

EXPERIENCIAS EDUCATIVAS



**DEL CONTEXTO DE LA PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTOS
AL CONTEXTO DE LA ENSEÑANZA.
Análisis de una experiencia pedagógica**

José Granés S. y Luz Marina Caicedo Y.

Departamento de Física. Universidad Nacional de Colombia

Resumen

En este texto se analiza el trabajo adelantado en un seminario de un postgrado de Física para maestros de la escuela secundaria, en el cual se estudió detalladamente el artículo original de Newton (1672) sobre la óptica de los colores. El trabajo en el Seminario permitió analizar problemas epistemológicos actuales sobre la producción del conocimiento científico, reflexionar sobre el papel de la historia en la enseñanza de las ciencias y contrastar el desarrollo newtoniano de la óptica de los colores con el tratamiento del mismo tema en los textos de enseñanza.

Abstract

In this text, the work done in a postgraduate seminar for secondary school teachers is analyzed. During this seminar a detailed study of the original article of Newton (1672) on color optics was undertaken. This study allowed an analysis of actual epistemological problems on the production of scientific knowledge, a reflection on the role of history in science teaching and a comparison between the newtonian development of color optics and the presentation of the same subject in modern teaching texts.

1. La educación como recontextualización

El conocimiento, para existir socialmente, debe circular, es decir, debe ser apropiado en contextos culturales diversos. Los procesos de difusión, de divulgación y de popularización de las ciencias son formas particulares de circulación de los conocimientos. Pero, posiblemente, las formas más sistemáticas y más reguladas de circulación en las sociedades contemporáneas se dan en la educación formal. En todos los niveles del sistema educativo, conocimientos que fueron elaborados originalmente en el seno de comunidades científicas especializadas deben ser asimilados por los estudiantes. Deben, por tanto, adaptarse a los contextos culturales en los cuales van a ser apropiados. Lo anterior implica que deben cambiar, en general, los propósitos, las funciones e, incluso, con frecuencia, la estructura interna del cuerpo de conocimientos. Por otra parte, estos procesos de adaptación deben ser sensibles a los cambios, tanto en los universos de significados como en los lenguajes que los expresan y los desarrollan al pasar de un contexto a otro. Basil Bernstein ha designado estos procesos de transformación / adaptación de conocimientos bajo el término muy sugestivo de recontextualización⁷¹.

⁷¹ Basil Bernstein "Sobre el discurso pedagógico" en *La Construcción Social de Discurso Pedagógico*, El Griot, Bogotá, 1990.

Recontextualizar quiere decir situar, insertar, articular un conocimiento, de manera significativa, en un nuevo contexto. Este cambio de localización implica procesos regulados de selección, de jerarquización y de transformación de los conocimientos. Además en el proceso de recontextualización, la red de relaciones conceptuales y prácticas en la cual se inserta el conocimiento cambia con relación al cuerpo de saberes en el contexto original de la producción. Los procesos de recontextualización son siempre complejos ~ multifacéticos. Implican la construcción de un nuevo discurso, con finalidades, funciones y estructura propias, que deliberadamente se aleja del discurso original, aunque lo toma como base.

La Física en la escuela secundaria, por ejemplo, es un discurso recontextualizado⁷². Es, por tanto, el resultado de la aplicación de ciertos criterios o principios que han orientado procesos de selección y desubicación de contenidos del campo de la producción de conocimientos y los han reubicado y reenfocado en el campo de la enseñanza en la escuela secundaria. Los principios que presiden la recontextualización orientan la selección, la secuenciación de los contenidos y el ritmo de la enseñanza. Inciden, también, en la determinación de la teoría pedagógica o instruccional que orienta el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Estos principios de recontextualización no dependen tan sólo de la lógica interna de la disciplina o de la experiencia de los maestros. Los principios son, ante todo, hechos sociales⁷³. Por tanto, los procesos de recontextualización están sujetos al control impartido por determinados agentes sociales y estatales, como pueden ser, por ejemplo, el Ministerio de Educación, consejos o comités especializados encargados de la elaboración de planes de estudio, textos y materiales de enseñanza para la escuela secundaria, grupos universitarios, asociaciones de maestros, etc.

