



Newton y Goethe: entre sombras y luz. Un análisis histórico-crítico de perspectivas sobre los fenómenos cromáticos

Erika Tobón Cardona

Grupo de Estudios Culturales sobre las
Ciencias y su Enseñanza -ECCE
Universidad de Antioquia
eudes2511@gmail.com
Colombia

Ángel Enrique Romero-Chacón

Grupo de Estudios Culturales sobre las
Ciencias y su Enseñanza -ECCE
Universidad de Antioquia
angel.romero@udea.edu.co
Colombia

ABSTRACT

Some developments of a proposal about physics teaching are presented. This proposal has arisen in the context of a Research Project (Thesis) in the Master of Science Education, at Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia). Based on historical-critical analysis, this paper intends to design a proposal related to the optics teaching and it is intended for teachers and by means of it is sought experimentation to be assumed as space for produce reflections about the nature of sciences.

In this paper are shown the common ways to deal with the optics teaching, and it is highlighted that in them is made a no-historical use of Newtonian view. Here are also exposed the ontological bases of this view, which are focuses on the beam notion and it is discussed the particular way, which is deduced of that perspective, to understand the color notion. In this paper is compared the above view and the proposed view by Goethe in order to have an alternative way to understand and organize the light phenomena. It is specially highlighted both the phenomenological nature of the Goethe's view and his meaning of the color which is, according to him, a primary element as well as the relation lighting-darkness which is its ground. Finally, in this paper are posed some pedagogical implications connected with both the role of the experimentation within the teaching and the mission of the teacher of nature sciences.

RESUMEN

Se presentan algunos desarrollos de una propuesta de enseñanza de la física, surgida en el marco de un Trabajo de Investigación (Tesis) en el programa de Maestría en Educación en Ciencias Naturales, de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia). El Trabajo de Investigación tiene como propósito diseñar una propuesta de enseñanza de la óptica dirigida a profesores, fundamentada en el uso de análisis histórico-críticos, y mediante la cual se asuma la experimentación como un espacio para generar reflexiones acerca de la Naturaleza de las Ciencias.

Se caracteriza la forma usual de abordar la enseñanza de la óptica, resaltando el uso ahistórico que se hace de la perspectiva newtoniana. Se exponen las bases ontológicas de esta perspectiva, focalizadas en la noción de rayo, y se discute la manera particular de asumir el color que de ellas se desprende. Se compara esta perspectiva con la planteada por Goethe, como una forma alternativa de comprender y organizar los fenómenos luminosos. En particular, el carácter fenomenológico de su perspectiva, destacando su significación de color como elemento primario, y la relación iluminación-sombra como su fundamento. Finalmente, se plantean algunas implicaciones pedagógicas relacionadas con el papel asignado a la experimentación en la enseñanza y con la labor del maestro de ciencias.

Palabras clave: Enseñanza de la física, Historia y filosofía de las ciencias, Teoría de los colores, Goethe, Newton, Experimentación exploratoria.

Keywords: Teaching Physics History and Philosophy of Science, Color Theory, Goethe, Newton, Exploratory Experimentation.



Palabras-chave: Educação Física, História e Filosofia das Ciências, Teoria das Cores, Goethe, Newton, Experimentação Exploratória.

INTRODUCCIÓN

Desde tempranas edades nuestra concepción acerca de la luz hace presencia en todas las esferas del conocimiento, creencias e incluso deseos. La luz es rayo, pero también es algo más: belleza, alegría, día, paraíso, Dios. No obstante, la respuesta que los físicos dan a la pregunta ¿qué es la luz? no nos satisface. Involucra tantos y tan difusos elementos que, retomando a Goethe, “al final el espíritu más claro opta por aceptar como artículo de fe tamaño caos antes que tomarse la infinita molestia de conciliar y ordenar tantos elementos contradictorios” (1991: 635).

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 utilizada hace trasladar a la noción de luz una estructura geométrica por medio de la cual se formaliza su 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 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 matemáticas atribuidas a la función de onda como objeto matemático. Lo cierto es que estas representaciones 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 nexa 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 el modelo 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 Giordano et al. (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, de la experiencia de cada sujeto. En este contexto, la pregunta ¿qué es la luz? ha orientado la organización de los contenidos a enseñar. Contrariamente, cuestionamientos asociados a la experiencia sensible del sujeto tales como la visión, la relación luz–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 la piensa, ni del ojo que la acaricia, ni de la cultura que la crea.

