

# PRÁTICA EXPLORATÓRIA EXPERIMENTAL A HISTÓRIA DE CASO DA OPTICAL PRÁCTICAS EXPERIMENTALES EXPLORATORIAS *EL CASO* *HISTORICO DE LA ÓPTICA*

Lisbeth Lorena Alvarado Guzman, Universidad del Valle,  
lislo1618@hotmail.com

Edwin German Garcia, Universidad del Valle,  
edwingermangarcia@hotmail.com

## Resumo

Este trabalho resulta de pesquisa sobre o papel da história e da filosofia da experimentação científica em torno da construção do conhecimento científico. O progresso que tem recolhido os reflexos decorrentes dos problemas de refração da luz a partir de uma revisão histórica dos textos originais de Descartes e Newton. Neste caso é um estudo de como organizou o experimento que levou a Descartes e Newton propor refrangibilidade de cores e explicação mecanicista da natureza da luz no século XVII. Além disso, o contraste experimental do fenômeno de refração que os alunos em formação inicial de professores para tentar reproduzir as experiências da história da ciência.

**Palavras-chave:** História e Filosofia da Ciência, práticas experimentais, ótica, a natureza da luz, Ciências da Educação

## Resumen

El presente documento surge de la investigación sobre el papel de la historia y la filosofía de las ciencias en torno a la experimentación en la construcción del conocimiento científico. El avance que se presenta recoge las reflexiones derivadas de los problemas de la refracción de la luz desde una revisión histórica de los textos originales de Descartes y Newton. En este caso se hace un estudio de la manera como se organizó la experimentación que condujo a Descartes y Newton a proponer la refrangibilidad de los colores y la explicación mecanicista de la naturaleza de la luz en el siglo XVII. Además, se contrasta la organización experimental sobre el fenómeno de la refracción que realizan los estudiantes en formación inicial docente al intentar reproducir experimentos tomados de la historia de las ciencias.

**Palabras clave:** Historia y Filosofía de la ciencia, Prácticas Experimentales, óptica, naturaleza de la luz, Enseñanza de las Ciencias

## Planteamiento del problema

El reconocimiento generalizado de la historia y la filosofía de las ciencias y su notoria incidencia en otros campos del conocimiento son hoy en día indiscutibles. Para la Didáctica de las ciencias se hace relevante el aporte de estas disciplinas para comprender, entre otros aspectos, la forma como se produce, organiza, valida y divulga el conocimiento científico.

Por su parte la filosofía de la ciencia ha dado un giro importante en la reflexión sobre la naturaleza de la ciencia, dando mayor importancia a las prácticas experimentales (Iglesias 2002) y su papel histórico en la construcción del conocimiento científico, teniendo en cuenta la comprensión fenomenológica, el funcionamiento de aparatos, el diseño de instrumentos y la realización de experimentos, conocimiento que para los filósofos modernos termina por ser legítimo y del mismo estatus que el de las teorías.

En este documento se presenta un estudio de carácter histórico sobre la importancia de las practicas experimentales en torno a la óptica, particularmente las que condujeron a la caracterización del fenómeno de los colores y la refrangibilidad de la luz. Se recogen fundamentalmente los aportes de René Descartes en Francia hacia 1630 en relación con el problema de la visión en el texto de la Dióptrica y el trabajo de Newton en su texto Lecciones de óptica cuya primera edición data de 1704. Por otra parte se destacan elementos para ser considerados por investigadores en Didáctica de la ciencia. Este artículo se ubica en el campo de la investigación en Didáctica de las ciencias experimentales, en la línea de investigación en Historia, Filosofía y Enseñanza de las ciencias. De acuerdo con lo anterior hacemos la siguiente pregunta

¿Qué aporta la historia de las ciencias a la enseñanza de la óptica en los cursos de fundamentación para docentes en formación en ciencias naturales?

La pregunta la dividimos en dos que a su vez nos permite identificar los aspectos fundamentales de la propuesta:

¿Qué relación existen entre la historia de la óptica desde los estudios originales de Descartes y Newton y la manera como los estudiantes en formación inicial docente abordan el fenómeno óptico?

¿Qué aporta la historia de las ciencias para plantear propuestas alternativas de enseñanza de la óptica para el caso de la refrangibilidad de la luz?

