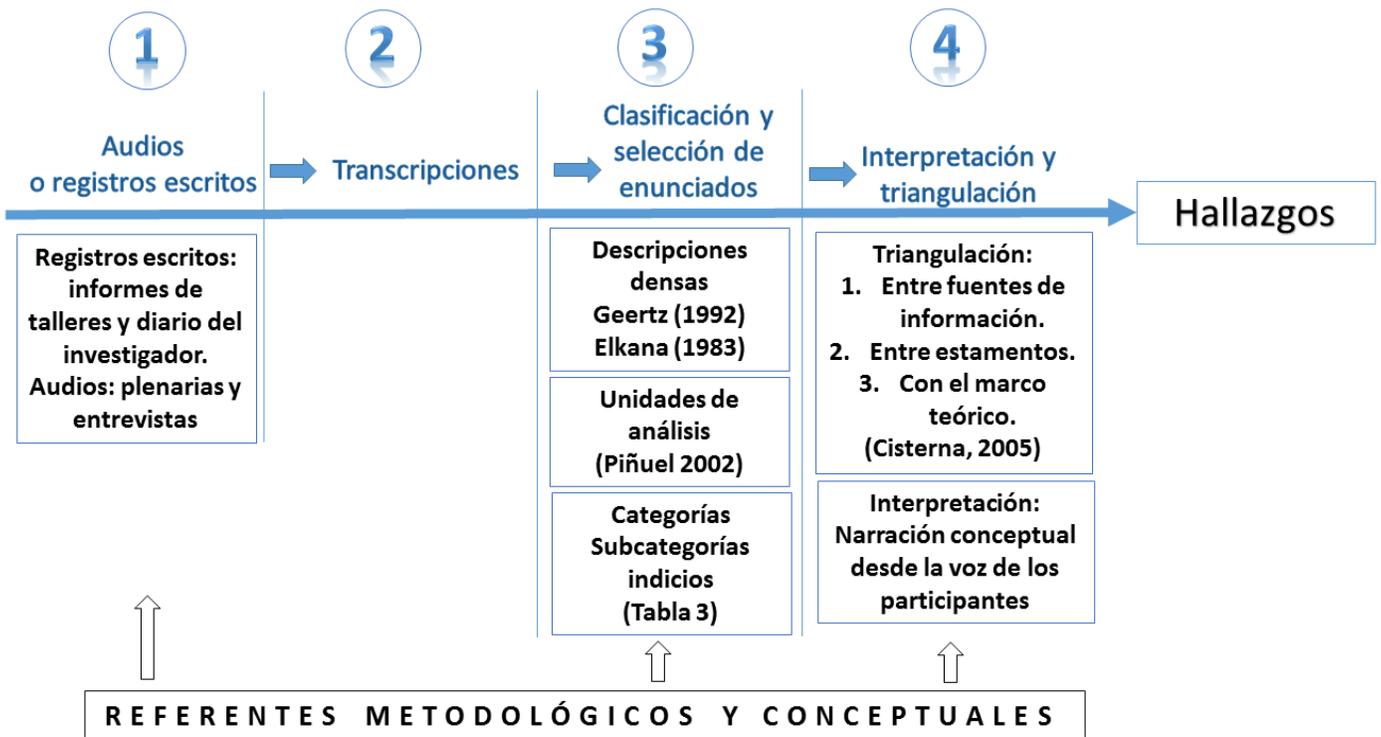
UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
1803

Tabla 5: Triangulación entre diversas fuentes de información sistematizada en la tabla 3

INDICIOS	Escritos taller 2: Los colores fisiológicos	Plenaria taller 2	Escritos taller 3: Los colores y el prisma triangular.	Plenaria taller 3	Taller 4: Newton y Goethe _ El experimnto del cuadrado rojo y azul.
<p>Varía un número amplio de parámetros experimentales.</p>	 <p>Nº 26 - Nayareth y Jorge: es necesario realizar más experimentos. Por ejemplo donde el entorno no intervenga tanto, donde la luz sea más directa, donde los objetos sean tangibles; ya que la forma de interpretar los fenómenos para los ojos de cada persona es diferente. Unos más receptores que otros.</p>  <p>• Interesante la relación bicondicional • Por qué se da tal relación? • Qué pasaría al hacerlo con otros fondos?</p>	<p>Nº 60 - Sebastián: eso es lo que estábamos intentando hacer, digamos, que condiciones eran las que estaban imperando ahí: la distancia, el desenfoco, digamos, tomemos una lupa y ya todo el mundo lo puede ver. Ponemos una lupa a esta distancia y te organizamos pues [...]</p>	 <p>Nº 77 - María Teresa y Jair: siempre se debe observar muchas veces y de diferentes formas, diferentes materiales un fenómeno y mirar los patrones y situaciones que se presentan llegando así a algún resultado.</p>	<p>Nº 95 - Jorge: yo me pregunto si se tuviera otra forma del prisma ¿regular? ¿Tiene que ser un prisma? ¿Eso es de que material?</p>	<p>Nº 146 - Sebastián: Yo creo que Newton al realizar, pues para lograr realizar esa conclusión de que eran ese rojo y ese azul, el tuvo que realizar reiteradamente el experimento, para qué? Para acotar todas las posibles opciones y así llegar a que es este y a que es este. [...]</p>

A su vez, la triangulación con el marco teórico se realizó con la intención de conferir a la investigación un sentido de totalidad significativa y coherencia investigativa (Cisterna, pág. 70). Para ello se interroga reflexivamente lo que las categorías dadas teóricamente nos indican pero ahora con los resultados concretos de la propuesta de intervención. Esto exige un ejercicio de ida y retorno constante al marco teórico; es un proceso complementario en el cual el marco teórico y los hallazgos se configuran permanentemente.

Gráfico 7: Línea temporal de la interpretación y construcción de datos



4.4.3 Convenciones de sistematización

La tarea clave de sistematización para esta investigación se dio en la transcripción de los audios y la organización de los registros escritos de los talleres. Para esto se creó un archivo digital en el cual se consignaron todos estos elementos. Esta transcripción se compone de las siguientes partes:

- Taller 1 – registro escrito

- Taller 1 – plenaria
- Taller 2 – registro escrito
- Taller 2 - plenaria
- Taller 3 – registro escrito
- Taller 3 – plenaria
- Taller 4 – plenaria simultanea
- Entrevista

En los registros escritos se consignaron algunos enunciados de los talleres escritos entregados por los participantes y algunas imágenes escaneadas. Otras imágenes se reprodujeron digitalmente para su mejor comprensión. En los registros de las plenarios se escribieron la mayoría de los aportes de los participantes que estuviesen completos y ofrecieran ideas claras y comprensibles. Todos los aportes recogidos en el mencionado archivo se numeraron. Al momento de la transcripción, a aquellos enunciados que poseían un énfasis especial en alguna frase u obedecían a algún aspecto interesante por parte del investigador, se marcaban con una nota escrita con el rotulo: “investigadora” (ver anexo digital 2: transcripciones.doc).



5. Hallazgos

En el estudio histórico y epistemológico realizado sobre los fenómenos cromáticos desde las perspectivas de Newton y Goethe, proponemos tres categorías de análisis para este trabajo de investigación: *La construcción de los fenómenos cromáticos desde Goethe*, *La experimentación como generadora de conocimiento* y *Formas de ver y su historicidad*¹¹.

En *La construcción de los fenómenos cromáticos desde Goethe* definimos aquellos elementos disciplinares y epistemológicos que fundamentan desde la perspectiva de Goethe la percepción del color: Visión y Naturaleza, el color como contraste entre oscuridad-luminosidad, y los principios asociados a la percepción del color.

En *La experimentación como generadora de conocimiento* mostramos formas alternativas y diversas de asumir la experimentación en la construcción de conocimiento. Como subcategorías de esta perspectiva tenemos el carácter exploratorio de la experimentación y la relación acción y pensamiento.

Finalmente, en *Formas de ver y su historicidad*, describimos dos estilos de pensamiento, el newtoniano y el goetheano. Estos estilos corresponden a propuestas teórico-experimentales diferentes, a formas diversas de asumir la relación observador – objeto, a estilos de pensamiento diferentes. Fundamentalmente, los estilos de pensamiento de Newton y Goethe corresponden a la historia de dos formas diferentes de ver el mundo.

A continuación, se presentan algunos de los hallazgos obtenidos en la implementación, discutidos a la luz de estas categorías.

5.1 La construcción de los fenómenos cromáticos desde Goethe

5.1.1 Visión y Naturaleza

La percepción del color, que normalmente hemos considerado la misma para todos, también determina formas de relacionarnos con el mundo. ¿Por qué suponemos que percibimos

¹¹ Estas categorías se encuentran ampliadas en el marco conceptual.

los mismos colores que nuestro compañero? ¿Por qué suponemos que Newton y Goethe al realizar los mismos experimentos observaron lo mismo? ¿Acaso la subjetividad no permea la percepción del color? El estudio del fenómeno de la visión incluye diversos elementos que dependen del contexto del sujeto que los construye, de su experiencia, de sus ojos, de su cultura y de su forma de asumir el mundo.

Como mencionamos en el marco metodológico, las conexiones entre las unidades de análisis y las categorías son los indicios. Estos corresponden a acciones de los participantes que plasmaban en sus aportes y en los talleres escritos. Los indicios que esbozan respuestas para las preguntas del párrafo anterior y que se constituyeron en objetos de análisis para esta subcategoría son:

- Caracteriza formas en las que diferentes personas observan distintas imágenes en las mismas situaciones.
- Crea factores que determinan la visión como: la fugacidad del color, permanencia del color, distancia entre el ojo y los objetos, tipo de ojo, entre otros.
- Relaciona la experiencia de cada sujeto con la observación de diversas imágenes.
- Reconoce en sus experiencias formas particulares de relacionarse con el mundo que dependen de la manera como observa los objetos

Los anteriores elementos formaron parte de algunos de los talleres, específicamente el taller 1 y 2: En compañía del color y Los colores fisiológicos. El objetivo del primer taller fue destacar aquellas experiencias que privilegian la observación del color. El segundo taller pretendía, además, explorar la relación entre el ojo y la observación de imágenes y espectros de colores.

En la plenaria del primer taller, Francy hace un aporte que destaca la experiencia de cada sujeto en la observación del color. Además le otorga un destacado papel al observador. Su aporte se enmarca en una discusión sobre la propuesta newtoniana para los fenómenos cromáticos.

Francy: Hay una cosa muy importante y es el ojo propio, o sea el observador. ¿Por qué? Tenía un compañero que era daltónico, jugamos una vez amigo secreto y yo quería un pantalón de tal forma. Él pensó que me lo había traído de ese color y ¡terrible! Pero para él si era el color que yo había dicho. Aquí podríamos decir, si Newton hubiera sido daltónico como mi compañero ¿cómo hubiera sido desarrollada esa teoría? Se trata de las experiencias

individuales, de la percepción. Lo que estamos observando, depende de nuestra experiencia.

[...] (Taller 1- Plenaria, parágrafo N° 20)

Aunque podríamos considerar que la percepción de distintos colores para distintos sujetos obedece seguramente a condiciones fisiológicas, en el marco conceptual de esta investigación argumentamos cómo la experiencia de cada sujeto determina una percepción particular de los colores. Así mismo, la organización del fenómeno cromático es diferente para cada uno de los sujetos que observa. En el momento en que Newton estructuró su teoría del color, aspectos como la distancia entre el ojo y la imagen, la reflexión de los rayos, las características de las lupas, la oscuridad o luminosidad del cuarto, eran fundamentales en lo que observaba. Sin embargo, el primer elemento que configuraba lo que veía, era su experiencia. La relación que Newton tenía con la geometría, es una particularidad de la experiencia newtoniana que fue evidentemente determinante en su organización de los fenómenos cromáticos.

La forma como la experiencia de cada sujeto determina la percepción del color y la manera como la observación del color define nuestra relación con el mundo son complejas. Elmer, un estudiante del grupo, posee una enfermedad visual que le dificulta ver en la oscuridad tenue o en la claridad moderada. Él no diferencia la escala de grises. Al interior de la entrevista en la que participó, le preguntamos por su enfermedad y las consecuencias que esta tenía en sus hábitos.

Elmer: Para mí, la claridad en ese sentido es cegadora. Muchos lo viven pero no tan frecuente como yo. Aquí está haciendo sol y aquí sombra (mirar imagen 1), yo pasó de aquí a allá o de allá a acá y se me van las luces. Todo se me vuelve oscuro... yo tengo que esperar a abrir los ojos y esperar a que todo tome forma. Aunque lo he superado en algún grado, le temo a la oscuridad. No es que me de miedo, es que como se mi problema; psicológicamente no me agrada hacer algo en la noche o en la oscuridad. (Entrevista, parágrafo N° 167)



Imagen 3: Espacio de contraste entre sombra y luminosidad (Entrevista, párrafo N° 168)

En la imagen notamos la diferencia entre un espacio iluminado y otro sombreado. No obstante, para Elmer estos dos espacios representan una intensa luminosidad o una intensa oscuridad. Esta diferencia en la observación del color no solo representa una visión diferente sino que configura una historia diferente. No se trata entonces de cuan oscuro o iluminado se encuentra un espacio, sino de cuan oscuro o iluminado lo perciben mis ojos. Es claro entonces que este participante debe reorganizar su experiencia a partir de lo que percibe puesto que la forma particular en que percibe define una historia de vida diferente para él.

La observación del color estructura una forma diferente de relacionarse con el mundo, con los demás y consigo mismo. Las actividades de los talleres, por ejemplo, exigieron una reorganización de la experiencia y la manera de percibir de algunos participantes. En el taller 2 Sebastián y Octavio observaron unas franjas de colores que los demás participantes no pudieron observar. Para la plenaria de este taller, los compañeros les exigieron especificar la manera de observar para poder percibir las franjas en cuestión; esta exigencia hizo que Sebastián se esforzara en describir el proceso para percibir las franjas. A propósito de esto, Sebastián en la plenaria del taller 3 (Los colores y el prisma triangular) nos comenta algo sobre el cambio en su manera de percibir.