Una primera recontextualización permite elaborar un discurso pedagógico que se destaca en los textos, en las guías y en los materiales escolares. A partir de ellos, el maestro debe, a su vez, proceder a efectuar nuevas selecciones, transformaciones y reorganizaciones que permitan adaptar esos saberes al contexto del aula de clase, es decir, a las condiciones materiales y culturales y a las situaciones concretas en las que se desenvuelve cotidianamente la acción educativa. El maestro se ve obligado a tomar en cuenta los lenguajes, las formas de comunicación, la experiencia y los conocimientos previos de los estudiantes, incluso la cultura y la historia de la comunidad, para hacer que su discurso sea significativo e interesante para el alumno.

El maestro desempeña, por tanto, un papel activo en los procesos de recontextualización. Entender la educación como creación permanente de sentido a través de los procesos de recontextualización puede transformar la conciencia que posee el educador sobre su propia práctica. Esta deja de ser entendida como una actividad de simple reproducción para ser pensada como un proceso de enriquecimiento permanente en la interpretación y en el significado de los conocimientos.

Por otra parte, entender la educación como recontextualización puede contribuir a una relativización, por parte de los educadores, de los conocimientos decantados en las ciencias y en los libros de texto. Estos conocimientos dejan, en efecto, de poseer un único significado inamovible. La conciencia de la necesidad de adaptar su sentido a distintos

⁷² Basil Bernstein se refiere con algún detalle a este ejemplo en su texto *"Sobre el Discurso Pedagógico"*. Op. cit. p. 128.

⁷³ Ibid. p. 129.

contextos culturales facilita comprenderlos en relación con un desarrollo histórica y culturalmente determinado y susceptible, por eso mismo, de sufrir transformaciones.

2. *Un papel para la historia de las ciencias en la enseñanza: revelar la recontextualización*

La enseñanza de la física en los diferentes niveles de la educación formal se realiza, hoy en día, sobre la base de libros de texto y otros materiales especialmente preparados para la enseñanza. Las obras originales de los creadores de las grandes teorías sólo se mencionan ocasionalmente como referencias puntuales de “cultura general”. Esta forma de enseñanza tiene una razón de ser. Un libro de texto presenta en la forma más articulada y coherente posible un determinado paradigma científico, tal como éste es aceptado modernamente por la comunidad académica respectiva. El conocimiento contenido en las obras originales ha sido recontextualizado en los libros de texto. El propósito de este proceso es el de facilitar una apropiación rápida y eficaz de los elementos centrales del paradigma. Es decir, lograr la comprensión de los principales conceptos y principios, el dominio de las formas de argumentación y de validación y la puesta en juego de todos estos elementos para plantear y resolver problemas significativos y legítimos dentro del paradigma.

A pesar de sus evidentes ventajas, el sistema de enseñanza a través de libros de texto comporta, como lo ha señalado Thomas Kuhn, ciertos dogmatismos de base⁷⁴. Para dominar el paradigma, como para socializarse en una cultura, es necesario, en un primer momento, deponer la crítica. Los conceptos y los principios no se discuten. Se aceptan y se hacen operativos. Sólo cuando se ha logrado un dominio de todo el sistema es posible comenzar a pensarlo críticamente. La historia de las ciencias y, en particular, el estudio de los textos originales puede entonces apoyar esta tarea.

El retorno a las fuentes puede ayudar a entender, en primer lugar, que los conceptos que finalmente fueron decantados en el paradigma y que son presentados de manera acabada y precisa en los libros de texto tuvieron una génesis y un proceso de desarrollo. Conocer este proceso permite enriquecer el concepto, flexibilizándolo y sugiriendo nuevos significados y relaciones. Permite reconocer, con mayor facilidad, que el significado del concepto nunca se agota y que toda decantación es por eso provisional.

En segundo lugar, los textos originales, considerados dentro de] contexto cultural y científico en el que fueron producidos, permiten entender los problemas que originalmente motivaron la elaboración de un conocimiento particular. Pueden permitir, además, un acercamiento al proceso que hizo surgir lo nuevo a partir de la situación problemática y, en muchas ocasiones, de las contradicciones y del debate agudo entre posiciones contrapuestas. En general, en los libros de texto esos problemas y los debates a que dieron lugar no aparecen. En efecto, para que el conocimiento pueda ser apropiado con convicción e intensidad es necesario eliminar de los textos toda sombra de duda. En un primer momento, el estudiante debe creer firmemente en aquello que se le enseña. El conocimiento debe aparecer bajo la luz segura de la certeza y de la verdad.