## Objetivo general

Se pretende identificar elementos derivados de la historia de las ciencias a través de los documentos y textos originales que permitan transformar las prácticas experimentales que se realizan en los cursos de fundamentación en la formación de docentes

## Objetivos específicos

Analizar los textos originales de óptica de Descartes y Newton con el fin de recontextualizar la experimentación asociada en la enseñanza del fenómeno óptico.

Proponer un curso de enseñanza de la física en la que se oriente una forma alterna de enseñanza de la óptica, basada en el criterio de las prácticas experimentales.

Avanzar en lineamientos que permitan nuevas formas de caracterizar los contenidos que se presentan en la enseñanza de la óptica

## **Metodología**

El trabajo de investigación se divide en cuatro fases:

- a) Análisis histórico crítico de los aportes originales de Descartes: La dióptrica y las Lecciones de Óptica de Newton.
- b) Intervención en el curso de formación docente: Educación en Física, ofrecido a estudiantes de Licenciatura en Ciencias Naturales con Énfasis en enseñanza de las ciencias.
- c) Análisis y contrastación de propuestas de enseñanza de la óptica.
- d) Recolección de elementos para la construcción de una propuesta alternativa de enseñanza de la óptica.

## **La Filosofía de las Prácticas Experimentales**

Desde que Hacking escribió el libro “representar e Intervenir” en 1983 se ha generado una corriente de investigaciones y reflexiones sobre el papel que juega el experimento en la construcción del conocimiento científico. Los planteamientos del positivismo de la escuela de Viena, particularmente los de Carnap y Popper sugerían que el experimento solo es posible a la luz de las teorías ya sea para verificarla, demostrarla o falsarla, por fuera de esta interpretación el experimento y la experimentación no parecía jugar un papel más relevante en la construcción del conocimiento científico. Con las investigaciones de estudios de caso, los filósofos de la ciencia quieren poner de manifiesto la carga experimental (Hacking 1983) (Franklin 2002 y 1990) (Galison 1987) (Pickering 1992, 1995) (Gooding 1990) (Gooding, Pinch y Schaffer 1989) y avanzar hacia una nueva imagen de ciencia, llegando a considerar que la miseria del teoreticismo está en reducir la riqueza y la complejidad del proceder científico a un asunto de mera elaboración conceptual, dejando de lado la riqueza del conocimiento que se esconde detrás de las practicas experimentales (Ordóñez y Ferreiros 2002). Reconocer entonces la importancia y la validez de las prácticas experimentales en la constitución de la ciencia, su función independiente de la teoría o en equilibrio con ella, es el fundamento de este campo de investigación de la filosofía.

¿Por qué los nuevos estudios sobre la actividad experimental? Llamar la atención sobre las practicas experimentales y el papel del experimento no son nuevas para la filosofía de la ciencia, lo nuevo son los aportes que se vienen realizando desde estudios de caso en los que se pone de relieve aspectos significativos de la actividad científica. Ordóñez y Ferreiros (2002) lo denominan una teoría de la experimentación porque muestra en extenso nuevas formas de comprender la naturaleza e intervenir en ella. Los aspectos que se destacan en esta corriente filosófica son:

## **Reconocimiento a la Experimentación**

Para filósofos e historiadores de la ciencia en la escuela del positivismo, era común describir los procesos de elaboración de teorías científicas a partir de mediciones y datos cuantitativos precisos, los experimentos cuantitativos eran simplemente el referente de las investigaciones. Esta versión simplificada del método científico llevó a borrar del mapa la experimentación cualitativa (Ordóñez y Ferreiros 2002). Los filósofos de la ciencia destacan ahora el papel de la experimentación exploratoria y su incidencia en la construcción de conocimiento. La experimentación en este sentido se aleja de la vieja tradición de estar orientada por la teoría, como lo llegó a sugerir Popper (1935) *“solo cabe realizar experimentos a la luz de las preguntas y los conceptos determinados por una teoría”* y pasa a tener vida propia, independiente de la teoría, como lo sugiere Hacking (1983) y Franklin (2002) (1990)

*“Y es que, al menos en física, los experimentos cualitativos han sido una parte fundamental de los procesos de formación de conceptos (procesos de formación de datos)”*.