Lo cierto es que los fenómenos luminosos y el color, junto con la experiencia que desde niños tenemos sobre ellos, siempre estarán ahí a la espera de ser abordados, esperando ser organizados, anhelando ser construidos. Surgen, en este orden de consideraciones, cuestionamientos como los siguientes: ¿Cuál es la importancia de los modelos acerca de la naturaleza de la luz en el análisis de los fenómenos



luminosos? ¿Cuál es el papel de la visión y la percepción del color en la organización de esta clase fenómenos?

Con la intención de contribuir a la construcción de rutas alternativas para la enseñanza de la física que asuman como centro el rol de la experimentación y el sujeto en la construcción de conocimiento, se presenta a continuación un análisis histórico-crítico de algunas de las perspectivas que sobre los fenómenos luminosos propusieron autores como Isaac Newton y Goethe.

LA LUZ BLANCA Y LOS COLORES. PERSPECTIVA NEWTONIANA

En la época de Newton el efecto de la dispersión de la luz a través del prisma era bien conocido. Sin embargo, las teorías existentes predecían un espectro de colores circular, mientras que el espectro observado era oblongo. Newton orienta su trabajo a resolver esta contradicción.

La ley de refracción de la luz, aceptada y utilizada en el momento, no explicaba dicha forma alargada del espectro. Aunque la óptica gozaba de buenos planteamientos teóricos, la teoría del color aún no contaba con una base cuantitativa y experimental. El éxito de Newton radica en otorgar al fenómeno de dispersión de la luz una base cuantificable que proviene de una seria experimentación, sentando las bases de su teoría de los colores.

Granés (1988), en su obra *Newton y el empirismo*, plantea que Newton forzó la fundante teoría que explicaba 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. Así, luego de analizar la dispersión de la luz a través del prisma, Newton encuentra en los colores y el espectro oblongo la necesidad de asumir una naturaleza compuesta para la luz.

¿Cómo se comporta esta luz que se dispersa en varios colores? Newton encuentra en la idea de rayo, y su representación geométrica de línea recta, una forma de organizar el fenómeno. Le suma a esto una base experimental que cuantifica los fenómenos luminosos. Tal como señala Granés, para Newton “los colores son propiedades originales y connaturales de la luz que son distintas en distintos rayos” (1988: 22). 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, la propiedad “color” corresponde al grado de refrangibilidad diferente de los rayos de luz cuando se desvían al pasar por un prisma.

La idea de rayo es ahora un concepto tan característico y natural de los fenómenos luminosos que desde niños la representación del mismo está presente en dibujos, poemas, canciones y todo tipo de espacios donde se habla de la luz: “La luz del sol viaja en línea recta hasta nosotros y su forma es el rayo”. “Los colores de las cosas son solo rayos de ese color que viajan hasta nuestros ojos”.

Complementariamente, detrás de esta imagen se esconde una mirada corpuscular de la luz. La aceptación de esta naturaleza corpuscular de la luz fue la mayoría de las veces evadida por Newton. No obstante que la manifestación o aceptación de la naturaleza de la luz no es una de sus preocupaciones, acepta finalmente que si el color es una cualidad de la luz, esta debe poseer naturaleza material pues solo los objetos poseen cualidades: “Si bien induzco que la luz en un cuerpo, no lo afirmo sin vacilación. Yo sabía muy bien que las propiedades de la luz pueden comprenderse no solo por la



hipótesis que se me atribuye, sino también por muchísimas otras. Consecuentemente, he tomado la decisión de evitarlas todas” (Newton, 1672, Citado por Tatón, 1972: 353)

La idea de rayo, su extensión y traslación trae consigo una mirada reduccionista de los fenómenos luminosos y, en ese camino, del color.

Muchos autores plantean que las propuestas de Newton han sido mal entendidas y, consecuentemente, abordadas en el aula. Muchas son las investigaciones que encuentran en Newton una forma de reflexionar los contenidos a enseñar pues hallan en sus propuestas aspectos poco explorados y con validez actual. Toman distancia de las opiniones que sobre la naturaleza de la luz tubo Newton y centran su atención en el potencial pedagógico que puede ofrecer.

GOETHE Y SU TEORIA DEL COLOR

El estudio minucioso de la teoría newtoniana de los colores le permitió a Goethe distanciarse de ella, no sólo en sus aspectos teóricos, sino en la forma de asumir la experimentación. La propuesta del estudio de los fenómenos cromáticos de Goethe tiene la firme convicción de no compartir ningún postulado newtoniano. No obstante, está relacionada a ellos en la medida en que se erige en su contraposición.