⁷⁴ Thomas Kuhn ha enfatizado la funcionalidad de los libros de texto en la enseñanza de las ciencias, entendida como socialización en determinados paradigma5 fundamentales, y ha señalado, también, los aspectos dogmáticos que este tipo d enseñanza comporta. Según Kuhn, los libros de texto “inevitablemente disimulan no sólo el papel desempeñado sino, también, la existencia misma de las revoluciones que los produjeron”. Véase Thomas Kuhn, *La estructura de las revolucione científicas*, Fondo de Cultura Económica, Breviarios 1992. Cap. XI, p.214.

En tercer lugar, el recurso a la historia de las ciencias y a los textos originales es, con frecuencia, la única manera de responder adecuadamente a preguntas que se suelen hacer los estudiantes sobre el origen y la fundamentación de principios básicos de la física.

Finalmente, el recurso a los textos originales permite entender, por comparación, los procesos de recontextualización que se operan en los libros de texto. Es decir, resulta posible tomar conciencia de los cambios en el significado de los conceptos y en su articulación respectiva, de las transformaciones en la formulación de los problemas, en el lenguaje, en las formas de argumentación y en los criterios de coherencia y de rigor.

3. *Un ejemplo de recontextualización: un seminario sobre la óptica de los colores de Newton.*

En este aparte analizaremos una experiencia pedagógica, adelantada en un postgrado para maestros de Física de la escuela secundaria. Esta experiencia consistió en un seminario en el cual se discutió durante un trimestre el trabajo de Newton sobre la óptica de los colores, ubicándolo en el contexto cultural y científico en el que se produjo pero destacando elementos epistemológicos y metodológicos pertinentes para la comprensión de la ciencia en nuestra época. Aunque en el seminario se estudió una fuente original de conocimiento científico, ésta, a su vez, sufrió un proceso de recontextualización. Es este proceso el que nos interesa, sobre todo, examinar.

En el seminario se realizaron los principales experimentos descritos por Newton en su artículo tratando de reproducir, de manera relativamente fiel, elementos esenciales de cada uno de ellos. Esta reconstrucción obedeció a varios propósitos. En primer lugar, hacer asequible a los sentidos las descripciones que Newton hace de los experimentos y de sus resultados. La realización de los experimentos facilita, además, el análisis de elementos relacionados con la observación, con el experimento y con la articulación que éstos guardan con la teoría.

Este seminario, él mismo un ejemplo de recontextualización, busca una contrastación por parte de los estudiantes entre el trabajo original de Newton y el discurso decantado hoy en día en los libros de enseñanza. En este texto examinaremos el proceso de transformación/adaptación del trabajo de Newton que se dio en el seminario a través de una exposición muy resumida de su contenido.

3.1. *El contexto*

El trabajo de Newton sobre la óptica de los colores se publica en la revista de la Royal Society en 1672. Es este un momento histórico signado por una influencia decisiva del puritanismo en la cultura inglesa. La estricta ética del trabajo y la filosofía de utilitarismo social promovidas por este movimiento apoyaron de manera importante el surgimiento y el desarrollo de la nueva ciencia que se pensaba ante todo como forma de dominio sobre la naturaleza y como posibilidad de su control través de la técnica⁷⁵.

⁷⁵ Francis Bacon, el gran ideólogo inglés de la nueva ciencia empírica, inspirador de la filosofía de la Royal Society, expresaba de esta manera su concepción utilitaria del conocimiento: "La ciencia del hombre es la medida de su potencia, porque ignorar la causa es no poder producir el efecto. No se vence a la naturaleza sino obedeciéndola, y lo que en la especulación lleva el nombre de causa conviértase en regla en la práctica". *Novum Organum* aforismo III.

Dos corrientes culturales, que toman vida en dos instituciones que serán posteriormente reconocidas como pilares de la academia en el Reino Unido, ejercieron simultáneamente su influencia sobre el pensamiento de Newton. La originalidad de su obra podría, en gran medida, atribuirse a la síntesis que el autor logra hacer de esas dos formas contrapuestas de pensar la construcción del conocimiento científico. Una de estas instituciones es la universidad, específicamente el Trinity College de la Universidad de Cambridge, en el cual Newton estudiará, vivirá y trabajará durante más de treinta años. Institución que, en la época, es profundamente conservadora pero en la cual, al mismo tiempo, se preservan y se desarrollan tradiciones fundamentales de pensamiento; institución que organiza su currículo, aún en aquel momento, según la lógica medieval del *Trivium* y el *Quadrivium*⁷⁶ y en la cual se enseña aún la física aristotélica y la astronomía ptolemaica, pero en la cual se cultivan, también, con rigor el pensamiento filosófico y la matemática. La otra institución es la Royal Society, naciente y, por tanto, sin tradición, de carácter privado, que se propone el desarrollo y la promoción de la nueva ciencia y de sus aplicaciones tecnológicas; institución imbuida por el espíritu puritano y por la filosofía del empirismo baconiano; fascinada por el fenómeno, por lo nuevo y por lo útil.

