A PROPÓSITO DE LA ÓPTICA NEWTONIANA: UN PROCESO DE RECONTEXTUALIZACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA.

Eliana Marcela Rúa[1]
Diana María Gómez[2]
Alex Santiago Salazar[3]
yYirsen Aguilar Mosquera[4]

RESUMEN

En los análisis realizados en investigaciones, se evidencia que cuando los docentes abordan la óptica geométrica en la secundaria, usualmente tienden a centrar sus explicaciones en aspectos matemáticos referentes a las formulas de la reflexión y la refracción y no articulan de manera coherente la conceptualización del fenómeno. Esto resulta problemático en el proceso de enseñanza, porque además de no permitir la construcción de la fenomenología de las situaciones involucradas, también se proyecta una imagen de ciencia en la que se desarticulan dos aspectos que son inseparables cuando se trata de formalizar un fenómeno. La posibilidad de explicar y matematizar el fenómeno es construida por el sujeto y en tal sentido se reflexiona y se construye en el proceso mismo de organización de experiencias y en la cuantificación de la propia física. Con la finalidad de construir rutas conceptuales alternativas para la enseñanza de la óptica, se realiza un análisis histórico-epistemológico de la manera como Newton configura y presenta los conceptos de reflexión y refracción, expuestos en su obra titulada Óptica (1977). En este análisis se muestra cómo Newton establece una relación de constitución entre la física y la matemática, al considerar que sus procesos de formalización

[1] Universidad de Antioquia, enmean21@hotmail.com,
[2] Universidad de Antioquia, dianamariag04@hotmail.com,
[3] Universidad de Antioquia, alexs.27@hotmail.com
[4] Universidad de Antioquia, yirsena@gmail.com

están determinados, de manera simultánea, por la construcción de fenomenologías y de matematización.

Finalmente, a partir del análisis de la propuesta de formalización de Newton, se plantean unas implicaciones didácticas que posibilitan algunas precisiones para la enseñanza de la óptica.

.

Palabras claves: *Óptica, Reflexión, Recontextualización, Enseñanza y Newton*.

ABSTRACT

In the analysis in research, it appears that when teachers addressed geometrical optics in high school, usually tend to focus their explanations on mathematical aspects concerning the formulation of reflection and consistently articulate the conceptualization of the phenomenon. This is problematic in the teaching process because in addition to not allow construction of the phenomenology of the situations involved, also projects an image of science in which disarticulate two aspects are inseparable when it comes to formalizing a phenomenon. The ability to explain and mathematize the phenomenon is constructed by the subject and in that sense it reflects and is built into the process of organizing experiences and quantification of physics itself. In order to build conceptual alternative routes to teaching optics, an analysis of the historical-epistemological way Newton sets and introduces the concept of reflection, stated in his book Optics (1977). This analysis shows how Newton constitution establishes a relationship between physics and mathematics, considering formalizing their processes are determined simultaneously, by construction of phenomenology and mathematization.

Finally, from the analysis of the proposed formalization of Newton raised some educational implications that allow some clarifications for teaching optics.

Keywords: optics, reflection, recontextualization, Education and Newton.

INTRODUCCIÓN

Uno de los fines de la educación en los últimos 30 años, ha sido fomentar el desarrollo de una alfabetización científica que le permita a los ciudadanos "adquirir los conocimientos científicos y tecnológicos necesarios para desenvolverse en la vida diaria" (Furió y Vilches, 1997, p. 121). Esto ha generado, que la enseñanza de las ciencias adquiera un papel primordial dentro las mallas curriculares y por eso, diferentes teóricos han realizado diversas investigaciones y análisis rigurosos para tratar de fortalecer las propuestas de enseñanza de las ciencias orientada a una alfabetización científica. Una de las asignaturas que posibilita la alfabetización científica de los educandos es la física, ya que ésta permite la explicación de diferentes fenómenos naturales con los que las personas interactúan diariamente, además de posibilitar, a través de su enseñanza, la inmersión en las prácticas propias de la ciencia. En este sentido, algunos de los fenómenos con los que el ser humano más relación tiene en el diario vivir, son aquellos concernientes a la visión, más de la mitad de las percepciones que nos llegan del exterior, son a través de este sentido. El acto mismo de mirar, encierra un proceso complejo que puede ser explicado y analizado a través de la óptica geométrica, una línea de la física que nació para tratar de "comprender la visión humana de los objetos, al mirarlos directa o indirectamente" (Osuna, et all, 2007, p. 278).