Antes de pensar en el color y los fenómenos cromáticos que lo constituyen como objeto científico, Goethe reflexiona sobre la relación entre el ojo que percibe y la naturaleza que existe para el sujeto en objetos coloreados. De acuerdo con Goethe, “la luz se manifestaba al sentido de la vista a través del color” (1991: 483). Es el color el que nos permite diferenciar una fruta madura o una serpiente venenosa. Nuestros ojos están hechos para el color y el color está hecho para nuestros ojos. No obstante, no podemos percibir el color sino en una determinada relación entre luz y oscuridad. En la más oscura noche, o ante la luz más incandescente no notamos nada, no hay color, no hay imágenes. Así, para Goethe, “la claridad, la oscuridad y el color constituyen juntos aquello que para la vista diferencia los objetos y sus diversas partes” (ibidem).

Con propósito de organizar los fenómenos cromáticos, ¿hacia qué dirigir la atención? Goethe centra su atención en el color como concepto primario y estructurante. Propone organizar fenoménicamente todas aquellas experiencias frente al color. Los destellos que parece tener una persona ubicada en la cima de una montaña y con el sol detrás, las imágenes presentes luego de cerrar los ojos, los colores de las plantas, las flores y los animales, los pigmentos de colores que al combinarse dan origen a otro color, la sensación de calidez que nos genera un cuarto pintado de amarillo en comparación con uno pintado de azul; todas estas experiencias han retomarse y organizarse a través de experimentos que exploren 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. Nos detendremos en este punto para comprender la construcción del círculo de colores de Goethe, que finalmente recoge bajo un mismo concepto las tres categorías del color.

LOS COLORES DIÓPTRICOS

De acuerdo con Goethe, cuando el medio material que está entre nuestra visión y los objetos es transparente o traslúcido, los colores observados son de carácter dióptrico. Especial atención presta a aquellos de medios completamente transparentes, como el prisma. En la percepción de esta clase de colores se destacan dos formas en las que el observador se relaciona con el color: una de carácter subjetivo en la que el sujeto observa a través del medio, y otra de carácter objetivo en la que el sujeto deja que la luz y la oscuridad determinen a través del medio una imagen en la pared. Estas dos formas de asumir el experimento dan relevancia al sujeto; pues el color se gesta en la relación luz-oscuridad y existe para el órgano de la visión. Más allá de la clase de material, es la forma como el sujeto se relaciona con los objetos lo que determina el experimento. A continuación se describen las imágenes de rectángulos observadas a través de un prisma para algunos experimentos subjetivos propuestos por Goethe.

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

En la frontera entre el blanco y el negro resultan el amarillo que se hace más denso hasta el naranja casi rojo. En la frontera entre el negro y el blanco resultan el azul 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. El amarillo y azul, son los colores de la luz y la oscuridad, respectivamente. 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		

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 al color ya sea fisiológico, físico o químico.



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. A su vez la combinación de cualesquiera dos colores del círculo creará un color que se encuentra en la gama de colores entre ellos.

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” (1991: 638) dice Goethe, 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 de la luz). 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. 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 luz) y el morado más cercano al azul (color de la oscuridad).

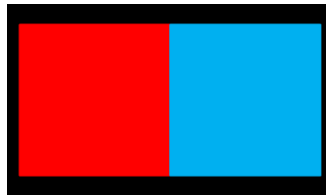
En muchos experimentos se combinan los colores químicos con los colores prismáticos y la combinación se explica en términos del círculo de colores. Igual para la combinación de colores de fisiológicos con colores prismáticos y cualquier otra combinación. El círculo de colores de Goethe es simétrico,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

La pregunta por qué es la luz ya no tiene sentido. El color es el camino para dotar de significado el mundo. No es “algo” que se traslada de un sitio a otro, ni algo que posean los cuerpos o el ojo o la luz. El color se constituye a través de un diálogo entre el hombre y la naturaleza que construye en su hacer científico. Goethe conjuga la poesía, la botánica y el arte en el color para otorgarle vida a la relación del hombre con la naturaleza. Ejemplo de ello es su forma de significar el verde de las plantas. En el día reina la luz (el amarillo), en la noche la oscuridad (el azul) y el verde de los árboles es el resultado del equilibrio entre la claridad y la sombra. Una manzana verde en su trasegar hacia el rojo recorre el color del círculo cromático que los separa tornándose amarilla. Cada uno de los colores genera en nosotros un efecto sensible moral. El amarillo genera calidez y el azul serenidad. El color determina también las formas de los animales siendo traslúcidos en la absoluta oscuridad y tornándose cada vez de colores más vivos a medida que pasan del agua a la tierra.