3.2. Teorías de la época sobre los colores

La aparición de colores, cuando un haz de luz blanca atraviesa un prisma, suscitó un gran interés en los medios científicos de mediados del siglo XVII. Autores tan reconocidos como Descartes, Hooke, Boyle, Grimaldi y, finalmente, Newton⁷⁷ realizaron por su cuenta el experimento del prisma y elaboraron explicaciones del fenómeno. Por la formulación nueva que hace del problema, por la forma como entiende y adelanta la investigación, y por su comprensión original del fenómeno, el trabajo de Newton marca una ruptura con las concepciones anteriores e implica una reestructuración completa del campo de investigación sobre la óptica de los colores. Para entender esta ruptura es necesario examinar, así sea en forma muy breve, la lógica explicativa de los trabajos anteriores a Newton.

Aunque cada uno de los autores que antecedieron a Newton en el estudio del fenómeno elaboraron explicaciones diferentes, todas ellas comparten una misma lógica. En primer lugar, todos buscan responder a una misma pregunta: ¿por qué se producen colores cuando un haz de luz blanca pasa por el prisma? En segundo lugar, la forma general como se construyen las respuestas es también la misma; podría resumirse de manera sintética en dos grandes etapas. En la primera, se elabora o se acoge alguna hipótesis sobre la naturaleza de la luz blanca⁷⁸. Ya sea que la luz blanca se piense como

⁷⁶ Originalmente, las materias del *Trivium* eran la Lógica, la Gramática y la Retórica. Las del *Quadrivium* eran la Aritmética, la Geometría, la Astronomía y la Música. El *Trivium* venía primero que el *Quadrivium* y se veía como una preparación indispensable para este último. En el *Trivium* se cultivaba el arte de pensar, de expresarse y de argumentar. El dominio de estas disciplinas se consideraba como un cultivo de la interioridad y de la persona, necesario para abordar el estudio del conocimiento objetivo. Este se abordaba en el *Quadrivium* que representaba el estudio del mundo; de lo exterior de lo social. Véase Basil Bernstein "Un ensayo sobre educación" en *La construcción Social del Discurso Pedagógico*, Op.cit.p.61.

⁷⁷ Un resumen de los trabajos de Descartes, Hooke y Grimaldi, con las referencias bibliográficas respectivas, puede encontrarse en Michel Blay *La conceptualisation newtonienne des phénomènes de la couleur*, Vrin, París 1983, Cap. III, parte I. El artículo original de Newton, publicado en las *Philosophical Transactions* en 1672 puede encontrarse, en reproducción facsimilar, en *Isaac Newtons Papers and Letters on Natural Philosophy*, Edited by Bernard Cohen. Harvard University Press, Cambridge Mass, 1958.

⁷⁸ Así, por ejemplo, para Descartes, en *Les Météores*, "...la luz es la acción o el movimiento de una cierta materia muy sutil, de la cual es necesario imaginar las partes como pequeñas bolas que rotan en los poros de los cuerpos terrestres..."; citado por Blay, Op.cit, p.35. Para Hooke la luz blanca es un "pulso simple" que se propaga a través de un medio "homogéneo, uniforme y transparente"; véase "Hookes critique of Newton's

un flujo de partículas, como un pulso o una onda, o como un fluido, siempre es alguna sustancia o entidad simple. El modelo explicativo se articula estrechamente a esta hipótesis. En la segunda etapa, se supone que el prisma modifica la luz blanca que lo atraviesa. El carácter de esta modificación y la manera cómo se produce dependen de la hipótesis que se adopta sobre la naturaleza de la luz blanca. Los distintos autores componen modelos diversos, todos ellos de carácter cualitativo, sobre la interacción luz—prisma. Estos modelos no se fundamentan en teorías estructuradas ni ofrecen tampoco la posibilidad de una contrastación empírica⁷⁹. Por último, se supone que las modificaciones que sufre la luz blanca son percibidas por el ojo como colores.