Sebastián: Cuando empezaron a hablar de eso del prisma, yo me puse a mirar directamente el cosito acá (se refiere a una imagen a blanco y negro en la pantalla de su computador) y a modificarlo ahí cuando me aparecieron los colores. No sé si me los estoy

imaginando que están ahí. Yo sé que están porque yo veo con el prisma pero yo ya los puedo, con más claridad, hacer aparecer (se refiere a hacer aparecer las franjas de color sin el prisma). [...] Yo últimamente he estado escuchando mucha más música y haciendo más música entonces ya escucho más todos los instrumentos que hay, pues, antes no le prestaba atención. (Si combinan – dice otro) Sí, si combinan... que cómo salió ahí el bajo. Pero acá, simplemente el hecho de querer verlos pues los veo. Yo estoy haciendo la experimentación que hicimos sin el prisma. Solo modificando la perspectiva que tenemos, desenfocando el ojo. (Taller 3 - Plenaria, parágrafo N° 96)

En los anteriores párrafos que corresponden a la interpretación de algunos enunciados de los protagonistas de esta investigación, evidenciamos cómo lo que percibimos redefine nuestra experiencia de la misma manera como nuestra experiencia determina lo que observamos.

5.1.3 El color como contraste entre claridad-oscuridad

En la perspectiva goetheana el color es un elemento primario y no derivado, elemento que configura los fenómenos cromáticos desde este estilo de pensamiento. En esta mirada el color no es una cualidad derivada de otras propiedades. Aunque la percepción del color surge en una determinada relación claridad-oscuridad no es la claridad ni la oscuridad el objeto básico que constituye este fenómeno, sino el color y su percepción. Básicamente, la percepción del color está determinada por el contexto en el que se ubica el objeto coloreado. Así, por ejemplo, un círculo rojo se percibe diferente si está en un fondo igualmente rojo, blanco o negro. El círculo rojo en fondo rojo no es perceptible; y en la medida en que los colores son más claros que lo oscuro y más oscuros que lo claro la posibilidad de observar el objeto rojo es dada por su relación de contraste con el fondo negro o blanco. De este modo que el círculo rojo en fondo negro o en fondo blanco se percibe de color diferente; así mismo para los demás colores.

Los indicios que dan cuenta de los aspectos mencionados son:

- Identifica el color como más oscuro que la claridad y más claro que la oscuridad.
- Observa diversas tonalidades y colores dependiendo de la relación oscuridad-luminosidad.
- Evoca situaciones cotidianas donde el cambio en la relación oscuridad-luminosidad representa un cambio en la percepción del color.
- Percibe la ausencia de color en condiciones extremas de oscuridad o luminosidad

La evocación de experiencias donde se perciben colores diferentes para un mismo objeto en contextos diferentes era uno de los objetivos del taller 1 (En compañía del color). El taller consistía en completar frases que exigían acciones específicas para percibir el color en determinados contextos (Ver anexo 1). En la mayoría de las respuestas encontramos una conexión de la observación de distintos colores con una determinada relación de claridad y oscuridad. A continuación se muestran algunos párrafos del mencionado taller con las respuestas de los participantes (en subrayado las respuestas y separadas por un /, el número indica los participantes que concordaron en esa respuesta). La siguiente frase buscaba que los participantes reflexionaran sobre la percepción del color en la oscuridad.

En la completa oscuridad, no se diferencian los objetos y todo parece un solo fondo (2) / de color negro / no tener color, carecer de forma alguna / del mismo color / negro / un bulto / que no está / oscuro. (Taller 1 – Registro escrito, párrafo N° 8)

En estas frases notamos cómo la oscuridad se asocia con el color negro; además, el no reconocimiento de las formas está asociado con la oscuridad, y ello podría implicar la ausencia de color.

Al momento de reflexionar sobre las circunstancias de completa claridad, los participantes nuevamente piensan en la percepción del color utilizando como recurso argumentativo los espacios de sombra o de oscuridad. Esto lo evidenciamos en el siguiente párrafo que también forma parte del taller 1.

Justo al medio día, cuando el sol brilla con más intensidad y nos encontramos a campo abierto, necesitamos un poco de sombra para poder diferenciar lo que vemos. Es el caso de ver la pantalla de mi celular (2) / los espejismos que aparecen en la carretera (2) / los vehículos que se avecinan en la pista / mirar a alguien que se acerca en el horizonte / cuando hace mucho calor hacemos “visera” con la mano para poder ver / del desierto / cuando jugamos un partido de fútbol a medio día el sol es muy fuerte y nos toca hacer sombra con la mano o con una gorra para visualizar el terreno de juego y la posesión del balón. (Taller 1 – Registro escrito, párrafo N° 8)

Todos los colores al caer la noche tienden al negro, y al estar invadidos de claridad tienden al blanco. Como se ha discutido en el párrafo anterior, ese espacio de percepción entre los extremos de claridad y oscuridad es estudiado por Goethe con el uso de la gama de grises. Posiblemente, dada su experiencia con la pintura, Goethe conocía del uso del negro para

oscurecer y el blanco para aclarar, además del uso de la mezcla de blanco y negro en distintas proporciones para obtener el gris. En la entrevista semiestructurada realizada a uno de los participantes encontramos la oportunidad de conocer a alguien con una experiencia más amplia con el gris. Recordemos que la enfermedad de este participante está directamente relacionada con la percepción de la gama de grises.

Al preguntarle por cuáles colores podrían ser los referentes de estudio para los fenómenos cromáticos, nos respondió lo siguiente:

Elmer: Los colores son como el gris, van de la oscuridad a la claridad. Claridad - blanco – gris. Oscuridad - negro – gris. Las sombras de los objetos tienden a catalogarse negras, pero al mismo tiempo hay claridad y está el gris ahí. Se va el sol y las cosas se ponen como grisecitas. Si quisiera estudiar mejor los fenómenos cromáticos me concentraría en el gris. (Entrevista, párrafo N° 174)

Podría resaltarse que esta acertada identificación del gris como eje de la organización de los colores por parte del participante, es debido, precisamente, a sus particulares condiciones que lo hacen concientizarse de las formas como ocurre su percepción. El gris es el color clave en la transición claridad - luminosidad o luminosidad - claridad puesto que, al igual que la sombra como espacio intermedio entre la claridad y la oscuridad, la relación entre el blanco y el negro viene dada por el gris. En palabras de Elmer “Los colores son como el gris”, y en términos de Goethe (1991) los colores son como la sombra; esta percepción se justifica al considerar al gris como más oscuro que el blanco y más claro que el negro.

Podemos concluir, para esta subcategoría, que la clave para el estudio de los fenómenos cromáticos está en el color gris y su carácter de sombra puesto que este guarda en sí el contraste entre la claridad y oscuridad, condición esencial para la percepción del color.

5.1.2 Principios asociados a la percepción del color

¿Cuáles elementos permiten organizar los fenómenos cromáticos? En el marco conceptual que dirige esta investigación proponemos el color como un elemento primario que surge en la percepción de la relación luminosidad – oscuridad, y relacionado con la visión como cualidad del hombre para situarse en el mundo. No obstante, es necesario construir algunos elementos específicos que se presten para representar, describir, argumentar y socializar lo que se percibe.

A la hora de organizar esta percepción, encontramos que la relación claridad - oscuridad es una relación de contraste que se percibe en las fronteras de las imágenes. Entonces, al centrar la atención en estas fronteras de color, encontramos la formación de limbos y bordes coloreados que tienen una regularidad específica que podría llamarse “ley de limbos y bordes”. Adicionalmente, estos limbos y bordes pueden mezclarse para formar nuevos colores, regularidad conocida como adición del color. Esta capacidad de adición de los colores da pie a la búsqueda de otras regularidades en los diversos contextos donde se da el fenómeno cromático. Estas regularidades se identifican en distintas situaciones experimentales y consisten mayormente en la búsqueda de parejas de colores que se relacionen de una u otra forma. El color es ahora un elemento dinámico susceptible de ser comunicado, exaltado, desaparecido, transformado y mezclado

Estos elementos se construyeron en la propuesta de talleres y se conectaron a los aportes de los participantes a través de los siguientes indicios:

- Identifica bordes y limbos coloreados en diversas situaciones.
- Adiciona limbos y bordes para formar otros colores.
- Resignifica el color como un elemento dinámico susceptible de ser comunicado, exaltado, desaparecido y transformado.
- Define parejas de colores bajo reglas regularidades en distintas situaciones experimentales.

Los talleres 2 (Los colores fisiológicos) y el taller 3 (Los colores y el prisma triangular) posibilitaban los espacios para buscar regularidades, construir principios explicativos y variar las condiciones del fenómeno cromático.

En el taller 2, por ejemplo, se proponía la búsqueda de relaciones entre colores a partir de la formación del espectro de un objeto en un fondo blanco luego de ser retirado. Al observar una figura de un color en una pantalla blanca y luego retirarla, aparece la misma forma pero con otro color¹². La mayoría de participantes sintetizaron la relación de estos colores en gráficos como el siguiente:

¹² Sugerimos al lector realizar estos experimentos con la ayuda del documento digital llamado “imágenes y animaciones asociadas a los talleres” adjunto a este trabajo.

Javier y Luisa (Taller 2 - Registro escrito, párrafo N° 28):

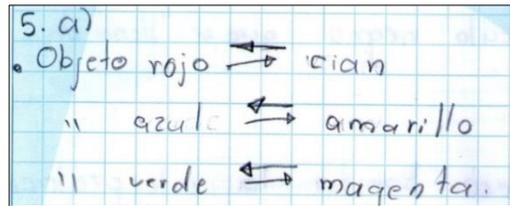


Imagen 4: Parejas de colores según el espectro

Aunque todos los participantes realizaron representaciones similares con las mismas parejas de colores, se ha elegido la de Luisa y Javier puesto que ellos establecieron además una relación bicondicional representada en la doble flecha. Si la imagen es roja el espectro asociado luego de retirar la imagen inicial es de color cian; si la imagen es cian el espectro es de color rojo.

Adicionalmente, el taller pretendía la creación de preguntas que propusieran variaciones al experimento.

Javier y Luisa (Taller 2 - Registro escrito, párrafo N° 28):

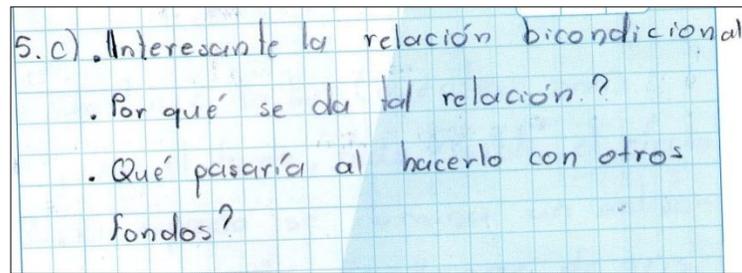


Imagen 5: Preguntas del punto 5. C taller 2

La pregunta ¿qué pasaría al hacerlo con otros fondos? trae consigo una serie de implicaciones experimentales que, aunque no se abordaron en el taller, son muestra de la intención de explorar el fenómeno por parte de los participantes.

La mayoría de los participantes encuentra las mismas parejas de colores en un grupo de experimentos diferentes que formaban parte del mismo taller, los experimentos sobre las

sombras de colores¹³. Javier y Luisa por ejemplo consideran entonces que: “Las sombras coloreadas muestran también la relación bicondicional encontrada en 5” (Taller 2- Registro escrito, párrafo N° 28). Vemos en la representación de estos dos participantes cómo forman parejas de colores que se relacionan de la misma forma en diversos contextos; para el caso, el contexto de la formación del espectro de color y el contexto de la formación de sombras de colores.

A partir de la identificación de estas parejas de colores, los participantes elaboraron reglas que pueden definir esta coincidencia. Stefany y Dany expresan esta regularidad de la siguiente manera: “Encontramos que cada color tiene su opuesto. Por ejemplo el opuesto del verde es rosado y el del azul es naranjado” (Taller 2- Registro escrito, párrafo N° 32).

Esta idea de “opuestos” se corresponde con la relación de complementariedad del color manejada comúnmente en la pintura, la litografía y la fotografía. Muestra cómo un color se relaciona siempre con el mismo color bajo diversas condiciones. Como señalamos en el párrafo del marco conceptual estas leyes o principios son sintetizados por Goethe en el círculo cromático.

Al observar el círculo cromático y simultáneamente relacionar las parejas de colores de la imagen 2 (parejas de colores de Luisa y Javier) encontramos que estas parejas de colores están ubicadas una frente a la otra. La razón para que esto suceda la describen como parte de la respuesta al punto 9 del mencionado taller. Giustin y Julio dicen que: “La visión del ser humano está diseñada para compensar el color observado, con su respectivo color complementario” (Taller 2- Registro escrito, párrafo N° 36).

Al adicionar pigmentos o luces de colores complementarios siempre se obtiene el gris. El gris es el color del equilibrio entre oscuridad y luminosidad. Se podría afirmar que la oscuridad y la luminosidad son elementos opuestos que en un ir y venir nos manifiestan la naturaleza a través del color. Los colores complementarios son opuestos y el órgano de la visión siempre busca compensar esta oposición.

¹³ Mirar taller 2: los colores fisiológicos.

Es importante destacar que no todos los participantes observaron las mismas coincidencias. Aunque muchos acordaron que las parejas de colores de los espectros y de las sombras de colores eran las mismas (como Luisa y Javier), otros describieron otro tipo de observaciones. Stefany y Dany por ejemplo, para la parte de sombras coloreadas, opinan que: “No encontramos coincidencias. Concluimos que podrían ser los factores que intervienen los que definen los colores proyectados” (Taller 2- Registro escrito, párrafo N° 40). Destacamos nuevamente cómo la organización experimental de los fenómenos cromáticos es diferente para los sujetos; esto incluye la identificación de regularidades, la representación y las variaciones experimentales.

En el taller 3 (Los colores y el prisma triangular), los participantes describen nuevamente parejas de colores. Este taller proponía la búsqueda de regularidades para la percepción de limbos y bordes en imágenes observadas a través del prisma.