Los experimentos cualitativos desempeñaron un papel fundamental en la elaboración de nociones como líneas de fuerza y campo. Muchos investigadores trabajaron de manera más intuitiva y directa, modelando sus concepciones según algunos rasgos fenomenológicos (o fenomenotécnicos) que surgían directamente de los experimentos que realizaron y como resultado del experimento: el modelo fenoménico es refinado, acomodado y especificado con mayor precisión (Ordóñez y Ferreiros 2002). La experimentación cualitativa exploratoria suele estar presente en las primeras fases del desarrollo de una ciencia, pero que no por ello es menos valiosa que los experimentos cruciales (experimentación cuantitativa guiada) en la estructuración de la ciencia. Este tipo de experimentación resulta interesante desde el punto de vista epistemológico porque permite caracterizar la edad temprana de una ciencia, por ejemplo como lo sugiere Heilbron (1979) en su análisis histórico sobre la electricidad; *“este “juego” exploratorio posibilitó la distinción entre materiales conductores y no conductores”*. O en los estudios de Steinle (2002) para quien *“la simple variación de lugar de la aguja respecto al hilo en el experimento de Oersted, planteaba dificultades al enfoque de Newton-Laplace de fuerzas centrales”*.

Por otra parte para transformar la enseñanza de las ciencias e incorporar los aportes de la historia y la filosofía de las practicas experimentales se requiere a su vez docentes comprometidos con la actividad de construir conocimiento en el aula, darle sentido a las explicaciones y promover la participación de los estudiantes en dicha construcción, esto es lo que hace posible que la enseñanza de las ciencias sea asumida como una actividad cultural de participación y construcción colectiva. Tengamos presente que usualmente los estudiantes hacen prácticas, observan fenómenos, toman datos, hacen registros y manipulan aparatos, (los libros de texto sugieren en muchos casos la realización de tales experimentos) pero su carácter es esencialmente demostrativo e ilustrativo. Lo que se pretende ahora es incluir la reflexión sobre la importancia y finalidad de la experimentación en la enseñanza que ha sido marginal, preguntas como *¿Qué imagen de ciencia se promueve a partir de la experimentación?* y *¿Qué intención orienta al autor cuando presenta experimentos?* sugieren una revisión de su finalidad en los procesos de formación (García y Estany 2010). Por ejemplo, usualmente los aparatos utilizados no son considerados en si mismos como objetos de estudio, se puede apreciar como para el caso de la óptica, el uso del prisma suele ser utilizado históricamente para reproducir experimentos y algunas veces es descrito, pero no es considerado como objeto de estudio en sí mismo. La luz como fuente es poco explorada en los textos y los instrumentos ópticos como el telescopio y el microscopio así como la espectrometría suelen estar ausentes de los procesos de enseñanza.

## **Análisis de datos**

Para Pickering (1995) en la producción de cualquier resultado experimental entran en juego tres elementos fundamentales: a) un procedimiento material, esto es, disponer de los aparatos e instrumentos necesarios, verificar que funcionen y controlar su funcionamiento encierra un conocimiento práctico b) un modelo instrumental, que se da en el diseño, realización e interpretación del experimento, donde es fundamental la comprensión conceptual del funcionamiento de aparatos e instrumentos, el experimentador tiene un modelo conceptual que le permite identificar, aplicar y usar los aparatos y c) un modelo fenoménico que está en la comprensión conceptual de los aspectos del mundo que es estudiado por parte del experimentador. Sin él, los resultados carecerían de sentido y significación y no podrían ser interpretados. Estos elementos se evidencian en la producción de efectos, la creación y estabilización de fenómenos, la construcción de modelos y explicaciones, la manipulación de entidades, datos y resultados experimentales y Diseño y construcción de aparatos (Pickering, 1986).