En este punto son más las preguntas que las respuestas. Dar forma a los fenómenos cromáticos desde la perspectiva de Goethe no es asunto sencillo. El proceso implica desligarnos de la idea de rayo que permea los fenómenos relativos a la luz. Es darle al color una categoría diferente pues la representación que tenemos de él no es útil. Así pues, los hechos, como dice Mach (1948) transforman nuestros pensamientos; y los hechos experimentales que Goethe plantea necesariamente han de modificar los pensamientos que sobre el color tenemos. Ya no es más una simple cualidad de los objetos es una forma de construir la naturaleza y a nosotros dentro de ella a través de la visión.

NEWTON Y GOETHE. UN EXPERIMENTO MÁS.

Goethe analizó cada uno de los experimentos de la óptica de Newton. En particular el experimento que Newton utilizó para mostrar la eficiencia de su teoría de los colores. De acuerdo con Goethe, “trata simplemente, en el fondo, de procurarse dos cuadrados iguales de papel rígido rojo y azul, respectivamente, y colocarlos exactamente el uno al lado del otro” (1991: 641)



¿Qué imagen ha de verse al observar estos cuadrados a través del prisma?

Desde la perspectiva newtoniana, el rayo de luz azul posee un grado de refrangibilidad mayor que el rojo, por tanto debe notarse desplazado hacia arriba con respecto al cuadrado rojo.

Con la intención de estudiar el fenómeno, Goethe hace variaciones exploratorias del experimento. Dibuja los mismos cuadrados en un fondo blanco. En otro experimento cambia el azul por el negro. Dibuja los cuadrados en un fondo mitad blanco, mitad negro. Cambia el fondo a diferentes grises. Busca a través de la variación de los experimentos esos elementos que permiten organizar el fenómeno. Trata de identificar el vínculo entre los mismos más que acomodar el experimento a una teoría ya establecida. Encuentra entonces los mismos flecos de colores de los rectángulos a blanco y negro. El



aparente desplazamiento del cuadrado azul es sólo la mezcla del fleco azul (color dióptrico) que resulta en la frontera del negro con el azul del propio cuadrado (color químico). Este es un caso particular de la ley de mezcla de fronteras de color descrito anteriormente. Esta ley se aplica también cuando el fondo en el que se ubican los cuadrados es blanco. En cambio, en la teoría newtoniana este experimento no tiene explicación. ¿Qué imagen se obtendrá al observar los mismos cuadrados en un fondo blanco?

DOS TIPOS DE EXPERIMENTACIÓN

Normalmente se considera que la manera como Newton asume la experimentación es de carácter empírico. Algo así como dejar que el fenómeno sobre el cual se experimenta muestre (a través del experimento) sus características, su forma, sus cualidades, sus magnitudes. Se supone que una forma empírica de asumir la experimentación representa un diálogo con el experimento, una liberación de teorías preestablecidas que lo interpreten. Para Ribe y Steinle, Newton le otorga a sus experimentos un poder demostrativo extraordinario: su teoría “no es una hipótesis sino una consecuencia, no conjetura sobre las causas o el porqué del fenómeno, sino evidencia sobre la mediación de los experimentos que concluyen directamente y sin lugar a duda” (2002: 43) Entonces, la luz se dispersa en colores y muestra lo que es: formada por rayos que viajan en línea recta y se desvían al atravesar un prisma dando origen a los colores.

Newton orientó su experimento para poder aducir que la luz se comporta como rayo y que se deriva en colores, los forzó para validar la ley de Snell. Esta clase de experimentación es llamada por Ribe y 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 (2002: 45).

Esto no pasa desapercibido en la enseñanza de los fenómenos luminosos. En ella se le otorga a la experimentación un rol instrumentalista y verificacionalista. Están primero las teorías, luego la experimentación, que solo puede ser comprendida al observarse con los ojos de una teoría ya aprendida. En esta perspectiva los conceptos no se cambian, se varían las condiciones experimentales. Esto explica cómo un profesor aprende en los centros de formación docente, conceptos que se reproducen en el aula, sin posibilidad de variación. Cualquier cambio en estos conceptos supone una mala práctica docente. Hecho por demás, contradictorio pues al ser todos diferentes, ¿cómo no tender a la diversidad en la comprensión de los hechos y los conceptos?