La imagen resultante al observar un rectángulo blanco en fondo negro a través del prisma, fue representada de la siguiente manera (Taller 3- Registro escrito, párrafo N° 71 y 72):

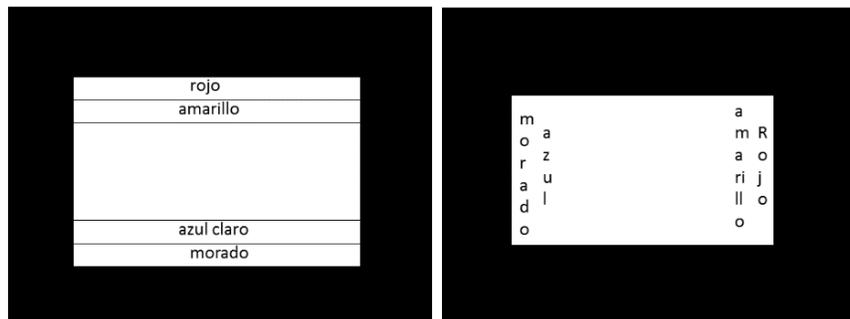


Gráfico 8: Limbos y bordes observados en un rectángulo blanco en fondo negro a través del prisma. A) prisma eje horizontal b) prisma eje vertical

Las palabras que describen colores corresponden a las franjas de colores observadas. El orden en el cual se encuentran estos colores es: rojo, amarillo, azul claro y morado de arriba a abajo. De izquierda a derecha es: morado, azul, amarillo y rojo. Aunque la forma de tomar el prisma es diferente, el orden es siempre el mismo.

Al observar un rectángulo negro en fondo blanco tenemos una situación análoga que fue representada de la siguiente manera (Taller 3- Registro escrito, parágrafo N° 71 y 72):

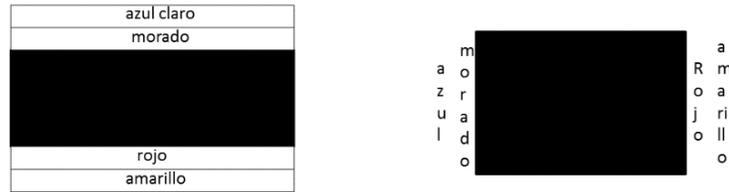


Gráfico 9: Limbos y bordes observados en un rectángulo negro en fondo blanco a través del prisma. A) prisma eje horizontal b) prisma eje vertical

Ahora el orden es: azul claro, morado, rojo y amarillo de arriba abajo. De izquierda a derecha es: azul, morado, rojo y amarillo. Emergen nuevamente los mismos colores y aunque es distinta la forma de tomar el prisma, los colores guardan el mismo orden.

Esta organización nos permite identificar cómo los limbos y bordes se relacionan con algún tipo de regularidad. La diferencia en la lateralidad de la imagen corresponde a la diferencia al observar por el prisma. Si el prisma se toma con el eje paralelo al horizonte, las franjas son horizontales. Si el eje se toma paralelo a la vertical, las franjas son verticales. Este hecho hizo que durante muchas discusiones se reflexionara sobre el papel del prisma. Al final se concluyó que independiente de la forma del prisma, el orden en el cual aparecían los colores siempre era el mismo.

Si relacionamos lo observado en los dos tipos de rectángulos (blanco y negro) en distinto fondo, encontramos que los colores se invirtieron. Por ejemplo:

Rectángulo blanco en fondo negro	Rectángulo negro en fondo blanco
<p><i>Rojo</i></p> <p><i>Amarillo</i></p>  <p><i>Azul claro</i></p> <p><i>Morado</i></p>	<p><i>Azul claro</i></p> <p><i>Morado</i></p>  <p><i>Rojo</i></p> <p><i>Amarillo</i></p>

Gráfico 10: Bordes de colores observados a través de prisma

Sin embargo, al intentar relacionar estos colores con las parejas de colores relacionadas por Luisa y Javier, y además con el círculo cromático propuesto por Goethe, encontramos que faltan el verde y el magenta.

La consecución del magenta y el verde era parte de uno de los ejercicios propuestos para el taller. Una manera para generar estos colores es modificar de algún modo las dimensiones de las imágenes. Dos de los participantes proponen la siguiente imagen para observar el verde (Taller 3- Registro escrito, parágrafo N° 67):

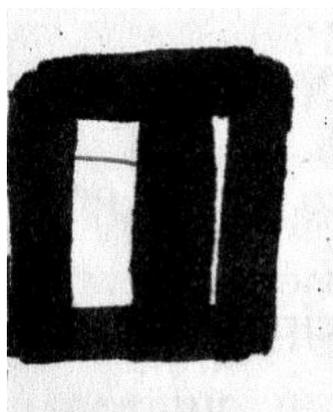


Imagen 6: Imagen a blanco y negro que permite a través del prisma observar el verde

Al ser observada esta imagen a través del prisma se percibe algo como lo siguiente:

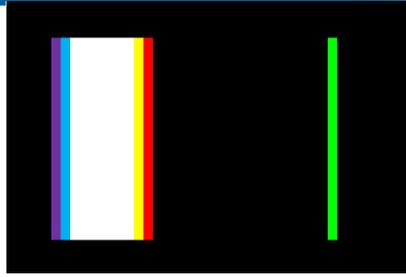


Gráfico 11: Imagen 4 observada a través del prisma

La manera como los participantes que diseñaron la imagen 4 justifican esta observación es la siguiente. Nayareth y Jorge: “Se forman imágenes así: En la hendidura ancha no se logra observar la comunicación, pero en la delgada si se puede observar la suma de colores”. (Taller 3- Registro escrito, párrafo N° 67)

Esta suma de colores permite el origen del verde. ¿Pero a qué suma de colores se refieren? Si notamos en el gráfico 12 al hacer más angosta la hendidura puede interpretarse que el azul y el amarillo se aproximan y se comunican para formar el verde.

Esto nos muestra cómo la organización de parejas de colores y de secuencias de colores es parte del proceso de encontrar regularidades y principios en la formación del color. En la construcción de los fenómenos cromáticos puede considerarse que el color resulta del negro y el blanco, que el color se mezcla, se suma, se deja acortar y ampliar, el color aparece y desaparece, deja rastros y recuerdos. Todo esto lo hace bajo reglas susceptibles de ser construidas a partir de su percepción. El color es un elemento dinámico que permite la construcción de los fenómenos cromáticos, no como una cualidad de los objetos sino como la esencia de la naturaleza revelada al sentido de la visión.

5.2 La experimentación como generadora de conocimiento

5.2.1 El carácter exploratorio de la experimentación

La experimentación puede darse de múltiples maneras. Este trabajo conceptualiza sobre la experimentación de forma guiada o de manera exploratoria, como mencionamos en el marco conceptual. En su carácter exploratorio la experimentación posee diversas características como la variación de parámetros experimentales, la determinación de condiciones indispensables, la

búsqueda de regularidades y la construcción de representaciones apropiadas para expresar las reglas y condiciones. Estos aspectos también dan cuenta de los indicios que sirvieron de análisis para esta subcategoría.

Los talleres 2 y 3 pretendían desarrollar dichas características. En estos es propósito que cada participante desarrollara sus propios procedimientos. Los dos talleres exigían variar las condiciones experimentales, la búsqueda de regularidades y la construcción de representaciones.

Las mencionadas características de la experimentación exploratoria son parte de una intención diferente a la propia de la experimentación orientada por la teoría. En la experimentación orientada por la teoría, el marco conceptual que orienta los experimentos está bien definido, como explicamos en los referentes conceptuales de esta investigación. En cambio, en la experimentación exploratoria la intención es configurar elementos teórico – experimentales que sirven a la construcción del marco conceptual. En este sentido, el papel de la pregunta y la elaboración de variaciones para un experimento o grupo de experimentos resulta fundamental como direccionamiento de la experimentación exploratoria.

En el taller 3 (Los colores y el prisma triangular) y su plenaria, muchos participantes elaboraron preguntas que corresponden a posibles variaciones de las disposiciones experimentales que ellos mismos definieron. Por ejemplo, al momento de discutir la relación entre la experiencia de diversas personas y los referentes teóricos que se relacionan con esas experiencias, se estableció un dialogo entre algunos participantes sobre el papel del prisma y su uso en el taller.

Jorge: Yo me pregunto si se tuviera otra forma del prisma regular (se refiere a diversas formas geométricas para el prisma) ¿Tiene que ser un prisma? ¿Eso es de que material?

Julio: yo lo relaciono con otras formas de estudio. Me imagino a Galileo, me pregunto por qué escogió un plano inclinado y no otra figura rara. Lo mismo para electricidad... el generador de Van de Graft magnifica lo que con el lapicero se ve muy poco. ¿Es el prisma el instrumento que me está determinando esto? De pronto una lupa no sea tan efectiva. No sé si siempre ha sido una regularidad en la ciencia o qué, pero uno ve que cuando perciben algo interesante tratan de magnificar las cosas y tomarlo en serio. (Taller 3 - Plenaria, parágrafo N° 95)

En los anteriores enunciados consideramos que los participantes manifiestan una inquietud por el prisma y su papel en el diseño experimental. Ellos proponen otro tipo de instrumentos, otras formas y materiales e incluso conectan esta reflexión con otros fenómenos mostrando la necesidad de variar las condiciones experimentales y buscar los elementos indispensables, para el caso, el papel del prisma.

En la primera categoría “La construcción de los fenómenos cromáticos”, mostramos importantes construcciones conceptuales sobre la relación visión y naturaleza, el color como contraste oscuridad-luminosidad y algunos principios asociados a la percepción del color. No obstante, la disposición instrumental también es motivo de reflexión para construir los fenómenos cromáticos. En particular, el prisma y todo lo que este suscitó fue objeto de múltiples cuestionamientos. ¿Cómo tomar el prisma? ¿A través de qué cara se debe observar? ¿De qué material debe o puede ser el prisma? Si el prisma no es triangular sino cuadrangular o de otro tipo ¿Cómo funcionaría?, entre otras preguntas.

En la entrevista realizada al final de la implementación de la propuesta, estas inquietudes sobre el papel del prisma todavía estaban presentes. Ante la pregunta por los principios básicos que sustentan los fenómenos cromáticos, el entrevistado nos respondió con otra pregunta. Elmer: “¿Yo me pregunto qué hace el prisma? Se supone que el objetivo es amplificarlo, amplificar lo que yo veo sin el prisma, pero ahí debe haber algo, como un efecto secundario” (Entrevista, párrafo N° 171)

Todas estas preguntas hacían parte de las reflexiones motivadas por la disposición instrumental para desarrollar el taller. En estos talleres era necesario crear procesos, y la creación de estos procesos suscitó múltiples inquietudes para las que ellos mismos propusieron alternativas de solución. En el registro escrito del taller 2 (Los colores fisiológicos) los participantes mostraron algunas de las alternativas para comprender o estudiar mejor el fenómeno cromático.

Nayareth y Jorge: es necesario realizar más experimentos. Por ejemplo donde el entorno no intervenga tanto, donde la luz sea más directa, donde los objetos sean tangibles; ya que la forma de

interpretar los fenómenos para los ojos de cada persona es diferente. Unos más receptores que otros. (Taller 2- Registro escrito, parágrafo N° 26)

Sebastián y Octavio: el montaje realizado representa bien el fenómeno, aun así se pueden realizar modificaciones que afecten más el fenómeno. (Taller 2- Registro escrito, parágrafo N° 27)

Aunque es necesario realizar más experimentos como lo mencionaron los participantes, la realización de estos experimentos esta mediada por una intención que no es la de comprobar o falsear una hipótesis. Esta intención es la de variar las condiciones para encontrar las indispensables; además, buscar patrones y regularidades. Como ejemplo tenemos las inquietudes sobre el prisma y la necesidad de realizar más experimentos sobre el espectro de colores que emerge al retirar una imagen.

La Experimentación Exploratoria no es un mirar, probar y ensayar sin objetivos. La Experimentación Exploratoria es sistemática, pero lo que busca no es comprobar o refutar una hipótesis sino construir aquellas condiciones indispensables para el fenómeno, variar ampliamente la disposición experimental, crear formas de representación acordes e identificar regularidades y patrones. Esa intención se concretó para los participantes de la investigación como parte del desarrollo de los talleres. Para la observación de espectros en el taller 2, Sebastián y Octavio observaron en un rectángulo blanco en fondo negro unos limbos de colores que los demás no percibieron. Ante esto, los miembros del grupo pidieron a Sebastián y Octavio que hablaran de la manera para observar esos limbos.

Mangel: ¿Por qué la vez pasada les dio un arco iris? (le pregunta a Octavio y a Sebastián)

Julio: No, está bien, estamos hablando de la experimentación exploratoria de otros ¿y la que nosotros hicimos? Y la que nosotros hicimos o vivimos no la entendemos bien todavía... ¿Cuando uno encuentra resultados así? ¿Qué? ¿Sigo por ahí? ¿Qué hago?

Sebastián: No, ese día no vimos un arco iris, pero si diferentes colores. No se allá que tipo de observación realizaron pero...

Julio: ¿pero en qué momento? ¿En qué condiciones?

Octavio: el cuadro blanco, entonces la luz, pues se difractaba la luz de alguna manera.

Entonces en el cuadro blanco (en fondo gris o negro) si usted observa detenidamente, observamos que se veía una franjita moradita otra verdecita y se veía otro color pero...

Sebastián: ... pero era únicamente en los bordes. Si uno se ponía a mirarlos directamente normal eso no pasaba nada. Pero si uno empezaba como a... a... (a concentrarse dice Octavio) a concentrarse no, sino a desenfocar el ojo, ver así borroso. Obviamente había que concentrarse y mirar eso bien ahí. Por eso pusimos esas cosas encima (habla de una tela que ubicaron para hacer oscuridad y observar mejor), por eso intentamos quitar esa luz de por allá. (Taller 2- Plenaria, párrafo N° 59)

Como resultado de la conversación anterior y en línea con la reflexión sobre experimentación exploratoria, Sebastián habla de lo que observaron y el abordaje que proponía el taller.

