

El disco de Newton en el *Traité de physique* de Ganot y el discurso de la objetividad mecánica. La difusión de un patrón demostrativo entre 1900 y 1936 en la enseñanza secundaria y universitaria

Newton's disc in Ganot's *Traité de physique* and the discourse of the mechanical objectivity. The diffusion of a demonstrative pattern between 1900 and 1936 in secondary and university education.

Víctor Guijarro Mora*
Universidad Rey Juan Carlos
ORCID ID: 0000-0002-8570-5119

Leonor González de la Lastra**
IES Lope de Vega
ORCID ID: 0000-0002-7644-1545

Recibido: 31/1/2023
Aceptado: 10/5/2023

DOI: 10.20318/cian.2023.7820

Resumen: El “disco de Newton” se transformó por medio del *Traité élémentaire de physique* de Adolphe Ganot, publicado por primera vez en 1851, en la demostración estándar y completa de la recomposición de la luz blanca, cerrándose así el círculo argumen-

Abstract: “Newton’s disc” was transformed by Adolphe Ganot’s *Traité élémentaire de physique*, first published in 1851, into the standard and complete demonstration of the recomposition of white light. This artifice closed the argumentative circle that had be-

*victor.guijarro@urjc.es

**leonor.gonzalez@educa.madrid.org

tativo iniciado con el experimento del prisma sobre su descomposición. Pero los resultados no eran concluyentes: más que el color blanco se veían tonos agrisados y, además, ¿eran los colores los que se mezclaban o eran nuestras sensaciones? En este estudio, atendiendo a los diferentes elementos que componen la demostración (los textuales, iconográficos y materiales) se reconstruye el relato que mantuvo protegida la comprobación de las interpretaciones personales y subjetivas. De esta manera se obtuvo un discurso convincente por su sencillez y reproducibilidad, que se mantuvo en el primer tercio del siglo XX en centros españoles de educación secundaria y universitaria a pesar de que su valor probatorio real fuera dudoso.

Palabras clave: Disco de Newton, Adolphe Ganot, enseñanza secundaria, enseñanza universitaria, instrumentos educativos, objetividad mecánica y subjetividad.

gun with the prism experiment regarding its decomposition. But the results were not conclusive: greyish tones were seen where the white ones were expected, and a question was raised regularly: was the final result a consequence of the colors mixing themselves or of our sensations? In this study, taking into account the different elements that make up the demonstration (the textual, the iconographic, and particularly, the material) the authors reconstruct the narrative that kept the verification away from personal and subjective interpretations. In this way, a convincing discourse was obtained due to its simplicity and reproducibility, which was replicated in the first third of the 20th century in Spanish secondary and university education centres despite the fact that it didn't have a consistent probative value.

Key words: Newton disc, Adolphe Ganot, secondary education, university education, educational instruments, mechanical objectivity and subjectivity.

*Introducción*¹

Dice Benoît Turquety² que la demostración de uno de los experimentos más representativos de Newton, el de la recomposición de la luz blanca, generaba un particular desconcierto porque fluctuaba entre dos dimensiones, la objetiva y la subjetiva; entre la blancura y la sensación de blanco, y entre la mezcla de los rayos luminosos y las impresiones que se recibían. ¿A qué campo pertenecía entonces la teoría de los colores, a la física, a la fisiología, a la psicología o al arte? En el estudio se comprobará cómo estas ambigüedades se reprodujeron en los artefactos empleados en las operaciones mecánicas demostrativas, divulgativas y analíticas, construyéndose en torno a ellos diferentes significados de la objetividad y la subjetividad.

¹ Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación "Desafíos educativos y científicos de la Segunda República: internacionalización, popularización e innovación en universidades e institutos" (Convocatoria 2018 de Proyectos de I+D de Generación de Conocimiento, PGC2018-097391-B-I00) (2018-2022). Agradecemos a Leoncio López-Ocón Cabrera y Álvaro Ribagorda su confianza en esta aportación y a los evaluadores anónimos sus valiosas sugerencias.

² Benoît Turquety, "Couleur/mouvement : trois dispositifs pour une histoire épistémologique dans la longue durée", 1895, 87 (2019): 76.

Como mantienen Lorraine Daston y Peter Galison,³ la objetividad mecánica aparece asociada a finales del siglo XIX a la capacidad de los dispositivos para llevar a cabo una repetición ilimitada, infatigable, precisa e impersonal de un fenómeno. De esta forma se manifestaba como un antídoto contra el juicio, la voluntad, la interpretación y el testimonio de los sentidos; es decir, se mantenía a salvo de la subjetividad.