En Colombia, tanto los Lineamientos Curriculares para Ciencias Naturales y Educación Ambiental, como Los Estándares Básicos de Competencia en Ciencias Sociales y Naturales, reconocen la importancia de la enseñanza de la óptica geométrica en la básica secundaria y señalan que este tema es pertinente para los estudiantes de undécimo grado. Según los Lineamientos curriculares, los temas como la óptica geométrica "son fundamentales para fomentar el conocimiento científico básico y–estimular- en los estudiantes procesos de pensamiento y

acción" (Min. Educ. Nal., 1998, p. 139). Además, al hablar de óptica es necesario interrelacionar otros fenómenos primordiales como "la reflexión, refracción, interferencia, dispersión, difracción y polarización de ondas, la interacción de la luz con espejos, lentes y el efecto fotoeléctrico" (Estándares de calidad., 2000 p. 139), los cuales permiten, comprender de forma adecuada aspectos de la naturaleza y el comportamiento de la luz.

Sin embargo, en los análisis realizados se evidencia que cuando los docentes abordan la óptica geométrica en la secundaria, usualmente tienden a centrar sus explicaciones en aspectos matemáticos referentes a las formulas de la reflexión y la refracción y no articulan de manera coherente la conceptualización del fenómeno, de modo que, resolver una situación física se restringe a la solución de un algoritmo y a la obtención de un resultado numérico, el cual, en muchas ocasiones carece de significación física para el estudiante.

Es meritorio mencionar que, debido a que aún no se ha ejecutado la totalidad de la investigación, en el presente trabajo se pretende realizar una re-contextualización de dos fenómenos ópticos desde la perspectiva newtoniana, para resaltar cómo Newton a través de sus experiencias siempre procuró mantener una relación de constitución entre la fundamentación teórica y el constructo matemático y por lo tanto, cómo la disgregación entre estos dos componentes dentro de la construcción de fenomenologías pueden provocar ciertas dificultades para comprender los fenómenos. No obstante, en el apartado siguiente se exponen el objetivo principal de la investigación y la respectiva metodología.

LOS FENÓMENOS DE REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN EN EL CONTEXTO DE LA ENSEÑANZA

Diversos estudios han confirmado que la enseñanza de la física, más específicamente, aquella relacionada con los fenómenos de reflexión y refracción,

se centra principalmente en aspectos como la resolución de algoritmos y fórmulas matemáticas y no se articula de forma coherente con su construcción fenomenológica, lo que devela una relación física-matemática en términos instrumentales, donde la segunda es una herramienta para la primera. Lo anterior, conlleva a que en muchos casos los cursos de física se conviertan en cursos de física matemática, donde los estudiantes invisibilizan los enunciados de los ejercicios para ir directamente a la aplicación de una formula por medio de la cual obtienen un resultado numérico. De ahí, que en las evaluaciones, los estudiantes reflejen la falta de comprensión al enfrentarse a un ejercicio con un componente conceptual. Además, en algunos libros de texto analizados, se observa como perpetúan esta relación física-matemática o simplemente la desarticulan completamente discriminando, por un lado, ejercicios teóricos y por el otro, aquellos que se solucionan a través de un algoritmo. Todo esto, impide que el estudiante haga una reflexión conjunta entre el concepto y el algoritmo, lo que ocasiona "una falta de compresión tanto del concepto físico, como del modelo matemático, de tal forma, que no se llega nunca a la elaboración de una visión del mundo físico –concreta-". (Ayala, Garzón y Malagón 2007, p. 40). Ahora, en la organización curricular de las instituciones educativas, también es posible evidenciar la reproducción de tal desarticulación entre la física y la matemática ya que la asignatura de física solo es ofrecida para los grados decimo y undécimo; a esto subyace que, solo cuando el estudiante ha adquirido las suficientes herramientas matemáticas, puede comprender los fenómenos físicos.