Sebastián: Eso es lo que estábamos intentando hacer, digamos, qué condiciones eran las que estaban imperando ahí: ¿la distancia, el desenfoque...?, Podríamos decir, tomemos una lupa y ya todo el mundo lo puede ver. O ponemos una lupa a esta distancia y te organizamos pues a tus condiciones y ahí aparece el espectro. Cosas así, pero obviamente hay que manipular mucho eso. (Taller 2- Plenaria, párrafo N° 60)

Además otro participante nos comenta:

Elmer: En el taller pasado lo vivimos, que si bien el documento nos decía coloque tal color y el círculo de otro color ahí nos saltábamos y dejábamos de leer el documento y decíamos: ve... ¿y qué tal si miramos a esta otra parte qué se ve? Entonces si miramos hacia la pared ¿entre este color y este qué pasa? O sea, ya no nos quedamos ahí, el fenómeno que el documento (se refiere a la guía del taller) nos quería mostrar lo relacionábamos a otro. Yo escuchaba a la mayoría de los grupos: que si entonces colocábamos un color o un papel de este color y así el documento no lo dijera, ya uno lo hacía. (Taller 2- Plenaria, párrafo N° 53)

Estos aportes se afinaron con la realización de los demás talleres y la reflexión que suscitaban las plenarias. En el taller 4 se proponía el experimento del cuadrado rojo y azul para este fin. Como fruto de la discusión, los participantes mencionaron que Goethe tenía la intención de obtener algo diferente y para ello hizo cosas diferentes y relacionaron lo anterior con la

manera como se habían desarrollado los talleres. Además, ellos hicieron explícitas las características del desarrollo de los talleres concluyendo que la experimentación posee un carácter exploratorio cuando están en el proceso de construir un fenómeno

5.2.2 Acción y Pensamiento

La relación entre el pensar y el actuar es parte fundamental de la experimentación exploratoria. La manera como se materializa esta relación es objeto de análisis para la formación de hechos experimentales y conceptos. En esta medida, la relación entre la acción y el pensamiento se evidencia en la organización colectiva de efectos sensibles, el diseño y ejecución de experimentos, la conexión entre la teoría y la experiencia en experimentos concretos, y la reflexión sobre el papel del sujeto en el diseño de experimentos y la construcción de regularidades. Las acciones asociadas a los anteriores aspectos sirven de indicios de análisis para los aportes de los participantes.

No obstante, las mencionadas acciones no son cotidianas para los maestros en formación. Por ejemplo, la organización colectiva de efectos sensibles supone el consenso sobre percepciones diversas para diferentes sujetos. Esto exige espacios para el debate, para la comprensión de diversas formas de percibir, para la escucha al otro; y esto no es común en las prácticas experimentales ni en los cursos de física.

Al principio de la implementación de la propuesta pedagógica los participantes se refirieron a términos como luz, rayos, ondas, fotones, conos y bastones, sin establecer una conexión clara entre estos conceptos y su experiencia. Algunos participantes razonaron sobre esto haciendo apreciaciones sobre la manera como la experiencia está desconectada de supuestos conceptuales. Julio por ejemplo, se remitió a las maneras tradicionales de considerar los fenómenos cromáticos para mostrar lo anterior.

Julio: El modelo tradicional sobre la óptica, sea el corpuscular o de ondas o cualquiera que se llame que esté en ese mismo constructo, tan bien fundamentado está y tan bien armado está, que la gente no piensa ni duda sobre ese sistema porque ya está establecido. Ha colocado el color como una consecuencia y es ahí donde Goethe resalta que no es así, porque la experiencia en sí misma, sobre todo de aquellas personas que se dedican a trabajar con el color, **aquellas que tienen mucha**

experiencia con el color¹⁴, tal modelo no satisface esa experiencia. (Taller 1- Plenaria, párrafo N° 13)

Consideramos que este participante hace un especial énfasis al hablar de aquellas personas que tienen mucha experiencia con el color, queriendo resaltar la experiencia en contraste con la preeminencia que normalmente tiene la “teoría”. Los litógrafos, tintoreros, pintores y fotógrafos, por ejemplo, aunque poseen mucha experiencia con el color han manifestado su descontento con la teoría newtoniana. De acuerdo con Goethe (1945), estos “han sido los primeros¹⁵ en señalar la insuficiencia de la teoría newtoniana, ellos (el hombre práctico) descubren mucho más rápidamente lo que una teoría tiene de falsa y fútil que el sabio” (p. 24). Es importante destacar que en el grupo de participantes se encontraba un aficionado a la fotografía, un graduado de dibujo técnico, una maestra de preescolar (con los niños en edades tempranas se trabaja la combinación de colores), algunos aficionados al dibujo y la pintura, y otros que en anteriores cursos habían hecho montajes experimentales sobre la combinación de colores. Todos ellos con sendas experiencias sobre el color; pero... ¿Hemos razonado sobre nuestra experiencia con el color? ¿De qué manera elementos conceptuales como las ondas, los rayos, los fotones u otros permiten organizar nuestra experiencia con el color?

Inicialmente los talleres buscaban afianzar esa experiencia con el color y hacer de éste un elemento de análisis. Este objetivo se concretó en el taller 2 (Los colores fisiológicos) puesto que la experiencia de cada quien era objeto de análisis y creación de experimentos. Retomemos uno de los aportes analizado en la subcategoría anterior:

Elmer: En el taller pasado lo vivimos, que si bien el documento nos decía coloque tal color y el círculo de otro color ahí nos saltábamos y dejábamos de leer el documento y decíamos: ve... ¿y qué tal si miramos a esta otra parte qué se ve? Entonces si miramos hacia la pared ¿entre este color y este qué pasa? O sea, ya no nos quedamos ahí, el fenómeno que el documento (se refiere a la guía del taller) nos quería mostrar lo relacionábamos a otro. Yo escuchaba a la mayoría de los grupos: que si entonces colocábamos un color o un papel de este color y así el documento no lo dijera, ya uno lo hacía. (Taller 2- Plenaria, párrafo N° 53)

¹⁴ La negrita indica un énfasis de entonación en el enunciado

¹⁵ Claro que los fotógrafos no están incluidos en la referencia de Goethe pero ellos hacen parte de este grupo para el contexto actual.

Este aporte nos permite evidenciar un cambio. El desarrollo de algunas situaciones planteadas en las guías modificaron los pensamientos, en lo que podríamos denominar la *observación* desde la perspectiva machiana puesto que lo observado según lo que sugería el taller se constituyó en otras inquietudes e interrogantes adicionales. Las preguntas que formula este participante nos hacen considerar que estos pensamientos modificados redireccionaron la mirada y se constituyeron en nuevas preguntas: ¿Y si cambiamos el color, qué? ¿Qué es lo que se ve? Pero no solo esto; efectivamente, y como lo menciona Elmer, para la mayoría de los grupos “así el documento no lo dijera uno ya lo hacía”. En lo anterior destacamos la manera como el pensamiento se constituye acto.

Ya en la plenaria del taller 3 (Los colores y el prisma triangular), encontramos una situación que sirve de analogía a la relación entre acción y pensamiento para el caso de la experimentación. Al interior de las reglas propuestas para la dinámica de participación, el coordinador sugirió que para esta plenaria no se levantara la mano (para respetar el orden de la palabra) sino que cada uno hablara en el momento que quisiera, siempre esperando a que el anterior participante terminara de hablar. Todos nos sorprendimos... esperábamos múltiples objeciones a tal propuesta. “Puede que genere desorden pero quizás se puede lograr mayor profundidad” (Taller 3- Plenaria, parágrafo N° 78), dijo el coordinador de la discusión.

De manera casi simultánea todos dijeron: “Vamos a ensayar” (Taller 3- Plenaria, parágrafo N° 78). Esta expresión está cargada de un gran significado que muestra en otro contexto la relación entre acción y pensamiento. Luego de los tres primeros talleres, el grupo destaca ahora la experiencia de cada sujeto, por esta razón la propuesta debe pasar por la experiencia. Así pues, sólo la ejecución de esta propuesta permite resolver la pregunta por su viabilidad. Este es un ejemplo concreto de la manera como el pensamiento requiere ahora de la acción y no se queda en la mera especulación sobre situaciones que se pudieran convertirse en hecho. No se trata de un hacer por hacer. Ya se realizaron plenarias con un orden específico de participación, ya se tienen elementos de opinión sobre ello. No obstante, esta forma de proceder puede mejorar la participación. Sin embargo, es necesaria la *acción* para lograr coherencia con la experiencia, aun sin realizar.

Esta relación sobre el hacer y el pensar se extendió a la reflexión sobre el quehacer del científico a la hora de experimentar y sobre el papel de las guías de laboratorio. En la plenaria del taller 3 (Los colores y el prisma triangular) se discutió ampliamente sobre la relación entre experimentación y teoría, problematizando las diversas percepciones de los sujetos y su conexión con la experiencia. Ante esto, muchos participantes cuestionaron su formación y las formas de asumir la experimentación que habían aprendido en otros cursos.

Katherine: Uno en un laboratorio encuentra unos datos y hace todo muy bien; pues sí con error, pero intentando hacer las cosas bien. Y ahí llega otra persona y le dice “no, es que está mal; está mal como lo está haciendo y esos datos no son los que dan”: entonces ¿Cuáles son los que dan si yo lo hice mediante la experimentación? (Taller 3- Plenaria, párrafo N° 78)

Julián: Si nos hablan de la experimentación como punto de partida a la hora de formular una teoría, específicamente la del color, ¿por qué se nos discute respecto a los datos obtenidos por nuestra experimentación? Ahora, es cierto que esos datos son muy relativos, entonces ¿qué relación vamos a tener nosotros entre la experimentación y la teoría en la formulación de una teoría? (Taller 3- Plenaria, párrafo N° 90)

Estos interrogantes hacen parte de las inquietudes de los participantes que surgen luego de formar parte de un abordaje exploratorio de los fenómenos cromáticos. Inmediatamente, ellos conectan esta experiencia con las formas usuales como se han acercado a la experimentación. Ahora comprenden diversas maneras de estudiar un fenómeno dependiendo de la mirada de quien observa; lo que sigue, es cuestionar por qué se invalida la mirada del otro.

La relación entre el marco conceptual y los hallazgos de esta investigación son una muestra adicional de la manera como se relacionan Acción y Pensamiento. Aunque parece que el marco conceptual (asociado al pensar) es anterior a los hallazgos (asociados al resultado de la acción), el análisis de la implementación de la propuesta reformuló los referentes conceptuales que orientaban esta investigación. No es una relación en una vía, ni en dos vías; es más bien como el artista que a medida que crea su pintura se transforma a sí mismo. La construcción del marco conceptual es la gestora de la propuesta de implementación, pero la implementación de la propuesta construye simultáneamente el marco conceptual.



En este punto comprendemos que son muchos los aspectos a destacar de la implementación de la propuesta para esta subcategoría: la organización colectiva de efectos sensibles evidenciados en los párrafos N° 19 (Taller 1- Plenaria) y 59 (Taller 2 - Plenaria), la conexión entre la teoría y la experiencia en experimentos concretos enunciada en los párrafos N° 20, 21 (Taller 1- Plenaria), 42, 48 (Taller 2 - Plenaria) entre otros, y la reflexión sobre el papel del sujeto en el diseño de experimentos y la construcción de regularidades en los párrafos N° 28, 31, 33 (Taller 2 – Registro escrito), 50, 58 (Taller 2 - Plenaria), etc (Mirar anexo digital: transcripciones.doc). Sin embargo, no es en la amplitud de los enunciados a analizar sino en la comprensión profunda de unos pocos donde se puede encontrar una riqueza para este tipo de trabajos de investigación. En particular, los enunciados referenciados en *Acción y pensamiento* nos permiten destacar la manera como el hacer y el pensar se retroalimentan. Reafirmamos en línea con lo anterior que se percibe con la experiencia (acción) pero nuevas experiencias modifican a su vez la percepción (pensar). Esta relación también se extiende a otros contextos, para el caso de los maestros en formación que participaron de esta investigación, la vivencia exploratoria de los fenómenos les permitió repensar sus concepciones sobre la experimentación. Recíprocamente, el cambio en esas concepciones de experimentación les permitió asumir de forma diferentes las actividades planteadas en los talleres y considerarse protagonistas de este proceso de construcción científica.

5.3 Formas de ver y su historicidad

Dos han sido las perspectivas que se han estudiado en este trabajo: la de Goethe y la de Newton. Cada construcción de los fenómenos cromáticos propuesta por estos autores obedece a una forma particular de observar el mundo. Cada organización conceptual y experimental es fruto de un *estilo de pensamiento* que está en directa relación con una concepción de naturaleza, de experimentación y con un contexto cultural e histórico determinado.

Para Newton, los experimentos permiten una lectura directa del funcionamiento de la naturaleza. Estos experimentos pueden reproducirse siempre que su estudio y difusión sea riguroso y específico. Por esta razón, los experimentos deben detallarse con suma especificidad. Algunos de estos experimentos son cruciales y guardan formas explicativas para los demás. Podríamos considerar que esta mirada de la naturaleza supone una relación de exterioridad entre

el sujeto y el objeto puesto que el funcionamiento de la misma es independiente del sujeto que la percibe. En este panorama, no es necesario de construcciones intermedias entre sujeto y naturaleza pues ésta puede leerse directamente siempre que el sujeto que la observa no se equivoque en la forma de realizar los experimentos que revelan su esencia.

Para Goethe, la naturaleza y el sujeto se constituyen en la medida en que se relacionan. Esta relación viene dada por la experimentación en la que el sujeto es protagonista, pues es quien construye su percepción de la naturaleza. Así pues, la experimentación-teorización es un proceso amplio de relación entre el sujeto y la naturaleza. Por esta razón los experimentos no pueden detallarse rigurosamente pues cada sujeto participa activamente de su construcción. Esta mirada inter-subjetiva de la naturaleza considera al sujeto como parte de la misma de tal modo que cuando conocemos más de la naturaleza es porque necesariamente conocemos más de nosotros mismos. El experimento no ofrece la esencia de la naturaleza sino que evidencia la forma particular como nos relacionamos con ella, son diferentes para los sujetos y las culturas en los que estos crecen.