Centrándonos ahora en un artefacto en particular, el “disco de Newton”, comprobaremos que a mediados del siglo XIX este objeto se transformó en el *Traité élémentaire de physique* (1851), el manual de física elaborado por el profesor francés Adolphe Ganot, en la demostración estándar de los espacios educativos y divulgativos para la obtención de la luz blanca a partir de la mezcla de los siete colores del espectro. De esta forma se clausuraba el círculo argumentativo que había comenzado con el famoso experimento realizado por Newton de la descomposición de la luz con el prisma.

El problema es que había al menos dos elementos en la demostración incompatibles con los estándares de objetividad, según la definición anterior: primero, el testimonio de los sentidos desempeñaba un papel fundamental, es decir, el público asistente tenía que confirmar que efectivamente observaba el resultado previsto; segundo, la repetición mecánica e invariable de un resultado unívoco –un estándar de la objetividad también para Davis Baird⁴– no estaba asegurada: los manuales mostraban, en particular los que parecían reflejar un conocimiento más directo de la experiencia, que se obtenía al girar el disco una tonalidad completamente gris, grisácea o un blanco grisáceo, resultados en cualquier caso alejados del pretendido blanco prístino.

Parece entonces que la definición de Daston y Galison solo puede aplicarse a los artefactos completamente automatizados, con una intervención humana mínima. En las demostraciones del ámbito educativo, al menos en las que tenían que ver con el estudio de los colores, se aceptaban márgenes de incumplimiento de los efectos, que eran corregidos con comentarios cuyo fin era disciplinar las versiones personales y, por tanto, subjetivas.⁵ Aunque se veía un resultado, había que fingir que, en realidad, se veía otro. De esta

³ Lorraine Daston y Peter Galison, “The Image of Objectivity”, *Representations*, 40 (1992): 82-83.

⁴ Davis Baird, *Thing knowledge. A Philosophy of Scientific Instruments* (Berkeley: University of California Press, 2004), 12

⁵ Daston y Galison formulan en *Objectivity* la siguiente cuestión: “¿contra qué forma de subjetividad se plantea la objetividad mecánica?”, Lorraine Daston y Peter Galison, *Objectivity* (Nueva York: Zone Books, 2007), “Preface to the Paperback edition”.

manera el marco explicativo-operativo se pudo sostener en los programas de enseñanza de la ciencia, así como la autoridad de la demostración, durante al menos ochenta años, desde mediados del siglo XIX hasta la década de 1930, el último periodo que se examinará.

A continuación, a través de las evidencias textuales proporcionadas por los manuales y las muestras materiales (fondos conservados en centros educativos) se señalarán los elementos constitutivos de este patrón, que superó en popularidad a las otras pruebas ofrecidas sobre el mismo fenómeno, y su difusión en institutos de secundaria y centros universitarios hasta el año 1936. También se contemplarán, acompañando a la extensión del modelo demostrativo, los desafíos que presuntamente pudieron debilitarlo, así como los individuos y colectivos que favorecieron su consolidación.

El patrón demostrativo en la difusión de la ciencia y el estándar de la objetividad mecánica

Qué es una demostración científica material

Decía el psicólogo estructuralista Edward B. Titchener en un trabajo sobre los ejercicios prácticos planteados en las aulas que no había que confundir demostración con experimentación.⁶ La primera se relacionaba con una exposición cerrada, con unas condiciones iniciales y unos resultados en los que el público no participaba o no estaba comprometido; en la segunda, en cambio, sí se contemplaban las reacciones del auditorio, porque se les permitía que fabricaran sus propias conclusiones.

La demostración construida en torno al artefacto tenía, después de un amplio periodo de uso en las centurias mencionadas, unos propósitos definidos:

- contar con objetos manipulables, autónomos (la persona que los empleaba reducía su intervención a las operaciones básicas) y que permitieran reproducir de manera invariable un efecto;⁷
- crear un lenguaje preciso, que compitiera con los de otras disciplinas; de ahí el empleo del término “demostración”, porque realmente

⁶ Edward B. Titchener, “Class Experiments and Demonstration Apparatus”, *The American Journal of Psychology*, 14, 3/4 (1903): 176.

⁷ Baird, *Thing knowledge*, 12.