### Análisis de resultados y conclusiones

A continuación se presenta los resultados del análisis de la exploración de los textos de Descartes y Newton y el trabajo exploratorio desarrollado por estudiantes de Licenciatura en ciencias naturales en el curso de Educación en Física a la luz de las primeras categorías planteadas por Pickering en la producción de conocimiento científico

#### COMPORTAMIENTO DE LA LUZ Y EL FENOMENO DE LA REFRANGIBILIDAD.

	RENE DESCARTES	ISAAC NEWTON	EXPLORACIÓN ESTUDIANTES (Esta exploración se hace en el marco del curso de Educación en Física, el estudio de caso es una estudiante que pretende reproducir uno de los experimentos de Newton)
<b>Producción de Efectos</b>		<i>“tomé un papel rígido de forma oblonga, limitado por lados paralelos y lo dividí en dos partes iguales mediante una línea recta, perpendicular, trazada de uno a otro lado. Una de las partes la pinte de rojo y la otra, de azul...mire el fenómeno a través de un prisma solido de cristal siendo el par de lados, a través de los cuales llegaba la luz al ojo, planos y bien pulidos...mientras observaba el papel con el prisma, descubrí que si giraba hacia arriba el ángulo de refracción del prisma, de manera que el papel pareciese elevarse por refracción, entonces su mitad azul se elevaba más por refracción que su otra mitad roja. Pero, cuando giraba hacia abajo el ángulo de refracción del prisma, de modo que el papel pareciese descender por la refracción, entonces su mitad azul descendía más que la parte roja. De donde se sigue que, en ambos casos, la luz proveniente de la parte azul del papel y que tras atravesar el prisma, alcanza el ojo, sufre en semejantes circunstancias una refracción mayor que la luz proveniente de la mitad roja, por lo</i>	A grosso modo este consiste en tener un cartón oblongo pintado de negro y sobre el pintarlo de rojo y azul, colocando hilo por todos los lados de manera horizontal, después en la oscuridad ver a la luz de una vela a través de un prisma convergente, a una distancia de 6 pies la distorsión del hilo en el color rojo, y con el movimiento del prisma ver como se distorsionan los hilos en el color azul, cuando se está a esa distancia.  Imagen 1. Esta imagen muestra el papel con los colores azul y rojo, envueltos con hilo negro común y la respectiva luz proveniente de una vela. Experimento realizado en mi



		<i>que es más refrangible”</i>	casa el día 13 de abril de 2013.
<b>Creación y estabilización de fenómenos</b>	<p>Fenómeno del prisma: Refracción sucesiva de un rayo incidente. El problema de la descomposición de la luz blanca en colores se justifica a través del modelo de bolas dotadas de velocidad, donde en el borde del objeto (prisma) las bolas chocan y adquieren un efecto de giro ya sea a izquierdas o a derechas. Las bolas dotada de uno u otro efecto serán de color rojo o azul</p> <p>El arcoíris: Utilizando su teoría sobre los índices de refracción de la luz, establece como índice de refracción para el agua <math>n=1,33</math> y dibuja una gota de agua, sobre la cual, aplica el principio de la ley de Snell para explicar las múltiples refracciones que sufre un rayo de luz dentro de la gota.</p>	<i>“el primer prisma refractaba la luz hacia arriba y el segundo lateralmente... algunas veces interpuse un tercer prisma tras el segundo y hasta un cuarto tras el tercero con lo que la imagen se refractaba a menudo lateralmente. Pero los rayos que mas se refractaban en el primer prisma, también se refractaban mas en los restantes sin que ello produjese ninguna dilatación lateral de la imagen. Por tanto debido a la constancia de su mayor refracción, esos rayos han de considerarse más refrangibles”</i>	
<b>Datos y resultados experimentales</b>	[...] Tome mi lápiz e hice cálculos precisos de los caminos de los rayos que caen en los diferentes puntos de un globo de agua para determinar a que ángulos, después de dos refracciones y una o dos reflexiones, llegarían al ojo y encontré que tras una reflexión y dos reflexiones hay muchos más rayos que pueden ser vistos en un ángulo comprendido entre los 41 y 42 grados que en otro ángulo menor y que no hay ninguno que pueda ser visto según un ángulo mayor	El fenómeno de los colores tiene tres momentos para Newton, los primeros experimentos son exploratorios sobre la refrangibilidad que se presenta de los colores al ser observados a través de un prisma. Los siguientes experimentos sugieren un control y disposición de los prismas y el observador, las distancias se hacen relevantes, los ángulos de observación también, lo mismo que las características de la fuente luminosa. ¿se aprecia lo mismo si la fuente es una vela o si es el Sol? ¿Qué importancia tiene la posición del observador para registrar un cierto efecto esperado? Newton se toma el cuidado de considerar los detalles necesarios para que el efecto sea el esperado. El tercer momento implica un mayor control del experimento para poner en evidencia el comportamiento de los rayos de los colores utilizando varios prismas.	Los resultados obtenidos fueron muy desilusionantes ya que pretendía observar lo planteado en el texto y fue imposible, se tuvieron muchos pensamientos e hipótesis mientras se realizaba dicho experimento, pero considero que por otro lado fue verdaderamente significativa la experiencia ya que logré observar que cuando me alejaba de la vela observando a través del prisma se invertía la imagen, causándome mucha impresión y generándome otro tipo de preguntas e intereses, que a lo mejor no tienen nada que ver con los que tenía Newton en su momento.
<b>La construcción de modelos y explicaciones</b>	<p>La luz es vista como potencia y acción</p> <p>Potencia (Entendida como tendencia o presión)</p> <p>Acción (Movimiento de las bolas viajando a velocidad finita)</p> <p>Desde a mirada de la potencia se explica la claridad que aparece en un medio transparente cuando se ilumina por un foco luminoso</p> <p>Desde la mirada de acción explica lo que ocurre cuando la luz pasa por una rendija o los bordes de un prisma</p> <p>La componente vertical de la velocidad de la luz se incrementa al pasar de un medio menos compacto a un medio más compacto</p>	<p><i>“la luz que difiere en color también difiere en grado de refrangibilidad”</i></p> <p><i>“como partes menores de la misma, tanto las sucesivas en la misma línea como las contemporáneas en diversas líneas”.</i></p> <p>Newton identifica además que la forma oblonga que produce el espectro sobre la pared no se corresponde con las explicaciones que Descartes estableció para el fenómeno de los colores, por lo tanto, basta con convencer al lector de que el rayo es más simple y efectivo que modelos de torbellinos y así crear finalmente el fenómeno</p>	