Como propusimos en el marco metodológico, el análisis de los enunciados y acciones en relación con esta categoría no tienen la intención de clasificar a los participantes en un *estilo de pensamiento* particular. Buscamos, más bien, destacar en los enunciados de los participantes diversas maneras de asumir la experimentación, la relación sujeto y naturaleza, los elementos que configuran la construcción de los fenómenos cromáticos, entre otros aspectos.

A lo largo de la implementación de la propuesta fueron permanentes las inquietudes sobre el proceder de un científico, la validación de propuestas teóricas y experimentales, la diferencia entre la ciencia y el arte para el caso del color, la forma de comunicarse de los científicos, las formas de asumir la experimentación, entre otros aspectos. La identificación de estas inquietudes permitió la reformulación de algunas preguntas y actividades de los talleres, que buscaban construir y evidenciar esas formas de ver y su historicidad.

A continuación se muestran algunos hallazgos en relación con dos grupos de reflexiones: sobre el proceder científico en la experimentación y la reflexión sobre la historicidad.

5.3.1 Sobre el proceder científico en la experimentación

La construcción de los fenómenos cromáticos desarrollada en las actividades propuestas sirve, entre otras cosas, para hablar sobre la relación teoría-experimento desde el análisis de la propuesta goetheana y newtoniana. Preguntas como las siguientes hacen parte de esta reflexión: ¿Cuáles elementos conceptuales son importantes en la construcción de los fenómenos cromáticos? ¿Cómo la experimentación define estos elementos o viceversa? ¿Distintos científicos que reproduzcan los mismos experimentos deben interpretarlos de la misma forma? ¿Cuál es el papel de la experimentación en la construcción científica? ¿Cuál es el papel de la teoría en la construcción científica?

Al respecto, en el marco conceptual abordamos dos maneras de asumir la experimentación: una orientada por la teoría y otra exploratoria. Allí mostramos cómo estas dos maneras de asumir la experimentación obedecen a su conexión con los marcos interpretativos que permiten comprender el experimento. Si estos marcos interpretativos están bien definidos, la experimentación es orientada; si estos marcos interpretativos están en proceso de construcción, la experimentación es exploratoria. Mostramos además cómo la manera newtoniana de abordar los fenómenos cromáticos puede considerarse como guiada, y cómo el estilo goetheano a su vez puede asumirse como exploratorio.

Para la mayoría de los participantes, los enunciados de las actividades iniciales mostraban que la única manera de asumir la experimentación era de forma *guiada por la teoría*. En la plenaria del taller 1 se discutió sobre el experimento de Newton con el prisma y la dispersión de la luz; discusión que se prestó para evidenciar formas de relacionar la teoría con la experimentación. Este experimento se trató de reproducir sin éxito y un participante habló al respecto.

Sebastián: Si usted pretende replicar esta experiencia pues entonces usted tiene que controlar estas variables. Tan tan tan tan tan, usted tiene que poner su marco de referencia muy bien establecido para poder que lo que usted dijo se replique como usted lo dijo. Entonces; nosotros intentando hacer ese experimento y obviamente (se refiere al experimento de la dispersión de la luz blanca con el prisma) ¿nosotros cómo vamos a hacer? Aquí primero que todo hay mucha luz y se supone que Newton hizo eso en un cuarto oscuro y le hizo un hueco a la pared y puso el prisma ahí. Entonces nosotros cómo pretendemos replicar eso con las características del

lugar en donde estamos. Nosotros no estamos controlando ni siquiera la mayoría de las variables. (Taller 1- Plenaria, parágrafo N° 24)

¿Qué significa controlar variables? El experimentador debe controlar los ambientes para poder estructurar sus experimentos. Ese control viene dado por un marco de referencia bien establecido. El participante en cuestión considera que algunos de los elementos de ese marco interpretativo corresponden a la cantidad de luz, las características del cuarto y el hueco en la pared cuya longitud es específica para facilitar la consecución de un “rayo de luz”.

Sebastián: Pero mínimamente usted tendrá que por lo menos controlar esas variables para poder que llegue a una conclusión así. Aquí si miramos así (toma el prisma e indica cómo se debe mirar) pues NO, usted no está controlando ni la luz que está entrando ni nada. No le va a dar el espectro así como le dio a Newton. Cuando en la reproducción de esa guía a usted no le da, puede ser que al que la hizo le faltó claridad. (Taller 1- Plenaria, parágrafo N° 24)

Entonces, para Sebastián, la claridad en los marcos de referencia determina el control de ambientes y variables para que el experimento ofrezca lo que se necesita. La mirada al experimento esta predefinida y por tanto se espera un resultado. Ahora el participante no solo menciona elementos conceptuales que configuran este marco interpretativo sino también formas procedimentales, como la manera de tomar el prisma. Consideramos que el aporte de Sebastián y la manera como caracteriza la experimentación se debe en parte a que la manera como se ha relacionado con el experimento es bajo una mirada ortodoxa de la experimentación.

No obstante, y como fruto de la implementación de los talleres y sus respectivas socializaciones, los participantes construyeron formas alternativas de relacionar la teoría y el experimento. En la plenaria del taller 3 (Los colores y el prisma triangular), se discutió ampliamente sobre la percepción del color y la manera como la disposición experimental contribuía a este fin. Sebastián, mostrando ahora un cambio en la manera de asumir la experimentación comentó:

Sebastián: Cuando empezaron a hablar de eso del prisma, yo me puse a mirar directamente el cosito acá (se refiere a una imagen a blanco y negro en la pantalla de su computador) y a modificarlo ahí cuando me aparecieron los colores. No sé si me los estoy imaginando que están ahí. Yo sé que están porque yo veo con el prisma pero yo ya los puedo, con más claridad, hacer aparecer (se refiere a hacerlos aparecer las franjas de color sin el



prisma). [...] Yo últimamente he estado escuchando mucha más música y haciendo más música entonces ya escucho más todos los instrumentos que hay, pues, antes no le prestaba atención. (Si combinan – dice otro) Sí, si combinan... que cómo salió ahí el bajo. Pero acá, simplemente el hecho de querer verlos pues los veo. Yo estoy haciendo la experimentación que hicimos sin el prisma. Solo modificando la perspectiva que tenemos, desenfocando el ojo. (Taller 3 - Plenaria, párrafo N° 96)

Al observar con el prisma figuras en diversos fondos, se identifican limbos coloreados que ahora Sebastián percibe sin necesidad del prisma. Sebastián y sus compañeros realizaron algunos experimentos donde observaban fronteras coloreadas sin el uso el prisma. Esa intención de querer percibir los colores lo faculta para direccionar los experimentos y su búsqueda no está en línea con el control de ambientes y variables o con la comprobación o refutación de hipótesis, sino con la exploración atenta del fenómeno. En la construcción goetheana de los fenómenos cromáticos encontramos cómo los colores fisiológicos (los que ahora puede ver Sebastián), los colores físicos (por ejemplo los observados a través del prisma) y los colores químicos pueden relacionarse con las mismas reglas empíricas que Goethe sistematiza en el círculo cromático y que son fruto de la percepción intencionada del color en diversos contextos. Consideramos entonces que los elementos conceptuales bajo los cuales Sebastián construye ahora los fenómenos cromáticos son otros, puesto que su percepción se ha modificado. Los *estilos de pensamiento* no son invariables en el tiempo para un mismo científico sino que también son susceptibles de ser contruidos.

En los párrafos anteriores mostramos las opiniones de uno de los participantes contrastándolas en su carácter temporal y considerando que este cambio de opinión fue posibilitado por los talleres. Ahora bien ¿Cuál es el aspecto clave en este cambio de opinión? ¿Qué permite pasar de la idea de “control de variables” a la idea de “intención en la percepción”? En la idea de otorgar al científico la responsabilidad de controlar variables, aislar las variables indispensables y encontrar la esencia de la naturaleza, se encuentra una mirada objetiva de la misma. Bajo esta mirada, el científico debe eliminar todas aquellas circunstancias que no le permiten observar con claridad y directamente la naturaleza. Incluso si ello supone eliminar lo que percibe. Los talleres de la propuesta exigían describir lo observado, reconocer que los participantes no percibían lo mismo, confiar en los ojos y mirar con atención. Esta exigencia no

es más que reconocernos como partícipes perceptivos de la experimentación. Al tener conciencia que la percepción también está intencionada, es fácil identificar que el principal papel de los sujetos en la construcción científica es el de *percibir* y retomando a Gothe (1945), al percibir con atención ya estamos en plena actividad teorizante. Esta es una mirada intersubjetiva de la naturaleza donde, como dice Sebastián, “el hecho de querer verlos pues los veo”. Podemos afirmar entonces, que no hay naturaleza sin sujeto que la perciba, ni sujeto sin naturaleza que dé cuenta de su percepción.

5.3.2 Historicidad

Sobre la historia y su uso en la enseñanza de las ciencias hay mucho ya planteado; diversas alternativas, diversas formas de asumir la historia, diversas bondades. Pero en *El uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias - Una reflexión centrada en la experimentación sobre los fenómenos cromáticos*, queremos destacar la historicidad de los sujetos y cómo ésta se puede construir grupal e individualmente a través de una propuesta de enseñanza fundamentada en un análisis histórico y epistemológico. Hubo una serie de aportes de los participantes que no sólo mencionaban aspectos conceptuales, metodológicos o epistemológicos de la construcción de los fenómenos cromáticos, sino que además los ubican a ellos mismos al interior de ese discurso. A continuación aparece uno de los aportes realizado en la primera plenaria en línea con el experimento fallido de la dispersión de la luz blanca que mencionamos en el apartado anterior.

Sebastián: Para hacer cualquier investigación tiene que buscar y leer los que investigaron de eso para que usted no vaya a cometer, por lo mínimo los mismos errores. Usted tiene que leer todo eso: Lo que se hizo. Y de eso mirar a ver qué cosas le pueden ir en contra a su especulación.

[...]Taller 1 - Plenaria, parágrafo N° 24

Aunque el participante se refiere en términos de “usted”, consideramos que él muestra una manera particular de relacionarse con los científicos y con el pasado. La historia de las ciencias es para este participante un depósito de aciertos y errores donde el hombre del presente lee una lista de aciertos a reproducir y de errores a no cometer. Para Sebastián, el camino hacia el futuro es un camino positivo y de permanente progreso, la naturaleza funciona siempre igual pero no se

comprende totalmente. A medida que la ciencia se aproxima hacia el mañana adelanta en esa comprensión.

En las actividades finales (Taller 4 y entrevista) observamos formas alternativas de asumir la historia y ubicarse en ella. En la entrevista por ejemplo, el participante nos comentaba su opinión sobre las intenciones de Newton y Goethe a la hora de experimentar en torno a los fenómenos cromáticos.

Elmer: En cierto sentido Newton no se equivocó... él redujo, él buscaba algo; ya sabía que quería encontrar. Necesitaba las condiciones y las hizo, hizo lo que él quería. Goethe también sabía lo que iba a buscar y era una cosa muy diferente. Él sabía que no necesitaba que todo fuera oscuro, no, yo quiero con luz. No lo contradice. **El mismo experimento con situaciones distintas. Yo lo puedo hacer con situaciones distintas, ¿entonces va a ser la teoría de Elmer? ¿Estoy contradiciendo a Newton o a Goethe?** (Entrevista, párrafo N° 160)

Esta investigación puede considerarse la fotografía del momento en el cual los investigadores y protagonistas hicieron parte de ella. Una fotografía que habla de la historia de vida de todos nosotros. En particular, el contraste resultante entre la teoría newtoniana y la goetheana para los fenómenos cromáticos no constituye un hecho aislado o poco relacionado. En los inicios de esta investigación, Goethe y su estilo de pensamiento se nos mostraban como lo más importante a destacar; sin embargo, Newton permaneció como una sombra. Finalmente los dos configuraron decididamente la propuesta de enseñanza y los referentes conceptuales. Es la transformación de nuestra relación con Newton y con Goethe la que llevó a este final. Aproximarnos a la lectura de sus obras, reflexionar sobre las características de sus métodos, y especular sobre sus estilos de pensamiento es establecer un diálogo directo con ellos, con su cultura, con su época. Este diálogo cobra sentido desde el presente y no sólo un sentido para nuestras formas de asumir el fenómeno cromático sino para nuestra práctica docente.

Los talleres son un reflejo de lo anterior y en el aporte de Elmer encontramos una muestra clara de cómo los participantes se hicieron protagonistas de esta historia. “El mismo experimento con situaciones distintas. Yo lo puedo hacer con situaciones distintas, ¿entonces va a ser la teoría de Elmer? ¿Estoy contradiciendo a Newton o a Goethe?”, dice Elmer. En esta afirmación evidenciamos cómo un maestro en formación se considera parte de la cultura científica y muestra una manera específica de relacionarse con otros científicos, y es a través de la reproducción de

sus experimentos en diferentes contextos históricos. La historia ya no es un depósito cronológico de aciertos y errores a leer sino un espacio de diálogo con otros, una forma concreta de participar de la actividad científica.

Las consecuencias pedagógicas de lo anterior son muchísimas y muy positivas. Deseamos destacar, no obstante, aquellas relacionadas con la redefinición de contenidos y el reconocimiento del maestro como protagonista de la enseñanza. Al interior de los aportes relacionados con este aspecto tenemos el siguiente, que corresponde a la última intervención en el taller 4 (Newton y Goethe, el problema del cuadrado rojo y azul). Se enmarca en las posibles respuestas a la pregunta ¿Cuál es el papel de mi historia al interpretar la obra newtoniana y goetheana y opinar sobre ello?