- se pensaba que la prueba ocular ofrecida proporcionaba un argumento consistente,⁸ y
- ofrecer instrucción y entretenimiento.⁹

La demostración estándar de la recomposición de la luz blanca

Cuando Ganot publicó el *Traité*, el estudio de los colores conocía ya una larga trayectoria de aportaciones y controversias. Solo tomando como referencia más antigua los trabajos de Newton, la difusión de sus resultados había generado tanto entusiasmo como confusión y polémica. La cuestión básica que estaba en el centro de los debates, en los que participaban artistas y científicos, era cuáles eran los colores básicos, irreductibles, con los que se podían conseguir los demás. Dice Philip Ball en *La invención del color* que “Quizás podamos perdonarle a Newton un poco de vaguedad en lo que respecta a cómo vemos los colores, dados sus grandes logros en explicar cómo se generan. Pero su detractor, Goethe, tenía razón al afirmar que el color no sólo depende de la luz. También está cómo lo percibimos, y esta cuestión es la más engañosa de todas”.¹⁰

Sin embargo, la aportación de Ganot no pretendía resolver estos enigmas; más bien se ubicaba en el orden comunicativo de los contenidos científicos y en el de la configuración de un mensaje eficaz para transmitir de forma masiva conocimientos ajustados a los planes educativos.

El “disco de Newton” se urdió en París a mediados del siglo XIX. En la capital francesa se dieron las condiciones para que una configuración demostrativa de la ciencia se consolidara y circulara más allá de las fronteras nacionales. El agente principal de este modelo expositivo fue el mencionado autor, Ganot, en colaboración con su red de contactos profesionales y comerciales.

Iconografía, discurso y difusión

Los estudios (principalmente los de Josep Simon¹¹) revelan, junto con la destacada presencia de los textos de Ganot en los círculos académicos y divul-

⁸ Thomas L. Hankins y Robert J. Silverman, *Instruments and the Imagination* (Princeton: Princeton University Press, 1995), 52-53.

⁹ Gerard L. E. Turner, “Recreational Science”, *Nineteenth-Century Scientific Instruments* (Londres: Sotheby’s Publication, 1983), 291-308; Baird, *Thing knowledge*, 21-22.

¹⁰ Philip Ball, *La invención del color* (Madrid: Turner, 2020), 50.

¹¹ Josep Simon, “La escritura como invención: la Física-texto de Adolphe Ganot y el género ciencia”, *Cultura Escrita y Sociedad*, 10 (2010): 81-106; Josep Simon, *Communicating Physics:*

gativos, la expansión de un determinado estilo comunicativo basado en la concisión, el uso de imágenes intercaladas en el texto y el empleo de técnicas de grabado que proporcionaban un mayor realismo a los objetos representados.

En el *Tratado* (en la 2ª edición española, de 1858)¹², después del apartado dedicado a la descomposición de la luz, Ganot contemplaba como un complemento necesario del argumentario las comprobaciones relativas a su recomposición, manteniendo así el orden expositivo que se seguía en los tratados de física anteriores. Aquí es donde se aludía a diversos artificios experimentales, ya descritos en esas obras, que “verificaban” los supuestos teóricos newtonianos. En total, eran cinco las demostraciones propuestas. Tres de ellas requerían la combinación de prismas, lentes y espejos; en las otras dos la representación precisaba dos aparatos, el de los siete espejos y el del “disco de Newton”.¹³ En cuanto al segundo de los objetos, esta era la primera vez que se mencionaba la experiencia con ese nombre y, además, la primera que incorporaba la imagen de un aparato para su realización.

Las tres primeras demostraciones, sin un artefacto específico asociado, se exponen con el estilo impersonal y sobrio aludido anteriormente. Se representa una figura esquemática de un rayo solar que, tras descomponerse en un prisma y atravesar, bien una lente convergente, bien un espejo cóncavo, bien un segundo prisma invertido, converge en un punto donde supuestamente se forma una imagen blanca. De esta manera se determinan los elementos básicos que con notoria simplicidad geométrica permiten hacer la comprobación con éxito. La sencillez y la brevedad son los componentes que aseguran la consistencia de la prueba y la veracidad del resultado.

En las que requieren un aparato, la imagen del artefacto diseñado para imprimir el movimiento rotatorio no se mostró hasta la cuarta edición del *Traité*.¹⁴ El complemento icónico no significó sin embargo una alteración del texto, que se mantiene invariable. La representación es pues un añadido retórico, si bien en el caso del artefacto de los siete espejos, calificado como una “jolie expérience”, se aprecia por el relato que se está tomando como

The Production, Circulation and Appropriation of Ganot's Textbooks in France and England, 1851-1887 (Londres: Pickering & Chatto, 2011), 58, 113, 117, 121 y 126.