3.3. El trabajo de Newton

El trabajo de Newton se aparta de manera radical de este esquema explicativo. En primer lugar, al observar la mancha de colores que se produce sobre la pared del cuarto cuando un haz de sección recta circular, proveniente de la luz del sol que penetra por un pequeño orificio practicado en la persiana, se dispersa por medio del prisma, Newton se sorprende de encontrar que la forma de esta mancha es alargada en lugar de ser circular: “Habiendo oscurecido mi cuarto y abierto un pequeño orificio en las persianas para dejar entrar una cantidad conveniente de luz solar, coloqué mi Prisma a la entrada de la luz de tal manera que pudiese ser refractada en la pared opuesta. Al comienzo constituyó una diversión muy placentera observar los vívidos e intensos colores así producidos; pero después de un rato, aplicándome en considerarlos de manera más circunspecta, me sorprendí de verlos en una forma oblonga, forma que, según las leyes conocidas de la refracción, yo esperaba que hubiese sido circular⁸⁰. Este texto, del primer párrafo del artículo, marca con toda claridad la orientación del trabajo. Es una discrepancia entre una previsión teórica —mancha de forma circular cuando el prisma se encuentra en la posición d desviación mínima— y la observación del fenómeno —mancha de form oblonga—, la que motiva la investigación de Newton sobre los colores. Todo su esfuerzo estará orientado a disolver esta contradicción, si renunciar a la validez de la ley de la refracción. El problema que se trata de resolver ha cambiado. Ya no se pregunta por la causa de la aparición de los colores sino por la forma de la mancha sobre la pared.

Conviene resaltar en este punto cómo la asimilación, por parte de Newton, de las dos corrientes de pensamiento con relación a la ciencia arriba mencionada es justamente la que hace posible este giro en el planteamiento del problema. Newton, siguiendo en este punto los cánones del empirismo, comienza su estudio con la observación cuidadosa del fenómeno. Esta constituye la base más firme, insoslayable, de la investigación. Pero, al mismo tiempo, es el dominio de una tradición matemática lo que le permite destacar un elemento particular, la forma del espectro y las contradicciones que en ella se encierran, del cúmulo de datos asequibles a la observación y hacer de él el eje de la investigación.

Los elementos que el investigador decide poner de relieve en la observación de un determinado fenómeno dependen, tanto de sus propósitos y de su perspectiva investigativa, como de sus conocimientos y de su cultura⁸¹. Los hombres de ciencia que

Theory” en *Isaac Newton’s Papers and Letters on Natural Philosophy*, Op.cit, p. 110. Para Grimaldi la luz es un fluido; véase el libro de Michel Blay, Op.cit.Cap. III, parte I.

⁷⁹ Diversos modelos explicativos, elaborados por Descartes, Grimaldi y Hooke, pueden encontrarse en el capítulo III, parte I del libro de Michel Blay, anteriormente citado.

⁸⁰ *Isaac Newton’s Papers an Letters on Natural Philosophy*, Edited by Bernard Cohen. Harvard University Press, Cambridge Mass, 1958; p. 47. La traducción de la cita es nuestra.

⁸¹ Como lo ha señalado Thomas Kuhn, “lo que ve un hombre depende, tanto de lo que mira como de lo que su experiencia visual y conceptual previa lo ha preparado a ver”. Evidentemente la formación de Newton lo había preparado para percibir en la mancha coloreada sobre la pared elementos cruciales que los

estudiaron el fenómeno que nos ocupa con anterioridad a Newton pusieron todo el énfasis en el aspecto empíricamente más notorio: la producción de colores. Además, la comprensión que se tenía del propósito de la ciencia como búsqueda causal los condujo a preguntarse por la causa de aquello que era más evidente: la aparición de los colores. Newton, en posesión de un profundo conocimiento previo sobre la ley de la refracción porque la ha utilizado para calcular superficies ópticas⁸² y la ha aplicado al estudio del prisma está en capacidad de desplazar la importancia de los aspectos observados del color a la forma, al percibir, justamente en este aspecto, una paradoja entre lo esperado y lo observado. Este ejemplo prueba que el fenómeno nunca está dado de una vez por todas. El fenómeno es conformado por el observador. En nuestro caso, el fenómeno de la dispersión es distinto para Hooke o Descartes que para Newton.

En un primer momento, Newton trata de establecer si el alargamiento de la mancha podría tener su origen en las circunstancias particulares de la realización del experimento. Podría ocurrir, por ejemplo, que posibles irregularidades del prisma, o bien el tamaño finito del sol, que produce un haz de luz que no es paralelo, pudiesen incidir en la producción de este efecto. Newton descarta cuidadosamente estas y otras posibles causas circunstanciales y concluye que el alargamiento del espectro es un aspecto esencial, inherente al fenómeno mismo de dispersión de la luz blanca por el prisma.