Todo lo anterior, genera dos problemas fundamentales: Primero, la desarticulación de la fundamentación conceptual y la práctica: Cuando el docente centra la enseñanza de la óptica geométrica en la explicación y resolución de ejercicios matemáticos, implícitamente está proyectando una imagen de ciencia en la que solo interesa el producto final. Es primordial resaltar que las leyes, principios y ecuaciones que se conocen enla física solo son la conclusión de todo un proceso de deliberación y comprensión teórica con un trasfondo más valioso que el simple

enunciado matemático.Segundo, la incapacidad de develar cuáles son los modelos explicativos que poseen los estudiantes ante estos fenómenos. Como bien lo indican Pesa y Colombo (1993, p. 135) "En la enseñanza de la óptica en general se pone muy poco énfasis en problemas como los temas relacionados con la naturaleza de la luz, los mecanismos de producción de sombras, la reflexión difusa y sus referencias con la especular, ya que dichas concepciones se dan por obvias y se pasa directamente a la sistematización y matematización más compleja". De allí que en varias investigaciones realizadas por autores como Gil (2003), Osuna(2007), Martínez (2005), entre otros, para analizar la enseñanza de la óptica geométrica en la secundaria, se haya llegado a la conclusión de que la mayoría de los alumnos poseen gran cantidad de modelos alternativos,(en algunas ocasiones confusos) para explicar los fenómenos ópticos y dichos modelos casi nunca son confrontados en la secundaria, por lo que los estudiantes siguen considerándolos como las explicaciones válidas.Esto conlleva a que los alumnos confundan fuente con luz, no diferencien entre luz y rayo de luz, limiten el alcance de la luz a sus efectos visibles, consideren la luz como una entidad física dependiente del espacio, crean que las imágenes tienen existencia independiente del ojo y aun mas, a que consideren el color como una propiedad intrínseca del objeto.

Estas consideraciones señalan la necesidad de plantear una propuesta de enseñanza de la óptica geométrica, específicamente de los fenómenos de la reflexión y la refracción, donde la relación física-matemática se signifique en términos de constitución, es decir que la matematización de los fenómenos se piense desde la misma fenomenología y ambas se configuren y se construyan conjuntamente. Es así, como a partir de estas reflexiones, surge un interrogante, **¿Se podría plantear una propuesta de enseñanza a partir de la recontextualización de los fenómenos de la reflexión y la refracción de la óptica geométrica desde la perspectiva newtoniana, para establecer**

una correlación entre la física y la matemática que le posibilite al alumno un proceso de formación crítico y reflexivo en física?

OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTGACIÓN

Plantear un proceso de recontextualización de la reflexión y la refracción desde la perspectiva newtoniana, que posibilite caracterizar una relación de constitución entre la física y la matemática y una reorganización conceptual centrada en la construcción de fenomenologías.

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se enmarca en el enfoque cualitativo-interpretativo, que utiliza el estudio de caso como estrategia metodológica (Stake, 2008). En este sentido, se asume que el proceso investigativo está mediado por la intención de los investigadores en relación con plantear una propuesta de recontextualizacion de la enseñanza de la óptica geométrica desde la perspectiva newtoniana.

Los participantes de la investigación son 5 estudiantes del grado décimo de la Institución Educativa Comercial de Envigado. La selección de estos se ha hecho atendiendo a la disponibilidad para participar en la investigación y su rendimiento académico con el fin de garantizar que los informantes puedan verbalizar y explicitar sus modelos explicativos con cierta facilidad. Para este fin, el grupo de investigadoras diseñó un protocolo ético.

En primer lugar, se realiza un análisis cualitativo del contenido en algunos textos escolares para identificar el modo como estos presentan y conceptualizan los fenómenos de la reflexión y la refracción; igualmente, se hace en la obra de Newton, que se referencia en esta investigación, con la intención de caracterizar

su particular manera de ver y de formalizar dichos fenómenos y la estrategia o método que utiliza.

En segundo lugar, las estrategias para recoger la información han sido todas aquellas que permiten a los casos seleccionados dar cuenta de los modos de comprender la óptica geométrica, principalmente los fenómenos de la reflexión y la refracción, como, entrevistas semiestructuradas, grabaciones de audio y video de las actividades realizadas por ellos (talleres y situaciones problemas). El procedimiento de análisis contempla la triangulación entre métodos, instrumentos, estamentos y en el tiempo. Este proceso se ha ejecutado a lo largo de toda la investigación. Para dar mayor consistencia al proceso, también se ha realizado el juicio de pares, confrontación con los participantes y pilotaje de los instrumentos, con el propósito de garantizar que la interpretación corresponda con los elementos teóricos de base y así evitar al máximo la subjetividad y de esta manera darle mayor credibilidad a la investigación.

RECONTEXTUALIZACIÓN DE LOS FENÓMENOS DE REFLEXIÓN Y REFRACCIÓNDESDE LA PERSPECTIVA NEWTONIANA

En este apartado, se presenta un análisis histórico-epistemológico de la manera como Newton configura y presenta el concepto de reflexión, expuesto en su obra titulada Óptica (1977). En este análisis se muestra cómo Newton establece una relación de constitución entre la física y la matemática, al considerar que sus procesos de formalización están determinados, de manera simultánea, por la construcción de fenomenologías y de matematización.