Luisa: Yo tu pregunta la asumí como qué relación tenía esto que vivimos acá con nuestra historia o cómo la iba a cambiar. Yo la guié como en dos partes. En la historia, bueno, ya sé que cuando... y también lo voy a relacionar con mi profesión docente. Sé que cuando yo vaya a enseñar fenómenos ópticos u óptica geométrica yo al menos ya voy a tener opciones. Voy a ir a hacer un estudio no solo de lo relacionado con Newton sino que voy a leer a Goethe o a otro o a otros. Entonces me gusta que tenga esa posibilidad. Que cuando este leyendo algo, consultando algo, me aparezca por allá Goethe. Cuando me aparezca Goethe no va a ser alguien ajeno a mí porque ya al menos tuve un acercamiento en este curso con él. **Entonces quizás pueda entender más cosas y pueda quizás cambiar mi postura.** (Taller 4 – Plenaria simultánea, parágrafo N° 155)

De algún modo el anterior aporte es una síntesis de gran parte de los objetivos de este trabajo. Luisa nos dice que al enseñar ciertos contenidos va a hacer un estudio de la obra de diversos científicos. Este estudio lo piensa hacer ella misma y no tomarlo de un programa curricular. Lo más importante en este aporte es que la participante considera con optimismo que al trazarse la meta de enseñar, y en este camino buscar relacionarse con los demás científicos, entonces quizás pueda entender más cosas y **construir** su postura. Consideramos que los participantes y los investigadores al hacer parte de esta investigación conocieron y transformaron sus *formas de ver* e interpretar el mundo, construyeron un capítulo de su historia como maestros de ciencias.

6. Conclusiones

Al iniciar este trabajo de investigación en forma de proyecto de investigación la primera dificultad fue manifiesta en la búsqueda de un problema. Aunque en nuestra diaria labor como docentes siempre se tienen problemas, la diferencia entre estos y los problemas investigativos es mucha. Esto significa que los problemas investigativos también se construyen. Algunas ideas funcionaron como semillas y crecieron hasta convertirse en los pilares de este trabajo. A saber: la formación de docentes, la enseñanza de los fenómenos luminosos y el papel de la experimentación en el diseño de contenidos para la enseñanza de la Física. Estos pilares constituyeron un problema de investigación sintetizado en la invariabilidad en los contenidos a enseñar como una consecuencia de negar el papel protagónico del sujeto (maestro o estudiante) en la construcción científica. Luego de esto, apareció Goethe y su propuesta de construcción de los fenómenos cromáticos. Al principio tratamos de comprender la mirada goetheana desde algunos artículos que interpretaban esta perspectiva. La lectura de estos artículos nos obligó a reproducir algunos experimentos muy sencillos pero no menos reveladores. No reveladores de una *verdad científica* sino de una pobreza mental que heredamos de nuestra tradicional enseñanza de las ciencias. Se trataba de observar algunas imágenes a través de un prisma, esto supone algunos requerimientos. Primero, es necesario ensayar la forma de tomar el prisma y la forma de mirar a través de él. Segundo, este proceso, (el de tomar el prisma y mirar a través de él) debe consensuarse con alguien, no está predeterminado y en todos los sujetos (participes de esta investigación, colegas y público asistente a los talleres) fue motivo de validación por parte de otros. Luego de esto, y como tercer punto, es necesario definir lo que se observa a través del prisma. Se observan otros colores distintos a los de los objetos. Esto supone una serie de preguntas ¿Por qué nunca se nos ocurrió mirar a través de un prisma? ¿Por qué a pesar de saber de la importancia de este instrumento en óptica y de contar con alguno, no buscamos maneras diferentes a la de utilizarlo para “atravesar un rayo de luz blanca por él y lograr el espectro de colores”? Así pues, siempre que se realizaban talleres o exposiciones donde se exigía mirar con el prisma encontrábamos el mismo efecto: para todos, mirar a través del prisma era como mirar por primera vez y siempre tenía que ser en compañía de otro. Nos remitimos entonces al texto original de Goethe, iniciando con la



introducción. Encontramos allí una manera diferente de concebir la Naturaleza, era una especie de apertura a la contemplación del entorno. Luego, la lectura del texto en sí, exigía, obligatoriamente construir experimentos. Entonces, en muchas de las situaciones cotidianas observamos colores, los mismos colores de siempre pero eran diferentes. Al cerrar los ojos ante una luz intensa, en los contrastes, en el cielo, en el sol. La observación del color fue algo diferente. No porque Goethe así lo propusiera, sino porque su lectura exige que nosotros directamente exploremos el fenómeno cromático. Para comprender sus planteamientos es necesario ser partícipes de la Naturaleza, estar en ella y no solo con ella. Es un conocer desde adentro, es un construir desde adentro. Sea por la influencia de un autor, de un grupo de autores, del asesor, de los protagonistas de la investigación o por lo demás; una investigación implica un cambio de mirada.

En el estudio histórico y epistemológico realizado sobre los fenómenos cromáticos desde las perspectivas de Newton y Goethe, proponemos tres referentes epistemológicos para este trabajo de investigación. En *La construcción de los fenómenos cromáticos desde Goethe* definimos aquellos elementos disciplinares y epistemológicos que fundamentan desde la perspectiva de Goethe la percepción del color: Visión y Naturaleza, el color como contraste entre oscuridad-luminosidad y los principios asociados a la percepción del color. En *La experimentación como generadora de conocimiento* mostramos formas alternativas y diversas de asumir la experimentación en la construcción de conocimiento. Como subcategorías de esta perspectiva tenemos el carácter exploratorio de la experimentación y la relación acción y pensamiento. Finalmente, en *Formas de ver y su historicidad*, describimos dos estilos de pensamiento, el newtoniano y el goetheano. Estos estilos corresponden a propuestas teórico-experimentales diferentes, a formas diversas de asumir la relación observador – objeto, a estilos de pensamiento diferentes.

La etnografía según Geertz configura un marco metodológico que otorga toda relevancia a la interpretación que hace el investigador. Este referente epistemológico otorga libertad al investigador en la medida en que lo facultad para confiar en su lectura del mundo pues no se preocupa por encontrar “verdades ocultas o evidentes” sino por narrar la historia de lo que percibe. En este sentido, Elkana (1983) completa armónicamente este marco

metodológico pues conecta la idea de *descripción densa* como labor del etnógrafo con la concepción de *descripción densa* como discurso científico. Bajo este parámetro, la propuesta pedagógica buscaba generar descripciones densas en los participantes. Estos aportes se sistematizaron de forma sencilla y ordenada otorgándole prioridad al contexto en el cual se enmarcaba el aporte y la conexión que este tenía con los objetivos de la investigación.

Los resultados de la implementación de la propuesta de talleres inicialmente generaron cierto descontento pues los aportes no se conectaban con la experiencia de los sujetos frente a los fenómenos cromáticos. Luego los participantes empezaron a confiar en su percepción y a otorgarle verdadero valor a su experiencia generando valiosos aportes que daban cuenta de la potencialidad de la propuesta. Los encuentros de talleres y plenarias resultaron ser espacios de construcción donde categorías como *Formas de ver y su historicidad* se constituyeron completamente. Los aportes de los participantes dieron cuenta de un proceso de construcción de los fenómenos cromáticos que destacaron aspectos como la visión y el papel del sujeto. Además las inquietudes sobre el rol de la experimentación en la ciencia y alternativas de comprensión de la experimentación con un sentido pedagógico fueron abundantes y significativas. Finalmente los resultados de la propuesta mostraron grandes inquietudes sobre la posición epistemológica de los científicos y los docentes.

Con base en la investigación adelantada podemos considerar que Los estudios históricos y epistemológicos son útiles para 1) construir los fundamentos de un fenómeno. En esta medida, este tipo de estudios se convierten en una estrategia para participar concretamente de la cultura científica y la filosofía de la ciencia puesto que el estudio de aspectos disciplinares, metodológicos y epistemológicos permiten al maestro actuar como científico y como filósofo de la ciencia. 2) La reflexión pedagógica es una de las características de este tipo de estudios. Asuntos como la redefinición de contenidos, el papel de la experimentación, la construcción de estilos de pensamientos en docentes y estudiantes, las características de actividades experimentales entre otros aspectos, también forman parte decidida de los estudios históricos y epistemológicos. Además, las propuestas de talleres que resultan de este tipo de estudios son potentes, puntuales y acordes para trabajar en

diversos contextos de enseñanza de las ciencias. Finalmente, la realización de estudios históricos y epistemológicos permite que 3) el maestro configure su estilo de pensamiento y construya su historicidad.

7. Contribuciones del trabajo y la propuesta pedagógica

En las conclusiones describimos la forma como este trabajo contribuye a los usos de los estudios históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias, cabe destacar además, las potencialidades de la propuesta pedagógica en la formación de maestros. El diseño de talleres, su implementación, la forma de discutir en torno a ellos, los documentos asociados y las formas de interpretar los enunciados del grupo de maestros en formación; constituyen una alternativa para la enseñanza de la Física (en cuanto a fenómenos luminosos) en la formación de maestros de física. Esta alternativa permite destacar al maestro como protagonista de la enseñanza puesto que es quien planea, propone interrogantes, diseña actividades y evalúa los aportes de sus estudiantes. Por esta razón, la propuesta pedagógica diseñada para esta investigación busca que el maestro en formación al reconocerse protagonista de la construcción científica en lo que percibe y experimenta, puede repensar su papel (comúnmente de transmisor) en la enseñanza de las ciencias. Este es uno de los objetivos de los docentes que forman licenciados y normalistas; en la propuesta pedagógica de esta investigación mostramos una herramienta para el logro de este objetivo.

El uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias - Una reflexión centrada en la experimentación sobre los fenómenos cromáticos es una investigación que durante su desarrollo ha aportado a la divulgación de la Historia y Epistemología de la ciencias como posibilidad de reflexión en la enseñanza de las ciencias. Inicialmente, y como fruto del estudio histórico y epistemológico realizado para los fenómenos cromáticos en Goethe y Newton, participamos como ponentes en “The 3rd Latin American Regional – IHPST Conference 2014” desarrollada en Santiago de Chile del 17 al 19 de noviembre de 2014. Seguidamente y destacando la tercera categoría del marco conceptual, participamos en el “Encuentro Historia, Epistemología y Enseñanza de las ciencias – seminario permanente Grupo ECCE” mostrando cómo la epistemología

comparada para el caso del estilo de pensamiento newtoniano y goetheano permite destacar la percepción de quien construye el fenómeno cromático. Este encuentro se desarrolló en la Universidad de Antioquia en Junio de 2015 y contó con maestros en formación (Normales y facultades de Educación) como la mayoría de su público. En julio de 2015 participamos además en la “13th IHPST Biennial Conference 2015” con la ponencia presentada en inglés *Goethe and color theory A teaching proposal based on the exploratory experimentation*. En esta presentación destacamos las categorías de análisis construidas y las potencialidades de la propuesta en la formación de maestros. Finalmente y no menos importante, cada semestre, los avances de la investigación se presentaron en el seminario permanente de la Maestría en Educación en Ciencias Naturales contando con la participación de docentes de la Maestría, estudiantes de diversas facultades de educación, invitados especiales de otras ciudades, entre otros. Estas cuatro presentaciones (una por semestre) nos permitió socializar los avances y retroalimentar la investigación a través de los aportes de los participantes.

Aunque reconocemos la potencialidad de la propuesta pedagógica y consideramos que se realizaron aportes al uso de los estudios históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias, consideramos que esta investigación es una invitación al uso de los estudios históricos y epistemológicos como alternativa investigativa y pedagógica. Este tipo de estudios permite que investigadores, participantes, docentes y estudiantes reflexionen sobre su papel en la investigación, enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayala, M.M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la reconstrucción de saberes científicos.

Pro-Posições. Vol. 17, N°. 1 (49) - jan./abr. 2006, pp. 19-37. Campinas, Brasil.

Cisterna, F. (2005). Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. *Theoria*, Vol. 14 (1): 61-71.

De Hosson, C. (2004). En Contribution A L’analyse Des Interactions Entre Histoire Et Didactique Des sciences. Elaboration d’unsupport d’enseignement du mecanisme optique de

la visionpourl'ecoleprimaire et le college et premierselements d'evaluation. (Tesis doctoral).Universit Paris-Diderot.

- Duhem, P. (1906-1914/2003). La teoría física, su objeto y su estructura. Barcelona: Ed. Herder.
- Elkana, Y. (1983). La ciencia como sistema cultural. Una aproximación antropológica. En Boletín de Epistemología, Bogotá. Vol. III. No. 1, 1983.
- Ferreirós, J. & Ordóñez, J. (2002). Hacia una filosofía de la experimentación. *Crítica. Revista hispanoamericana de filosofía*. Vol. 34, N° 102, pp. 47-87. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
- Fleck, L. (1935 [1986]). La génesis y el desarrollo de un hecho científico. Alianza Universidad. Barcelona, 1986.
- Gagliardi, M. Giordano, E. & Recchi, M. (2006) Un sitio web para la aproximación fenomenológica de la enseñanza de la luz y la visión. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), pp. 1-8.
- García, E. (2011). Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. En *Praxis filosófica*.
- Geertz, C. (1992) La Interpretación de las culturas. Editorial Gedisa: Barcelona.
- Goethe, J.W. (1991). Obras completas. Tomo I. Aguilar S.A. de Ediciones: México, D.F.
- Goethe, J.W. (1945). Teoría de los colores. Editorial Poseidón: Buenos Aires.
- Granés, J. (1988). Newton y el empirismo: una exploración de las relaciones entre sus concepciones del conocimiento del mundo natural. Universidad Nacional de Colombia: Bogotá. D.C.
- Mach, E. (1948). Conocimiento y Error. Espasa. Argentina.
- Malagón, J.F., Ayala, M.M. & Sandoval, S. (2013). Construcción de fenomenologías y procesos de formalización. Un sentido para la enseñanza de las ciencias. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, 2013.