Aunque Newton posee también una hipótesis sobre la naturaleza de la luz —luz como flujo de partículas— y aunque seguramente utilizó esta hipótesis para pensar el fenómeno de la dispersión⁸³, en su artículo borra cualquier referencia a ella. En efecto, piensa Newton, en la Filosofía Natural no pueden tener cabida este tipo de hipótesis⁸⁴. Admitirlas sólo podría conducir a hacer de la ciencia una especulación carente de certeza. Las proposiciones de la ciencia deben poderse demostrar, ya sea sobre la base de otras proposiciones aceptadas como ciertas o a través de experimentos. Newton quiere hacer, como él mismo lo dice, una teoría matemática de los colores⁸⁵. Este esfuerzo implica, en primer lugar, desvincularla de las diversas hipótesis sobre la constitución material de la

empiristas de la Royal Society, como Robert Hooke o Robert Boyle, no podían ver. Véase Thomas Kuhn *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, Breviarios 1992. Cap.X p. 179.

⁸² Antes de 1666, año en el que comienza a interesarse por el experimento del prisma, Newton ha compuesto un “ensayo sobre refracciones” y un texto sobre la refracción de la luz en una superficie esférica. Véase *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, Vol I (1664-1666). Editado por D. T. Whiteside, Cambridge University Press, 1967, pp. 559-585.

⁸³ Michel Blay, en el libro citado anteriormente, explora los cuadernos y borradores de Newton desde 1665, momento en el cual empezó a interesarse por el problema de los colores, y muestra cómo en diversos momentos Newton asocia los colores a características de los “glóbulos” de luz, por ejemplo a su tamaño. Véase Michel Blay *La conceptualisation newtonienne des phénomènes de la couleur*, Vrin, Paris 1983, Cap.II parte II.

⁸⁴ Es en la polémica con las posiciones empiristas, a propósito de los colores de la luz, que Newton comienza a madurar su oposición a las hipótesis como recurso explicativo fácil que culminará en el conocido *hypotheses non fingo* del Escolio General de los Principia. Con relación al problema de los colores la posición de Newton se expresa con bastante claridad en una carta a F. Pardies: “...si la posibilidad de las hipótesis debe ser la prueba de la verdad y realidad de las cosas, no veo cómo la certeza pueda ser lograda en cualquier ciencia, ya que numerosas hipótesis pueden ser construidas que parecerán poder superar las nuevas dificultades”. Véase “Newton’s reply to Pardies’ second letter” en *Isaac Newton’s Papers and Letters...*, Op.cit. p. 106.

⁸⁵ Por ejemplo, en un segundo artículo sobre la luz y los colores Newton dice: “[he mostrado que] todas las producciones y apariencias de los colores en el mundo se derivan, no de algún cambio físico causado en la luz por refracción o reflexión, sino solamente de las varias mezclas o separaciones de rayos, en virtud de sus diferentes refrangibilidades o reflexividades. Y en este respecto es que la ciencia de los colores se torna en una especulación más propia para matemáticos que para naturalistas”. Véase *Newton’s second paper on light and colours*” en *Isaac Newton’s Papers and Letters...*, Op.cit. p 225. La traducción es nuestra.

luz. En segundo lugar, procurar que su forma lógica sea la de los sistemas matemáticos, es decir, que se fundamente sobre un cuerpo de premisas bien establecidas, ya sea teórica o experimentalmente, que se toman como axiomas y a partir de las cuales es posible deducir todo un cuerpo de consecuencias, tanto en el terreno teórico como experimental.

Para resolver la contradicción anteriormente enunciada entre lo observado y lo esperado, Newton propone finalmente en su artículo una serie de premisas que constituyen una teoría nueva sobre la formación de los colores en el experimento del prisma. En primer lugar, introduce un concepto nuevo: el rayo, entidad abstracta, que podría, sin embargo, tener un referente material. El rayo se asocia unívocamente al color, de tal manera que a cada color en un haz de luz le corresponde un rayo distinto. Sobre la base de este concepto, el haz de luz blanca que penetra en el prisma ya no se piensa como una entidad simple sino como un agregado de rayos de todos los colores posibles. El efecto de blancura que se observa al mirar el haz sería producido por la combinación de todos los colores. Además de este nuevo concepto, para explicar el alargamiento del espectro, Newton se ve obligado a modificar la ley de la refracción. Antes de Newton, la refrangibilidad —lo que hoy llamamos el índice de refracción— se pensaba como una propiedad característica de cada material. Newton hará depender esta propiedad también del color, de tal manera que los rayos de distintos colores contenidos en el haz de luz blanca inciden sobre el prisma, sufrirán, en virtud de sus distintas refrangibilidades, desviaciones diferentes. El “rayo” ha sido introducido como un concepto matemático que guarda una relación biunívoca con el color y con la refrangibilidad.