En el análisis realizado, en la obra"Óptica" (1977), se logra evidenciar la capacidad de percepción e interpretación que poseía Newton para hacer de los sucesos habituales fuentes de conocimiento. Es así como este célebre físico, logra construir, a partir del estudio de la luz emitida por una vela, los rayos del sol o las pompas de jabón, las características principales de los fenómenos de la reflexión y

la refracción. Es primordial resaltar lo anterior, porque con las narraciones hechas por Newton en su obra, se puede traslucir que el ser humano encuentra el sentido de la actividad científica a través de un proceso de interacción con su realidad cotidiana. Sin embargo, dicho proceso no es pasivo, pues se requiere construir una lógica para acceder a las características de los sucesos y así poder comprender su naturaleza. Newton deja ver en su libro los *Principia* (sección XIV, Prop. XCVI) que las ideas propuestas por Snell, Descartes y Grimaldi, le permitieron realizar la demostración general de las leyes de la reflexión y la refracción y a la vez, es significativo reconocer que su conocimiento en la geometría Euclidiana le facilitó llevar a cabo dichas demostraciones. Con todo, conviene precisar que fue el acceso a los saberes previamente establecidos por sus antecesores, lo que le permitió construir una carga teórica cuya función fue llenar de significación sus interpretaciones. En este orden de ideas, para sus análisis sobre los fenómenos de la reflexión y la refracción, él partió de unos conceptos previos que le permitieron dar por sentado cierta información que hasta el momento se conocía sobre la óptica (las leyes de la reflexión y refracción debidas a Euclides, Snell, entre otros), y dicha información la denominó axiomas pero no porque fueran proposiciones a priori sino porque representaban una suma de conocimientos ya establecidos. Luego, estableció una serie de proposiciones que fueron validadas a través de experimentos basados en la observación y finalmente, constituye una serie de definiciones que dan cuenta de los resultados obtenidos a partir de sus indagaciones experimentales.

Por otro lado, es muy interesante recapitular la estrategia empleada por Newton para caracterizar los fenómenos estudiados, porque, ello permite reflexionar sobre un aspecto que ha sido muy poco indagado en su obra y es el papel que juega la experiencia dentro de su proceso. Entiéndase esa experiencia como aquellos conocimientos con los que contó este físico dentro del contexto socio-temporal en el cual desarrolló su trabajo científico. No puede desconocerse que Newton fue un intelectual minucioso y contó con la oportunidad de vivir en un

ambiente de constante actividad académica, esto le permitió dedicarse con entrega absoluta a reflexionar sobre los objetos que le llamaban la atención (Solís, 1977). Por consiguiente, se considera que Newton logró establecer un perfecto engranaje entre teoría y experimentación, de tal modo que sus experimentos se convirtieron en el sustento de su construcción conceptual. No obstante, es pertinente considerar que inevitablemente lo contario también ocurrió, los conocimientos previos adquiridos a través de su experiencia, le permitieron estructurar sus experimentos, de ahí que sus observaciones no surgieron del vacío sino que fueron el producto de una interrelación consciente entre sus saberes conceptuales. Una consecuencia de lo anterior, fue que el teórico en mención dedicó la parte III del libro II a narrar observaciones y experimentos realizados para refutar una teoría clásica que conocía sobre la reflexión, la cual a su vez, también involucraba la refracción. La teoría afirmaba que estos fenómenos se debían al choque de la luz contra las partes sólidas e impenetrables de los cuerpos. Por el contrario, Newton en una carta dirigida a Oldenburg, secretario de la Royal Society, fechada el7 de diciembre de 1675, argumentó lo siguiente:

> "La luz no es reflejada por las partes del cristal, agua, aire u otros cuerpos sensibles, sino por el mismo límite o superficie de los medios etéreos, siendo mayor aun la dificultad al pasar del más raro al más denso que la refractan, encontrando los rayos alguna dificultad en atravesarlos al pasar de un medio más denso a otro más raro, , viéndose así refractada o reflejada por dicha superficie, según que las circunstancias que tengan lugar en su incidencia la haga capaz o incapaz de atravesarlos. Para confirmar esto, dije también que pensaba que la reflexión de la luz, al salir del cristal al aire, no se disminuía o debilitaba al eliminar el aire con una bomba, como habría de ocurrir, si fuesen las partes del aire las que reflejasen." (Solís, 1977, p. 397).