- Magallanes, F. (2000). Actualidad de Goethe. *Philologia Hispalensis*. Vol. 14, pp. 35-46.
- Mayrargue, A., & Savaton, P. (2006). Quels liens entre l'histoire des sciences, l'épistémologie et la didactique des disciplines?. *Tréma*, (26).
- Newton, I. (1945). *Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*. Traducción: Eugenio Días Del Castillo. Editorial Maestros de la Ciencia.
- Newton, Isaac. (1967/1993). *Principios Matemáticos*. Estudio preliminar y traducción: Antonio Escoto. Barcelona: Altaya (pág. 461-463).
- Piñuel, J.L. (2002) Epistemología, metodología y técnicas de contenido. *Estudios de Sociolingüística* 3(1), 2002, pp. 1-42.
- Ribe, N., & Steinle, F. (2002). Exploratory experimentation: Goethe, Land, and color theory. *Physics Today*, 55(7), 43.
- Rodriguez, L. D. & Ayala, M. M. (1996). La historia de las ciencias y la enseñanza de las ciencias. Física y cultura. Cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias. UPN, Bogotá, No. 2, 1996, pp. 75-95
- Romero, A. E., Henao, B. L., Barros, J. F. (2013). La argumentación en la clase de ciencias. Aportes para una educación en ciencias en y para la civilidad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias. Medellín: Universidad de Antioquia, Facultad de Educación, 2103.
- Serogluo & Aduriz-Bravo (2012) Introduction -The Application of the HPS in Science Teaching. *Sci & Educ* (2012) 21:767–770.
- Shulman, L.S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching, *Educational Researcher*, 15 (2), 4-14. Trad. y edición española (“El saber y entender de la profesión docente”) en *Estudios Públicos* (Centro de Estudios Públicos, Chile), núm. 99, 2005, 195-224.

- Silva, C. C. & Martnins, R. (2003) A teoria das cores de newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula Newton's color theory: an example of the use of the History of Science in classroom situations. *Ciência & Educação*, v. 9, n. 1, p. 53-65, 2003
- Steinle, F. (1997). Entering New Files: Exploratory Uses of Experimentation. *Philosophy of Science*. Vol. 64, Supplement. Proceedings of the 1996 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Part II: Symposia Papers, pp S65- S74. Chicago University Press.
- Steiner, R. (2011). Goethe y su visión de mundo. Buenos Aires: Editorial Antroposófica.
- Taton, R. (1972). Historia general de las ciencias. Vol II. La ciencia moderna. Ediciones Destino: Barcelona.
- Txapartegi, E. (2008). *Crítica. Revista hispanoamericana de filosofía*. Vol. 40, N° 118, pp. 79-107. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
- Werle, M. (2012). La cuestión del colorido en la pintura: Hegel frente a Goethe y Diderot. *Estudios en filosofía*. 24(2), pp. 123-148



Anexo 1: Propuesta de enseñanza

Taller 1:



El uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias. Una reflexión centrada en la experimentación en torno a los fenómenos cromáticos.	3
Actividad 1	

16

EN COMPAÑÍA DEL COLOR

Los fenómenos cromáticos, aquellos relativos al color, son una parte de los fenómenos luminosos poco explorada en la enseñanza de la física. Este taller propone una serie de actividades a través de las cuales el color se convierte en el principal elemento de reflexión sobre el mundo que percibimos.

A continuación aparece una narración en primera persona. El objetivo es completar el texto de forma coherente. En este aparecen una serie de reflexiones en torno al color que exigen evocar experiencias o reproducirlas. El texto debe completarse según las indicaciones que aparecen al final (Cada numeral es una indicación). Estas indicaciones exigen completar, diseñar procedimientos o procesos, definir y elegir aspectos específicos, entre otras acciones. Puede tratarse de palabras o frases completas. En algunas indicaciones es necesario utilizar los materiales dispuestos. Para el caso en que las indicaciones exijan pensar en el uso de pinturas, tenga en cuenta que los colores básicos para la pintura son el amarillo, azul y magenta (fucsia). El título debe inventarse luego de finalizada la actividad.

SIN TÍTULO

¹⁶ Encabezado del taller escrito.

Ahora, en este punto de mi vida, me pregunto si he observado detenidamente lo que a mis ojos ha ofrecido el mundo. Cierto es, que luego de despertar cada día, puedo mirar mis manos, el rostro de **1**, en algunos días el azul del cielo y **2**. Sin embargo, no sé qué tanto he observado con atención. En medio de tantas corrientes, enfoques y formas diferentes de abordar el estudio de la naturaleza, sólo encuentro en los demás apreciaciones sobre aquellos puntos en los cuales debo focalizar mi *mirada*. Pero... antes de aceptar lo que otros proponen debería hacer el sencillo ejercicio de confiar en lo que ven mis ojos. Quizás, luego de ello, pueda definir con claridad mi *punto de vista* y así comprender la forma de ver de los demás.

Con mis ojos veo los objetos; pero una persona con dificultades visuales también podría percibir los objetos con sus manos, con su tacto. Así, lo que ven mis ojos en los objetos es el color de los mismos. Es muy llamativo para mí ver el color de las flores; son tan variadas y resaltan sobre el verde de las hojas y el verde es un color como **3**. También, cuando **4** se observan colores tan **5** y **6**. Sólo hasta ahora me detengo a pensar en ello.

Las montañas cercanas son de color **7**, las montañas lejanas son de color **8**; a no ser que **9**. El mar es **10** pero cuando tomamos el agua en nuestras manos su color es **11**. El día tiene como esencia el color **12** y la noche el color **13**. En el lejano azul del cielo diurno observo el color característico del **14** y en el profundo **15** del cielo nocturno observo el **16**. Algunos frutos como **17** durante su crecimiento tienen varios colores, ésta (o éste) en particular, a veces es **18**. En algunas circunstancias observo los colores de forma extraña. Es el caso de algunas farolas de vehículos que se ven rodeadas por líneas de colores diversos, u objetos que parecen rodeados por halos de luz; también **19**. Cuando quiero decolorar **20** basta con utilizar **21** y el anterior color desaparece.

Es claro para todos que cuando se cierran los **22**, todos los objetos se observan de color **23**. Igual pasa en la completa oscuridad, no se diferencian los objetos y todo parece **24**. Ante la completa claridad e incandescencia, es la misma situación: no puedo observar nada. En la noche, cuando el sol está ausente y nos iluminan otras fuentes de luz, los colores de los objetos se ven **25**, por ejemplo **26**. Justo al medio día, cuando el sol brilla con más intensidad y nos encontramos a campo abierto, necesitamos un poco de sombra para poder diferenciar lo que vemos. Es el caso

de **27**. De las anteriores situaciones podría concluir que para que el color sea observable es necesario **28**.

Sin embargo, un mismo objeto no posee el mismo color en todo momento. Por ejemplo, **29**. Yo podría cambiar el color de algo a voluntad. Este **30** es de color **31**. Si **32** lo observo de color **33**. También podría **34** y se tornaría de color **35**. O quizás **36** porque así se ve de color **37**. Entonces si quisiera que durante unos segundos el **38** se observara de color naranja puedo **39**. El **38** puede verse también de color naranja durante más tiempo, unas horas o minutos, si **40**. En cambio, si quiero que el **38** sea de color naranja definitivamente o al menos durante días debo **41**.

Sólo ahora empiezo a comprender el difícil papel del pintor. La obra “La niña de las rosas” de Francisco Antonio Cano siempre me ha gustado. En ella se ve **42**. Pero al fijarme en su **43** puedo notar que no sólo tiene un color, sino **44**. Su vestido, que sin temor puedo catalogarlo de color **45**, supone para quien pinta una variada gama de colores. El vestido en unas partes es como **46**, en otras es **47** y en otras parece **48**. Una posible manera de obtener esta variedad que surge del **49** sería **50**. La diferencia entre disponer de las pinturas y efectivamente plasmar con tanto detalle lo que observamos es **51**.

¿Y cuál es mi papel en todo esto? Observo lo que me rodea, los demás también y me ven allí, en su entorno. ¿Cómo me veré ante los demás? El color de mis ojos es **52**, mi tez es de color **53**, mi cabello es **54** y **55**. Mi color preferido es **56** y mis ambientes favoritos son aquellos donde reina el color **57**, porque **58**. Veo los colores de las cosas y también los colores me constituyen. Los colores de los objetos cambian y lo que me constituye también. No sólo son una característica de los objetos, los colores también son **59**.

1, 2 y 3. Complete.

4. Enuncie una situación donde los colores sean protagonistas.

5 y 6 ¿Cómo son los colores que se observan en la situación 4? Sorprendentes, diferentes, vistosos, etc.

7 y 8 Complete.

9. Describa una situación para la cual las montañas no se observen con los colores de 7 y 8.

10, 11, 12 y 13 Complete.

14 ¿A qué objeto o circunstancia puede atribuírsele el color del cielo?

15. Color del cielo nocturno.
16. Igual que el 14.
- 17 y 18. Complete.
19. Mencione una situación donde los colores se observen de forma diferente, situaciones extrañas en línea con las mencionadas que sirven como ejemplo.
20. Defina algo a decolorar.
21. Describa el proceso para decolorar el objeto del punto 20.
- 22, 23, 24, 25 y 26. Complete.
27. Describa una situación que ejemplifique la frase anterior. Cuando deseamos ver algo y hay demasiada luz. Un ejemplo para ello.
28. Complete.
29. Describa en este punto tres situaciones donde un mismo objeto evidencie un cambio de color.
30. Tome un objeto de los materiales para la actividad y ubique el nombre del objeto en este apartado. (Se trata de diversos objetos: juguetes, herramientas, telas, dibujos, etc.)
31. Describa el color o colores del objeto.
32. Diseñe un procedimiento para que el objeto en cuestión se observe de otro color.
33. Complete.
34. Describa un procedimiento diferente al del punto 32 que logre el mismo objetivo.
35. Complete.
36. Igual que el 32.
37. Complete.
38. Nombre una cosa u objeto monocromático (de un solo color).
39. Diseñe un procedimiento que se ajuste a la frase, es decir que permita observar esa cosa de color naranja durante unos instantes.
40. Describa otro procedimiento para lograr el naranja por un poco más de tiempo.
41. Describa otro proceso para lograr el naranja de manera casi definitiva.
42. Describa en términos generales la imagen.
43. Concéntrese en alguna característica de la niña, su cabello, zapatos, etc. Excepto su vestido.
44. Describa los otros colores que caracterizan el elemento seleccionado en 44.
- 45, 46, 47 y 48. Completar.



49. Color básico del cual podría surgir esa gama de colores.

50. Defina el posible (o posibles) proceso de modificación de ese color básico para obtener la gama de colores que caracterizan el vestido.

51. Complete.

52, 53 y 54. Complete.

55. Elija otra parte del cuerpo y defina su color.

56, 57 y 58 Complete.

59. Amplíe la idea de color.

Asígnele un título al escrito completo.

Gracias.



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
1803

Facultad de Educación

Biblioteca Digital CEDED

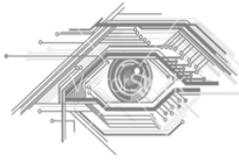
La niña de las rosas

Francisco Antonio Cano





Taller 2:



El uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias.	1
Una reflexión centrada en la experimentación en torno a los fenómenos cromáticos.	
Actividad 2: Colores fisiológicos	17

COLORES FISIOLÓGICOS

La reflexión sobre los fenómenos cromáticos aún inicia y es necesario pensar en aquellos colores donde la visión es protagonista pues es a través del ojo humano que se observa. Para ello, se desarrolla el análisis de fragmentos originales del texto *Esbozo de una teoría de los colores* de Johann Wolfgang von Goethe.

Esta actividad consta de dos partes. En la primera (Colores fugaces) se propone analizar una serie de experimentos para los cuales se utiliza el programa de office PowerPoint principalmente. En la segunda parte (sombras de colores) es necesario construir algunos experimentos con sombras; utilizando proyectores, linternas y papel celofán entre otros materiales.

Los fragmentos están ordenados con la intención de organizar las experiencias propuestas y comprenderlas globalmente. En algunos apartados se debe completar el texto luego de realizar el experimento. En otros, resolver algunas preguntas. Las indicaciones de cada numeral aparecen al final.

COLORES FUGACES

Estos colores (colores fisiológicos), que corresponde considerar en primer término, toda vez que atañen por completo o en su mayor parte al sujeto, al órgano visual; estos colores, que constituyen el fundamento de toda la teoría y nos revelan la armonía cromática que da lugar a tan enconadas disputas, han sido tenidos hasta ahora por fenómenos subalternos y casuales, por

¹⁷ Encabezado del taller escrito.

ilusión y defecto. Sus manifestaciones se conocen desde tiempos remotos pero como no se podía captar su fugacidad se los confinaba al reino de los fantasmas nocivos.

Vamos a considerar ahora, uno por uno, los elementos del mundo visible y dilucidar el comportamiento del órgano visual con respecto a ellos. Para tal fin recurriremos a las imágenes más simples.

El negro, representante de la oscuridad, deja el órgano visual en estado de reposo; en cambio el blanco, lugarteniente de la luz lo excita.

Cuando se mira un disco negro sobre fondo gris claro, a la menor modificación de la visual no se tardará en ver dicho disco oscuro rodeado de [1]. (Hacer en PowerPoint)

Como la superficie gris ocupa una posición intermedia entre la luz y la oscuridad se presta muy bien para la experimentación.

Si se mira una imagen negra recortada sobre una superficie gris y, sin apartar la mirada, se la retira, el lugar que había ocupado aparece de pronto más [2]. Cuando del mismo modo se mira una imagen blanca, el lugar aparecerá [3]. (Hacer en PowerPoint)

Al serle ofrecida al ojo la oscuridad, pide la luz; al serle brindada la luz, pide la oscuridad. Demuestra su vitalidad, su derecho a captar el objeto precisamente dando de sí algo opuesto al objeto. [4]

Cuando se mira fijamente un pedacito de papel o de seda de color vivo sobre una pantalla blanca poco iluminada y al cabo de algún tiempo se lo retira, sin apartar la mirada, se percibe en la pantalla blanca el espectro de otro color. [5]

SOMBRAS DE COLOR

Más antes de proseguir en nuestra exposición, hemos de considerar casos muy extraños referentes a estos colores complementarios, fijando nuestra atención en las sombras coloreadas.