¹² La primera edición en castellano se publicó en el año 1856 (Madrid: Carlos Bailly-Balliere) y fue traducida por José Monlau.

¹³ Adolphe Ganot, *Tratado elemental de física experimental y aplicada y de meteorología, con una numerosa colección de problemas adornado con 572 grabados en madera intercalados en el texto*, traducido al castellano por José Monlau (Madrid: Carlos Bailly -Bailliere, 1858. 2ª ed. española) [realizada a partir de la séptima de Ganot, de 1857], 350-352.

¹⁴ Ganot, Adolphe, *Traité élémentaire de physique expérimentale et appliquée et de météorologie: avec un recueil nombreux de problèmes* (París, 1855, 4ª ed), 404-405.

referencia un instrumento real, ya que se advierte sobre la conveniencia de mover los espejos adecuadamente y de realizar los ajustes pertinentes para que los haces reflejados se superpongan hasta lograr el resultado ya anticipado, sin márgenes para la incertidumbre.¹⁵

Los grabados realizados para los libros de Ganot eran una consecuencia de su estrecha colaboración con los fabricantes de instrumentos de París. En esas tiendas, entre almacén, taller, café y lugar de tertulia, podían observarse directamente los aparatos demostrativos.¹⁶ Si comparamos la imagen del disco de Newton reproducida en la obra de Ganot (véase la figura 2) con las anteriores ilustraciones de este objeto, por ejemplo, con la empleada en la obra de Claude Pouillet, *Éléments de physique expérimentale* (París, 1832) se verificarán los evidentes cambios iconográficos, ya que la representación en este último caso se reducía a una figura esquemática consistente en un círculo dividido en sectores, como puede apreciarse a continuación.¹⁷

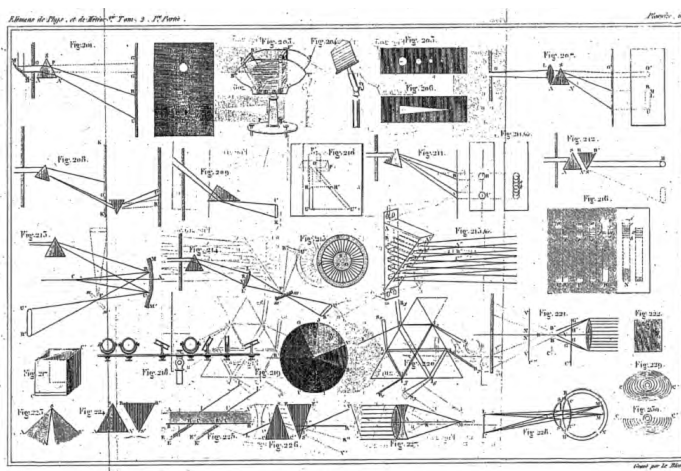


Figura 1. El disco de cartón, con un orificio central, al que se refiere la descripción se encuentra en el tercio inferior de la lámina; junto a él se puede observar el soporte con los siete espejos para realizar la experiencia de recomposición con este artefacto (Pouillet, *Éléments*, plancha 6^a del final de la obra).

¹⁵ La replicación de la experiencia pone de manifiesto la dificultad de conseguir el resultado; véase la reconstrucción de Paolo Brenni en <https://www.youtube.com/watch?v=1S4PNzJEdr4>.

¹⁶ Se ha contabilizado que en torno a 1860 había en la capital francesa 487 constructores de material científico; de ellos, 64 contaban con más de 10 trabajadores y 190 solo con uno, Paolo Brenni, "From Workshop to Factory: The Evolution of the Instrument-Making Industry, 1850-1930", en *The Oxford Handbook of the History of Physics*, eds. Jed Buchwald y Robert Fox (Oxford: Oxford University Press, 2013), 584-650, 614.

¹⁷ Claude Pouillet, *Éléments de physique expérimentale* (París, 1832), II, parte 1, 293, fig. 215.