Goethe y su teoría del color es el ejemplo de una forma diferente de asumir la experimentación. 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. Para nosotros la reflexión apenas inicia. Todas aquellas experiencias olvidadas en cuanto al color y ahora en espera de ser retomadas para dar una posibilidad al pensamiento: mirar la combinación de pinturas de color con una lupa, alternar líneas de colores diferentes y observarlas desde lejos, mirar una imagen fijamente durante algunos segundos y luego cerrar los ojos, combinar el rojo y el verde para obtener..., estudiar el color de las hojas rojas de algunas plantas, pensar en los colores químicos de los que hace gala el camaleón, combinar colores generados por filtros diferentes, preguntarle a un daltónico por el color del cielo y el color de las rosas, observar el color que toma una página blanca expuesta al sol durante horas, ubicar una hoja con distintos colores en un cuarto oscuro durante algún tiempo. Tratar de pintar de nuevo, observar la belleza de los objetos, el color de la piel, de los ojos, del cabello. Explorar los fenómenos cromáticos.



Esta forma de asumir la experimentación es propia de campos fenoménicos poco explorados. Propuesta por Ribe y Steinle (2002) como *experimentación exploratoria*, este tipo de experimentación busca jerarquizar los elementos de una clase de fenómenos, busca las condiciones esenciales, “todos los demás efectos se pueden deducir o explicar de aquellos elementales complicando progresivamente la disposición experimental y la adición de nuevas condiciones”(2002: 46). Un efecto particular y un fenómeno elemental pueden relacionarse mediante una serie de efectos intermedios. El estudio de estos efectos en busca de relaciones puede considerarse explorar un fenómeno.

Sin embargo, puede pensarse ingenuamente que la teoría no es importante. Es nuestra forma de asumir la teoría la que nos causa inconvenientes no sólo pedagógicos, sino en la organización conceptual que cada uno hace de los fenómenos. No es necesario privilegiar teoría sobre práctica o viceversa. De acuerdo con Romero et al. (2013), “el vínculo entre la experimentación y la construcción teórica no es directo ni se da exclusivamente en una sola vía” (2013:79). Existe un carácter dinámico y dialéctico entre experimentación y teorización. Como afirma Goethe, “todo mirar se transforma en considerar; todo considerar, en meditar; todo meditar, en relacionar, y por eso puede decirse que, a poco que miremos con atención, ya estamos en plena actividad teorizante” (1991: 479). Por eso, puede decirse que cuando experimentemos con atención, ya estamos en plena actividad teorizante. La teoría al igual que la práctica es una actividad.

A MODO DE CONCLUSION: ALGUNAS IMPLICACIONES PEDAGÓGICAS

El problema de la enseñanza de la física, aún por resolver, aún por definir; siempre ha de dirigir la labor investigativa del maestro. Las reflexiones anteriores no son externas al contexto escolar. Es la inquietud del maestro la que gesta estas miradas de la ciencia, de los fenómenos cromáticos, de la experimentación en busca de formas más adecuadas de implementación en el aula, donde maestros y estudiantes se encuentran para organizar los fenómenos en una estructura teórica-práctica construida por ambos.

Las potencialidades pedagógicas que ofrece la experimentación exploratoria, en particular para los fenómenos cromáticos, puede definir las cada maestro de ciencias. Sin embargo, damos aquí algunas ideas:

- Los fenómenos cromáticos estudiados a través de los experimentos que propone Goethe, ofrecen al maestro la posibilidad de reflexionar sobre los contenidos a enseñar, asumidos no como estructuras formales y modelos teóricos, sino más bien actividades y perspectivas fenomenológicas.
- La diversidad en experimentos sobre un fenómeno enriquecen y validan la experiencia del sujeto. Esto otorga a maestros y estudiantes una forma diferente de relacionarse con la actividad científica, participando activamente de la construcción de fenomenologías.
- La teoría del color de Goethe es una opción para relacionar campos científicos como la física, la botánica, la medicina y el arte a través de un concepto como el color, presente en la experiencia de cada sujeto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gagliardi, M. et al (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.

Goethe, J.W. (1991). Obras completas. Tomo I. Aguilar S.A. de Ediciones: México, D.F.



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) Adaptación de los pensamientos a los hechos y de los pensamientos entre sí En: Mach, E. *Conocimiento y error*. Editora Espasa-Calpe Argentina S.A.: Buenos Aires, pp. 141-158.

Ribe, N., & Steinle, F. (2002). Exploratory experimentation: Goethe, Land, and color theory. *Physics Today*, 55(7), 43.

Romero, A. et al, (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.

Taton, R. (1972). Historia general de las ciencias. Vol II. La ciencia moderna. Ediciones Destino: Barcelona.