**La producción de efectos:** Tanto en Descartes como Newton se destaca la refrangibilidad como una propiedad asociada a la luz y que se manifiesta en el fenómeno de los colores. La intención de esta actividad experimental es poner en evidencia la producción del efecto de refrangibilidad de los colores. Pero, ¿cómo puede Newton justificar a partir de la observación que un color es más refrangible que otro?, es claro que la experimentación sugerida no permite un control del fenómeno, pero Newton considera como definición que la refracción se presenta cuando la luz cambia de medio y establece que entre más se aleje el ángulo refractado de la normal entonces el rayo de luz será menos refrangible. Por tanto, las variaciones que hace posteriormente al experimento sugieren su afán por convencer al lector de que lo que observa es correcto y encaja perfectamente en las definiciones que estableció. Así pues enrolla finas hebras de seda negra en torno al papel y utiliza una vela como fuente de luz. De esta manera y utilizando el prisma, Newton registra sus observaciones para identificar nuevamente el fenómeno de la refrangibilidad de los colores.

Por su parte, los estudiantes al reproducir este efecto sensible, se encuentran con diferentes obstáculos. Con esto se muestra que aunque Newton incluye detalles para la reproducción del mismo, otros tantos quedan por fuera y la producción del efecto no se logra. Sin embargo, si se producen otros efectos que los estudiantes logran rescatar como la inversión de la imagen convirtiéndose en una preocupación personal y particular.