Como se puede interpretar, sus observaciones surgieron a partir de su experiencia, de su interacción con construcciones teóricas previamente establecidas.

LA RELACIÓN FÍSICA-MATEMÁTICA: UNA RELACIÓN DE CONSTITUCIÓN EN LA PERSPECTIVA NEWTONIANA

Es meritorio resaltar, que Newton trabajó los fenómenos de la reflexión y la refracción en conjunto, no los separó, ya que comprendió a partir de sus interpretaciones, que ambas tienen una íntima relación. Por ejemplo, en uno de los análisis realizados para encontrar cuál es la variante que posibilita que unos rayos se reflejen más que otros, Newton concluye que:

> "las superficies de los cuerpos transparentes que reflejan la mayor cantidad de luz son aquellas que poseen el mayor poder refractante; es decir, las que separan medios muy diversos en densidad refractante. Por otro lado, en los límites entre medios igualmente refractantes, no se produce ninguna reflexión". (1977, p. 218).

Así mismo, en muchos de las interpretaciones que realiza sobre la luz siempre habla de ambos fenómenos. Al respecto conviene decir que, la reflexión se define desde lo analizado e interpretado en Newton como el fenómeno que sucede cuando un rayo de luz incidente choca contra la superficie que separa dos medios, a un ángulo determinado, y se refleja con el mismo ángulo. Ésta no depende del sentido en el que viaja el rayo de luz sino de la densidad de ambos medios. Con todo, en esta construcción se evidencia claramente cómo las nociones y concepciones geométricas matematizables de medición de ángulos, se hacen relevantes para construir una definición fenomenológica adecuada de reflexión en términos de relación física-matemática, donde ambas se correlacionan para dar lugar a una formulación más clara y fundamentada de reflexión. De igual forma, la

refracción hace referencia a los rayos de luz que son absorbidos o atraviesan un cuerpo cuando inciden sobre éste y cómo dichos rayos cambian su curso o ángulo debido a la diferencia de densidades. Con el fin de establecer una relación, él expone que para cada uno de los rayos, el seno de incidencia y el de refracción están en una razón dada. En este sentido, se pueden conocer las refracciones entre cualquier medio y el aire de los rayos de todo tipo, si se tiene la refracción de los rayos de un solo tipo (Newton, 1977, p 117).Nótese en este punto, cómo la relación física-matemática siempre se hace fundamental para la construcción y la correspondencia de conceptos en newton y como a través de sus conocimientos de la geometría y definiciones físicas de estructura de los cuerpos logra, por medio de muchos experimentos y muchas observaciones, construir modelos, que derivan en la formulación, estructuración y explicación de fenómenos ópticos de la naturaleza.

Con respecto a lo planteado en los modelos experimentales de este físico y mediante los análisis realizados a estos, se logra evidenciar cómo constantemente la construcción fenomenológica de la reflexión y la refracción se da simultáneamente con la matematización de los mismos. Según D.T. whitside (citado en Escohotado, 1982, p. 123), "el rasgo más definitivo del genero newtoniano es su descomposición del movimiento continuo en fragmentos matemáticamente abordables." A su vez, D´ alembert (citado en Escohotado, 1982, p. 123), señala que "Newton fue el primero en mostrar lo que sus predecesores apenas habían atisbado, el arte de introducir la geometría en física y de crear--- uniendo experiencia y calculo--- una ciencia nueva, exacta, profunda y brillante". Así pues, la experiencia que establece una relación con el componente matemático, no solo se debe reducir al trabajo experimental ya que, la carga teórica que adquirió Newton por medio de estudios previos, también le permitió interpretar el comportamiento de los fenómenos previamente mencionados. En este orden de ideas, la posibilidad de matematizar el fenómeno, es una cuestión que se reflexiona y se construye dentro del proceso de construcción de la propia física. De este modo, tanto el componente algorítmico como la organización

fenomenológica coexisten y se configuran en la estructuración de la experiencia. Por estas razones, la relación física- matemática puede ser asumida como una relación de constitución desde la perspectiva newtoniana.

IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

En definitiva, después de realizar el análisis al texto de Newton, es meritorio resaltar algunos elementos que pueden contribuir significativamente a fortalecer los procesos de enseñanza de los fenómenos de la reflexión y la refracción. Por un lado, si se le permitiera a los estudiantes acceder a la comprensión de las variables principales que constituyen el fenómeno estudiado, ellos podrán comprender los procesos que ocurren a nivel científico para correlacionar dichas variables por medio de una expresión matemática, así, las formulas que aplican mecánicamente adquirirían un valor teórico que les facilitaría realizar un análisis mas profundo y a su vez esto contribuiría ala adquisición de conocimientos mas significativos. Además, cuando los docentes se esfuerzan por develar la forma en que se configuran la parte fenomenológica y la parte matemática dentro de la estructuración de la experiencia, se finiquita la tendenciade convertir los cursos de física en cursos de física-matemática.

De igual forma, ahondar en la metodología de científicos comprometidos como Newton, permite considerar ciertas estrategias procedimentales que pueden ser relevantes a la hora de enseñar cualquier concepto físico. Es el caso de trabajar a la par los fenómenos de la reflexión y la refracción. Como se ha indicado anteriormente, él era muy enfático en exponer que las observaciones sobre estos fenómenos se daban bajo un mismo suceso, ya que en la mayoría de las veces cuando un rayo de luz choca contra una superficie, una parte de éste se refracta y la otra se refleja. Por lo tanto, trabajar de manera conjunta estos dos fenómenos, que en la mayoría de las veces corresponden a unidades diferentes en las mayas curriculares, podría facilitar su enseñanza y mejor comprensión.

Finalmente, del trabajo de Newton se pueden retomar muchas actividades experimentales para ser reproducidas en las instituciones educativas y así permitirles a los estudiantes que entren en contacto directo y de una manera muy sencilla con estos fenómenos; aspectos que están en vía de desarrollo en el trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayala, M., Garzón, M. y Malagón, F. (2007). Consideraciones sobre la formalización y matematización de los fenómenos físicos. *Praxis filosófica, 25*, 39-54.

Bautista, M., Romero, B., Carrillo, E., Castiblanco, S. y , Valenzuela, J. (2005). Fisica II. Bogotá: *Santillana*

Cassirer, E., (1979) El Problema del Conocimiento. *Fando de cultura Económica*, México, Vol 4.

Furió, C. Y vilches, A. (1997). Las actitudes del alumnado hacia las ciencias y las relaciones ciencia, tecnología y sociedad. En *del Carmen, L. (Ed), La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.

Granés, J. y Caicedo, L. (1997). Del contexto de la producción de conocimientos al contexto de la enseñanza. Análisis de una experiencia pedagógica*. Revista colombiana de educación,* 34, 69-83.

Gil, J. (2003). *Preconcepciones y errores en óptica. Propuesta y validación de un modelo de enseñanza basado en la teoría de elaboración de Reigeluth y Stein*. Tesis doctoral, Universidad de Extremadura, Cáceres, España.

Manrique, A. E. (2008). *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos.*Bogotá: Kimpres.

Massoni, Neusa. Y Moreira Marco. (2010). Un enfoque epistemológico de la enseñanza de la física: Una contribución para el aprendizaje significativo de la física, con muchas cuestiones sin respuesta. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias, 02,* 83-308.

Ministerio de educación Nacional. (1998). *Lineamientos curriculares, ciencias naturales y educación ambiental, cooperativa editorial magisterio*.

Newton, Isaac. (1977). *Óptica* (Solís, Carlos). Madrid, España: Ediciones Alfaguara. (Trabajo original publicado en 1730)

Newton, Isaac. (1982). *Principios matemáticos de la filosofía natural* (Escohotado, A. y Sáenz, M.,). Madrid, España: Editora Nacional (Trabajo original publicado en 1687)

Osuna García, Luis., Martínez Torregrosa, J., Carrascosa A., y Verdú, R. (2007). Planificando la enseñanza problematizada: el ejemplo de la óptica geométrica en educación secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, 25, 277-294.

Perales, F.J. (1987). Análisis de contenido en óptica geométrica. *Enseñanza de las ciencias,* 5 (3), 211-219

Pesa de Danon, M. y Colombo de Cudmani, L. (1993). Paralelismo entre los modelos pre-científicos e históricos en la óptica - implicaciones para la educación. *Cad. Cat. Ens.Fis*, *2,* 128-136.

Stake, Robert. (1999). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Morata. Segunda edición

Valero, M. (1998). Física fundamental 2. Bogotá: Norma, segunda reimpresión 1998.

Villegas, M. y Ramírez, R. (2002). Galaxia física 1. Bogotá: *Voluntad.*