La sombra coloreada presupone, primero que la luz que la proyecta coloree en alguna forma la superficie blanca y, segundo, que una contraluz ilumine hasta cierto punto la sombra proyectada. [6]

Cabe considerar el color de la sombra como un cromatoscopio de las superficies iluminadas, por cuanto es dable atribuir a la superficie el color opuesto al de la sombra, que el observador atento comprueba, en efecto, en todos los casos. [7]

INDICACIONES

1. Completa.
2. Completa.
3. Completa.
4. En este apartado aparece la posición de Goethe para el experimento anterior. ¿Qué opina de esta forma de interpretar el experimento? ¿Es necesario realizar otro tipo de experimentos? ¿Cuáles?
5. a) Realice este experimento para *papelitos* (formas en las diapositivas) de varios colores, identifique el color del espectro que se forma y sistematice sus observaciones.
b) ¿Con cuál color se obtiene un espectro verde?
c) Enliste además algunas ideas relevantes o inquietantes en cuanto a este experimento y posibles variaciones.
6. Elabore el dispositivo que permita la mencionada situación obteniendo una sombra coloreada. Varíe el experimento para obtener otros colores en la sombra. Describa el proceso anterior.
7. Considere mentalmente una superficie coloreada de un color cualquiera, ¿de qué color sería entonces la sombra que se proyecta sobre ella? Varíe el color de la superficie y realice el mismo ejercicio de predicción varias veces. Describa estas variaciones.
8. Trate en lo posible de reproducir las situaciones pensadas con los materiales dispuestos y describa.
9. Finalmente, ¿Cuál es la relación entre las sombras coloreadas y lo realizado para el numeral 5?

Taller 3:



El uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias. Una reflexión centrada en la experimentación en torno a los fenómenos cromáticos.
Actividad 3: Los Colores y el prisma triangular

18

LOS COLORES Y EL PRISMA TRIANGULAR¹⁹

En todo el mundo sensible, todo depende, en definitiva, de la relación que guardan entre sí los objetos, sobre todo de la que existe entre el hombre, el objeto terreno más importante, y los demás.

Goethe, apartado número 181. Esbozo de una Teoría de los colores.

El prisma triangular es un instrumento de fundamental importancia en la historia de la óptica, y para este contexto se utilizará con la intención de observar diversas imágenes coloreadas a través de él. Para ello tendremos como principios básicos: confiar en nuestra visión, acordar grupalmente las observaciones y repetir o variar cuantas veces sea necesario los experimentos.

1. Observe los siguientes objetos e imágenes a través del prisma: el tablero, una superficie gris, una palabra con color negro en fondo blanco, una palabra con color distinto a negro en fondo blanco, otras 5 imágenes de su elección. Describa los aspectos más interesantes.
2. Diseñe una imagen usando sólo blanco y negro donde a partir de lo observado con el prisma se identifique el verde. Describa la característica principal de la imagen que permite observar el verde.
3. Diseñe una imagen usando sólo blanco y negro donde a partir de lo observado con el prisma se identifique el magenta o fucsia. Describa la característica principal de la imagen que permite observar el mencionado color.

¹⁸ Encabezado del taller escrito.

¹⁹ Taller diseñado inicialmente para el curso complementario sobre experimentación en la Maestría en Educación en Ciencias Naturales de la Universidad de Antioquia en el segundo semestre de 2014. Basado en el texto de Ribe, N., &Steinle, F. (2002): Exploratory experimentation: Goethe, Land, and color theory. *Physics Today*, 55(7), 43. Reformulado en 2015 tras la lectura del Esbozo de una Teoría de los colores de Goethe.

4. Observe las siguientes imágenes y describa ordenadamente lo observado.
 - a) Rectángulo de color en fondo negro (varíe los colores).
 - b) Rectángulo de color en fondo blanco (varíe los colores).
 - c) Rectángulo blanco en fondo negro.
 - d) Rectángulo negro en fondo blanco.
 - e) Rectángulo blanco en fondo negro (varíe notablemente las longitudes del rectángulo con respecto al literal c).
 - f) Rectángulo negro en fondo blanco (varíe notablemente las longitudes del rectángulo con respecto al literal d).
5. Proponga algunas reglas o principios generales para las observaciones anteriores en términos del color.
6. Disponga de un fondo mitad negro, mitad blanco, de forma vertical. Ubique en la línea divisoria un cuadrado coloreado de modo que la mitad del cuadrado descansa sobre el blanco y la otra mitad sobre el negro. Describa lo observado en relación con el encuentro del blanco con el negro (varíe el color del cuadrado).
7. A continuación aparece un fragmento del texto Esbozo de una teoría de los colores de Goethe, correspondiente al apartado 283 que se encuentra luego de algunos experimentos similares a los abordados

Todo amigo de la naturaleza ha de compenetrarse de todos los fenómenos expuestos y no debe vacilar en verificar un determinado fenómeno en diversas circunstancias específicas. Cabe multiplicar hasta el infinito estas experiencias mediante imágenes de coloraciones diferentes, sobre y entre superficies diferentemente coloreadas. [...] Dichos fenómenos no se ignoraban en tiempos pasados, pero se los interpretaba mal, de modo que ha sido preciso dilucidarlos minuciosamente.

¿Cómo se relaciona esta reflexión sobre los fenómenos cromáticos con otro tipo de fenómenos?

Taller 4:



El uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias. Una reflexión centrada en la experimentación en torno a los fenómenos cromáticos.
Actividad 4: Newton y Goethe: el problema del cuadrado rojo y azul.

1

20

NEWTON Y GOETHE: EL PROBLEMA DEL CUADRADO ROJO Y AZUL²¹

He alertado todo lo que podía dormir en mí que fuera contrario a las opiniones de _____, para defender mi individualidad propia frente al poderío de esta personalidad única.

Rudolf Steiner

Antes de iniciar propiamente el estudio de la perspectiva newtoniana y la perspectiva goetheana sobre el experimento del cuadrado rojo y azul, es necesario resolver lo siguiente para comprender estas dos formas de asumir los fenómenos naturales.

1. Disponga de dos cuadrados, uno rojo y otro azul. Ubíquelos uno al lado del otro en un fondo negro. Disminuya al máximo las condiciones de luz y varíe en tonalidad el color rojo y azul hasta que al observarse a través del prisma no se observen franjas de otros colores sino un aparente desplazamiento. (En PowerPoint o un programa similar)

Isaac Newton fue un científico inglés con gran reconocimiento en la actualidad. Postuló su análisis del experimento del cuadrado rojo y azul en su texto: *Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz* en 1704. Goethe en cambio, nació en Alemania y escribió su texto: *Esbozo de una teoría de los colores* en 1810. Es reconocido principalmente por su trabajo como poeta y artista.

²⁰ Encabezado del taller escrito.

²¹ Taller diseñado inicialmente para el curso complementario II sobre Epistemología e Historia de las Ciencias en la Maestría en Educación en Ciencias Naturales de la Universidad de Antioquia en el primer semestre de 2015. Basado en el texto *Esbozo de una Teoría de los colores (Parte polémica)* de Goethe.



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
1803

Facultad de Educación

A continuación se presentan las posiciones de Newton y Goethe frente al experimento del cuadrado rojo y azul.



NEWTON	GOETHE	
<p><i>Tomé un papel negro y rígido más largo que ancho, delimitado por lados paralelos, y mediante una raya perpendicular que unía los dos lados anchos lo dividí en dos partes iguales. A continuación pinté una de las dos partes de rojo y la otra de azul. El papel era de un negro intenso, y extendí los colores en una capa gruesa y saturada, para que el fenómeno se destacara en toda viveza.</i></p>	<p><i>En el fondo, se trata tan sólo de procurarse dos cuadrados iguales de papel rígido rojo y azul, respectivamente, y ponerlos exactamente el uno al lado del otro.</i></p>	
<p><i>Miré este papel a través de un prisma macizo de vidrio cuyas caras atravesadas por la luz eran planas y cuidadosamente pulimentadas y formaban un ángulo de unos 60 grados, que denominé el ángulo refringente. Mirando así el papel, alcé el prisma hacia la ventana, en forma que los lados anchos del papel y el prisma quedaban paralelos al horizonte, la raya que separaba los dos colores formaba un ángulo recto con el mismo y la luz que desde la ventana caía sobre el papel formaba con este un ángulo igual a aquel bajo el cual el papel reflejaba la luz en la retina.</i></p>	<p><i>¿Cómo puede decirse que la luz difusa del día forma un ángulo con el papel, toda vez que cae sobre él desde todos lados?</i></p>	
<p><i>Más allá del prisma, el alfeizar estaba revestido de paño negro, para evitar que desde allí penetrara luz, pasara rasando los contornos del papel a la retina y, mezclándose allí con la luz reflejada por el papel, perturbara el fenómeno.</i></p>	<p><i>El paño negro sólo ha de servir para procurar un fondo oscuro al papel coloreado. Más tan complicados preparativos sólo quieren decir que se coloca el papel bicolor arriba mencionado sobre un fondo oscuro.</i></p>	



<p><i>Una vez así dispuestas las cosas, al volver hacia arriba el ángulo refringente del prisma y quedar el papel coloreado aparentemente desplazado hacia arriba, me di cuenta de que la mitad azul aparecía más elevada a raíz de la refracción que la roja. Y cuando volvía el ángulo refringente hacia abajo, así que el papel aparecía desplazado hacia abajo a raíz de la refracción, la mitad azul lo parecía estar más que la roja...</i></p>	<p><i>Si se toma la lámina preparada para estos experimentos y se miran a través del prisma el cuadro rojo y el azul sobre fondo negro, uno al lado del otro, en la forma habitual, como ambos colores son más claros que el fondo, exhiben arriba y abajo idénticos bordes y limbos coloreados, sólo que no se presentan con nitidez pareja.</i></p>	
<p><i>...de lo cual se infiere que en ambos casos la luz que desde la mitad azul del papel llega a la retina a través del prisma experimenta en igualdad de condiciones una mayor refracción que la luz proveniente de la mitad roja y por ende es más refrangible que esta.</i></p>	<p><i>Es por demás, muy singular el fenómeno que se comprueba en las imágenes coloreadas sobre fondo claro, oscuro o coloreado: el color de la imagen concomitante se fusiona con el color real de la imagen principal dando lugar a un color compuesto ya realzado por armonía o menoscabado por falta de armonía.</i></p>	
	<p><i>Tal es, pues, la piedra angular de la Óptica de Newton; tal un experimento que se le antojó al autor tan significativo que lo seleccionó de entre centenares para ponerlo a la cabeza de todas las experiencias cromáticas.</i></p> <p><i>¿Por qué el rojo debe ser bermejo y el azul muy oscuro? ¿Y por qué no se le ha ocurrido a nadie hacer otra pregunta incómoda para el autor de la óptica?</i></p>	

(Continuación del epígrafe de Rudolf Steiner...)

Y cuanto más luchaba para desarrollar por mí mismo mi concepción del mundo mejor me parecía comprender a _____.

Desarrollo del taller

El taller sobre el experimento del cuadrado rojo y azul no posee instrucciones consecutivas como los demás talleres, por esta razón se describen a continuación la forma de desarrollar esta actividad.

1. Ofrecer las indicaciones generales y se procede a resolver el punto 1.
2. Leer detenidamente el texto de la tabla y cada participante escribe sus comentarios en la columna vacía. Se sugiere que esta lectura sea grupal.
3. Discutir en torno a la pregunta: Entonces ¿Qué es lo que se ve? luego tratar de tomar posición de una de las dos posturas o alguna diferente.
4. Otorgar la discusión en torno a las siguientes preguntas. No obstante dar toda la relevancia posible a las preguntas que surjan en ese espacio de socialización.
 - ¿Qué otras preguntas pueden hacerse al planteamiento newtoniano en términos de la variación de los experimentos? Según la última línea de Goethe.
 - En este punto se pueden hacer algunas apreciaciones respecto a la mirada newtoniana y goetheana del experimento y sus posibles variaciones.
 - Si se acepta que en la disposición de experimentos se deben modificar las condiciones para “aislar” variables o no “perturbar” el fenómeno, entonces ¿cómo se define la naturaleza bajo este enfoque?
 - Si se acepta que en la organización de un fenómeno se deben realizar variados experimentos, modificaciones de los mismos, relacionar principios básicos y complejos, de lo simple a lo compuesto y de lo compuesto a lo simple, entonces ¿cómo se define la naturaleza bajo este enfoque?
 - ¿Cuál es el papel del científico en los dos enfoques mencionados?
 - ¿Cuál es entonces el papel del maestro en la enseñanza de las ciencias?
5. Para finalizar, se debe completar el epígrafe y la frase final con un nombre.

Anexo 2: Protocolo ético



PROTOCOLO DE COMPROMISO ETICO Y ACEPTACION DE LOS PARTICIPANTES EN LA INVESTIGACIÓN¹

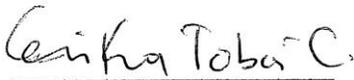
Nombre de la investigación: El uso de los análisis histórico – críticos en la enseñanza de las ciencias, una reflexión centrada en la experimentación en torno a los fenómenos cromáticos.

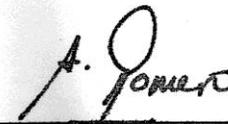
Investigadores: Erika Tobón Cardona y Ángel Romero Chacón.

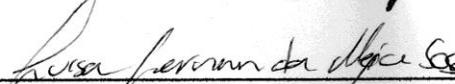
La anterior investigación tiene como propósito contribuir a la fundamentación de los análisis histórico – críticos en la enseñanza de las ciencias, mediante el diseño e implementación de una propuesta pedagógica centrada en la experimentación y dirigida a profesores de Física. Enmarcada en la Línea de Epistemología e Historia de la Física del grupo de investigación ECCE, esta investigación propone como protagonistas a los maestros de Ciencias (Física) en formación, y en particular se considera como espacio de acción pertinente el curso: Taller de Física de la Licenciatura en Matemáticas y Física. En virtud de lo anterior solicitamos su aceptación como partícipes de la misma.

Presentamos para ello nuestro compromiso ético, concerniente al uso adecuado, respetuoso y discrecional de la información por ustedes suministrada. Esta información sólo será utilizada para los propósitos enunciados en el marco de esta investigación y presenta total independencia de la evaluación del 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 además, algunas recomendaciones o sugerencias que consideren pertinentes.


Erika Tobón Cardona


Ángel Romero Chacón

Firma del participante:  Identificación: 1036643702

Observaciones: Antes de publicar o usar cualquier tipo de información / Imagen, hacer una previa consulta.

Anexo 3: Registro Fotográfico