**La estabilización de fenómenos.** Tal y como lo sugiere Pickering crear y estabilizar un fenómeno supone inicialmente formas de ver y de intervenir pero también al reconocimiento por parte de una comunidad, para ello hay un tiempo y un proceso que implica juegos de poder y mecanismos de divulgación. El fenómeno de los colores no era nuevo para Newton y Descartes, de hecho el arte de pulir lentes era ya muy conocido y los artesanos eran lo bastante creativos para producir lentes y prismas con los que era muy común apreciar el fenómeno de los colores. Entonces nos preguntamos ¿Cuál es el fenómeno creado por Newton y Descartes? y como es caracterizado por los estudiantes? ¿Cuál es la forma de “ver” que cada uno presenta en su interpretación sobre la refrangibilidad? Y por su ende ¿Cuál es su forma de intervenir? Descartes aborda los fenómenos del prisma y el arcoiris, haciendo uso del aparato matemático construido al retomar la ley de Snell y la elaboración del modelo de vórtices y torbellinos donde la velocidad de la luz tiene diferentes interpretaciones de acuerdo al fenómeno que se explique. Así, cuando la luz se asume como una acción, presenta una velocidad finita y explica el comportamiento de la misma al cambiar de medio, mientras que cuando se explica la luz como una tendencia o potencia esta es infinita y ocupa todas las regiones del espacio. Por otra parte, la experimentación propuesta por Newton se corresponde efectivamente con la intencionalidad de crear un fenómeno: el rayo. Si bien el fenómeno de los colores ya había sido caracterizado por otros como Descartes, la capacidad de Newton esta en llamar la atención sobre la producción de efectos que pueden ser explicados si consideramos la existencia de un nuevo ente como lo es el rayo. Los experimentos mostrados lo que hacen es producir efectos sobre diferentes formas de obtener refrangibilidad a través de prismas, también con objetos coloreados y haciendo pasar la luz del Sol, pero el propósito fundamental es convencer al lector que esos efectos observados son explicados satisfactoriamente si partimos del rayo como un ente activo.

Newton identifica además que la forma oblonga que produce el espectro sobre la pared no se corresponde con las explicaciones que Descartes estableció para el fenómeno de los colores, por lo tanto, basta con convencer al lector de que el rayo es más simple y efectivo que modelos de torbellinos y así crear finalmente el fenómeno.

**Resultados experimentales** El fenómeno de los colores tiene tres momentos para Newton, los primeros experimentos son exploratorios sobre la refrangibilidad que se presenta de los colores al ser observados a través de un prisma. Los siguientes experimentos sugieren un

control y disposición de los prismas y el observador, las distancias se hacen relevantes, los ángulos de observación también, lo mismo que las características de la fuente luminosa, ¿se aprecia lo mismo si la fuente es una vela o si es el Sol? ¿Qué importancia tiene la posición del observador para registrar un cierto efecto esperado? Newton se toma el cuidado de considerar los detalles necesarios para que el efecto sea el esperado. El tercer momento implica un mayor control del experimento para poner en evidencia el comportamiento de los rayos de los colores utilizando varios prismas. Por su parte, Descartes hace uso de la ley de Snell para explicar el comportamiento de los rayos en una gota esférica de agua. Con este modelo matemático logra calcular diferentes ángulos de refracción y mostrar que aparecen diferentes ángulos en un margen de visión lo cual explicaría el hecho de que aparezcan diferentes colores en el arcoiris.

### Referencias:

Artigas, M. (1989) filosofía de la ciencia experimental; introducción. Ediciones Universidad de Navarra. España.

Descartes, R. (1928). *El mundo. Tratado de la luz*. Anthropos Editorial del Hombre.

Echeverría, J (2003) Introducción a la Metodología de la Ciencia. La filosofía en el siglo XX. Ediciones Cátedra. Madrid.

Estany, A (2007) Innovación tecnológica y tradiciones experimentales. Una perspectiva cognitiva. Revista Ciencias. Facultad de ciencias de la UNAM. México

Hacking, I (1996) Representar e Intervenir. Trad. Sergio F. Martínez, Instituto de Investigaciones Filosóficas – UNAM/ Paidós. México (1ª ed. en inglés: 1983).

Harré, R. (1980). Las causas del Arco Iris . En R. Harré, *Grandes experimentos científicos* (págs. 83-91).

Hutchins, E. (2005) Material anchors for conceptual blends. *Journal of pragmatics*, 37

Iglesias, M. (2004) El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia: una nueva perspectiva de la actividad experimental. *Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, número 20 pp 44

Izquierdo, M (2005a) estructuras retóricas en los libros de ciencias. Tarbiya. *Revista de Investigación e Innovación Educativa*. No 36, pp. 11-34

Newton, I. (1977). Libro I, Parte I. En I. Newton, *Óptica o tratado de las reflexiones y refracciones inflexiones y colores de la luz* (págs. 27-47). Madrid: Ediciones Alfaguara.

Ordoñez, J. y Ferreirós (2002) Hacia una filosofía de la experimentación. *CRITICA*, Revista Hispanoamericana de Filosofía. Vol. 34, No 102. pp47-86

Pickering, A. (1995) *The Mangle of practice*, the University of Chicago Press. Chicago