Sobre las bases de estas premisas claves, Newton puede explicar la forma oblonga del espectro, sin abandonar los requisitos impuestos por la ley de la refracción. El haz incidente contiene rayos de todos los colores. Cada uno de ellos se refractará, al atravesar el prisma, obedeciendo rigurosamente la ley de la refracción, es decir, cada rayo producirá una mancha circular en la pared. Pero como las refrangibilidades son distintas para cada rayo, los círculos correspondientes a los distintos colores se encontrarán desplazados unos con respecto a los otros. De ahí la forma oblonga del espectro. La teoría no solamente ha logrado explicar el efecto de alargamiento del espectro sino que, además, nos revela algo oculto detrás del fenómeno: la estructura del espectro sobre la pared consiste en una superposición de círculos de distintos colores, desplazados unos con respecto a otros. En otras palabras, la teoría, desde ya, ha logrado predecir algo que no se conocía de antemano.

Pero las predicciones deben poder ponerse a prueba mediante el experimento. La teoría, en efecto, abre la posibilidad de diseñar experimentos y de prever de antemano los resultados para luego contrastarlos en la realización práctica. Newton, en su artículo, propone dos experimentos importantes para contrastar la teoría. El primero de ellos, llamado *experimentum crucis* —experimento crucial— pone a prueba las premisas centrales: la asociación biunívoca entre rayo, color y refrangibilidad. La luz solar es inicialmente dispersada por un prisma; la separación que se produce de los rayos permite seleccionar uno de ellos por medio de un sistema de dos orificios alineados; el rayo así seleccionado es sometido a una nueva refracción en un segundo prisma; se comprueba entonces, como es previsible desde la teoría, que el color de rayo no cambia al atravesar el segundo prisma y que la mancha sobre la pared es circular. Puede repetirse el ensayo seleccionando rayos de otros colores y comprobando que, para cada uno de ellos, las manchas circulares sobre la pared ocupan posiciones distintas, en razón de las diferentes refrangibilidades. Será posible incluso —aunque Newton no lo hace en el artículo— calcular a partir de medidas de ángulos la refrangibilidad para cada color.

Hay un aspecto interesante en la presentación que Newton hace de este experimento en su artículo. El texto de Newton se estructura según una retórica cuidadosa de convencimiento. Como parte de esta retórica, el *experimentum crucis* es descrito antes de introducir las premisas teóricas de tal manera que estas últimas son presentadas como una conclusión necesaria del experimento mismo.

El segundo experimento que Newton presenta en su artículo busca corroborar su propuesta de considerar la luz blanca como una mezcla de rayos de muchos colores. Para ello, se somete inicialmente la luz al proceso de dispersión por medio de un prisma y luego, con ayuda de una lente, se hacen converger los colores, de tal manera que en una pequeña región todos ellos se mezclan. Si se coloca en ese punto una hoja de papel, se observa, como era de esperarse, una mancha de color blanco. Se pueden suprimir, interponiendo obstáculos, algunos de los rayos de colores diversos y se observa cómo, al hacer esta operación, el color blanco de la mancha en el lugar de la convergencia de los rayos cambia.

4. *A modo de conclusión: los elementos de la recontextualización y el papel de la historia.*

Además de su interés intrínseco como documento fundamental en la historia de la física, el trabajo original de Newton sobre la óptica de los colores permitió, en la experiencia pedagógica que estamos examinando, poner en evidencia problemas actuales relacionados con la producción del conocimiento científico. En esto consistió principalmente la recontextualización del trabajo de Newton que se llevó a cabo en el seminario.

Queremos destacar, enumerándolos, algunos de los problemas más importantes sobre el conocimiento científico que el trabajo que Newton permitió poner de relieve:

1. La influencia de factores sociales y culturales en la formulación de los problemas que originan la investigación. En el caso que nos ocupa, la influencia sobre el pensamiento de Newton de dos concepciones en debate —representadas incluso institucionalmente en la Universidad y en la Royal Society— sobre el conocimiento de la naturaleza. En particular, la reformulación radical del problema de la óptica de los colores que Newton logra hacer en razón de su dominio de una tradición matemática y de su concepción sobre el conocimiento de la física como articulación entre observación empírica, sistema matemático y experimento.
2. Problemas epistemológicos de método como son: el carácter relativo de la observación de los fenómenos y el papel de ésta en la construcción del conocimiento; el significado del experimento, sus diferencias y relaciones con la observación, su función en la investigación; el significado del conocimiento, en la física, bajo la forma de sistema matemático y la articulación de este último con la observación y el experimento; el problema de la verdad y de la certeza en el conocimiento científico.
3. La importancia de un sistema teórico en la apertura de un campo de investigación, es decir, en la formulación de nuevas preguntas y problemas, en la decantación de formas válidas o legítimas de explicación, de argumentación y de validación, en el diseño de nuevos experimentos.
4. El papel de la retórica en la ciencia. El artículo de Newton, como todo artículo científico, es una reconstrucción *a posteriori* de un largo y tortuoso proceso de investigación. Esta reconstrucción aporta una sistematicidad adicional que no estuvo presente en el proceso investigativo original, permite establecer con mayor claridad jerarquizaciones en los conceptos y en los principios y presenta un método ideal de investigación: el que debió haberse seguido si desde el comienzo se

hubiese tenido claridad y que tan sólo al final se reconoce. Pero, también, la presentación se orienta por una retórica de convencimiento que al tratar de enlazar los elementos centrales de la investigación en una lógica inexpugnable, falsea algunos de ellos. Es el caso, ya examinado, del valor que Newton le confiere al *experimentum crucis*.

El estudio de algunos textos originales en la enseñanza de la Física permite, entre otras cosas, reconocer los cambios operados entre los problemas y los conceptos, tal como fueron originalmente formulados y tal como aparecen en los libros de texto. Es decir, el recurso a la historia de las ciencias facilita reconocer elementos centrales de los procesos de recontextualización que se han llevado a cabo.

Es así como al examinar el tratamiento de la dispersión de la luz por el prisma en diversos libros de texto se detectan diferencias notables con relación al trabajo de Newton. En primer lugar, el problema original que da lugar a la investigación —la contradicción que para Newton entraña *la forma* observada del espectro— no aparece en los libros de texto. Tampoco se problematiza en ellos el hecho de que la luz blanca sea mezcla de muchos colores. Esta es una información que no se somete a discusión. En algunos libros universitarios, sin embargo, se relaciona el carácter multicromático de la luz blanca con los procesos de radiación en sólidos y en plasmas (radiación de cuerpo negro, por ejemplo), es decir, se opera una articulación nueva, que no era posible en los tiempos de Newton, entre el carácter de la luz blanca y conocimientos provenientes de otros campos de la física.

En segundo lugar, en los textos se da usualmente por sentado que la luz es una onda electromagnética y que la frecuencia de esa onda se relaciona directamente con el color. La frecuencia es una variable continua. Newton introduce el concepto de “rayo” como soporte sustancial del color. Sin embargo, aunque admite la existencia de rayos, tanto para los colores principales como para todas sus gradaciones, no se compromete explícitamente con una tesis de continuidad en esas gradaciones. Probablemente, aunque puedan ser infinitos, para Newton, los rayos son discretos y, tal vez, se asocian con características específicas, discretas, de las partículas de luz que los componen.

En tercer lugar, es usual en los libros de texto de la escuela secundaria y primeros años de universidad dar por sentada la dependencia del índice de refracción con la frecuencia de la luz. Este hecho, como se ha visto, constituyó un aporte problemático y original que Newton se vio obligado a introducir para resolver la contradicción originalmente planteada, sin descartar la ley de la refracción. En textos más avanzados, se construyen modelos de propagación de ondas electromagnéticas en cuerpos sólidos que permiten prever la dependencia del índice de refracción con la frecuencia.

Como puede verse, problemas que, a mediados del siglo XVII, eran objeto de debate y se constituyeron en el origen de la investigación que nos ocupa, hoy no se mencionan en los libros de texto. Por el contrario, conocimientos problemáticos, aún en vías de consolidación en aquel momento, se presentan hoy en los textos como verdades aceptadas que no requieren siquiera análisis detallado. El recurso a la historia de las ciencias puede relativizar las formulaciones taxativas de los libros de texto, puede mostrar el origen de los problemas y puede ayudar a concebir la ciencia como una empresa que permanentemente problematiza, reformula y reorganiza sus hallazgos.