En la figura que acompaña al texto del manual de Ganot se representa el aparato y una mano que sujeta su manivela, la cual acciona el mecanismo de polea-coorea que, a su vez, imprime un movimiento de rotación al disco. Este último, de 35 cm, montado en el soporte (véase la figura 2), se dispone en sentido vertical para facilitar la recepción de la luz procedente de los ventanales y para mostrar la experiencia de forma simultánea a toda la clase. Al encontrarse supuestamente en movimiento se representa de color blanco. Al lado del aparato hay un disco en estado de reposo, ofrecido como una ilustración independiente, que contiene las diferentes divisiones y sectores empleando una escala de grises, que ilustran los colores espectrales repetidos varias veces.¹⁸ En el texto que complementa a la imagen se indica que se transmite al disco “un rápido movimiento de rotación”, si bien no se especifica ni el sentido ni cuál debe ser la velocidad correcta.

Entre los fabricantes parisinos que recibieron las visitas de Ganot podían encontrarse Jean-Gabriel-Auguste Chevallier, Lerebours et Secretan, Pixii, Jean-Adrien Deleuil o Jean Lerebours. El primero vendía el soporte con los siete espejos en 1842; los otros disponen en sus catálogos del “disco de Newton” (muy probablemente son ellos quienes se inventan este nombre). Existía una coincidencia tácita de intereses, que se traducía en una acción de promoción mutua. Desde los manuales, la aportación podía ser notable. Como ha puesto de manifiesto Simon¹⁹, el *Traité* fue leído en todos los continentes por un amplio y variado número de personas; en 1880 alcanzaba ya la 18ª edición y en ese momento se habían vendido, después de 30 años, 204.000 ejemplares. Se realizaron traducciones al menos a doce idiomas y

Entre los fabricantes parisinos que recibieron las visitas de Ganot podían encontrarse Jean-Gabriel-Auguste Chevallier, Lerebours et Secretan, Pixii, Jean-Adrien Deleuil o Jean Lerebours. El primero vendía el soporte con los siete espejos en 1842; los otros disponen en sus catálogos del “disco de Newton” (muy probablemente son ellos quienes se inventan este nombre). Existía una coincidencia tácita de intereses, que se traducía en una acción de promoción mutua. Desde los manuales, la aportación podía ser notable. Como ha puesto de manifiesto Simon¹⁹, el *Traité* fue leído en todos los continentes por un amplio y variado número de personas; en 1880 alcanzaba ya la 18ª edición y en ese momento se habían vendido, después de 30 años, 204.000 ejemplares. Se realizaron traducciones al menos a doce idiomas y

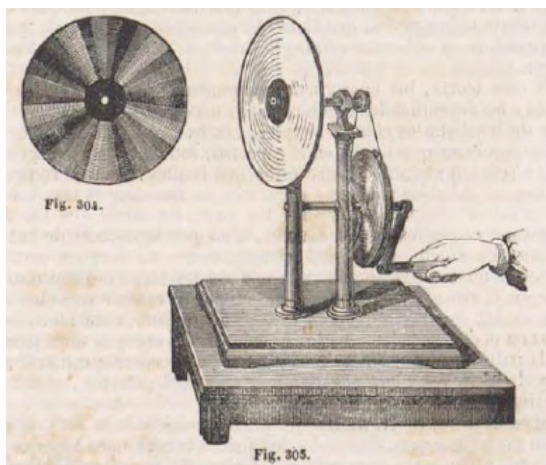


Figura 2. Adolphe Ganot, *Tratado elemental de física* (Madrid, 1858), 351.

¹⁸ Según el texto, cinco espectros sucesivos. Además, sin explicarse el motivo, el centro y los bordes están cubiertos, como se asegura, con papel negro.

¹⁹ Josep Simon, “Comunicando la física en la Europa del siglo XIX: el manual de Ganot y los oficios del libro», en *Synergia. Primer Encuentro de Jóvenes Investigadores en Historia de la Ciencia*, coord. Néstor Herrán et al. (Madrid: CSIC, 2007), 29-31.

todavía en la década de 1930, ya fallecido Ganot, se seguían publicando ediciones de la obra mencionada. La disposición de los aparatos estandarizados entre otros dispositivos de óptica geométrica, las explicaciones breves y funcionales ofrecidas en las descripciones y su amplia circulación aseguraron la consolidación de un modelo.²⁰ En los catálogos se asegura sin matices, como en el de Lerebours de 1845, que servían para obtener la luz blanca.²¹

En definitiva, con estos artefactos que podían adquirirse por entre 80 y 200 francos era posible generar efectos análogos y después clasificar las reacciones, reduciéndose así los márgenes de la imprevisión y la subjetividad. A lo largo del tiempo se acumularon diseños diversos de los círculos coloreados como resultado de las diversas novedades que se fueron produciendo.

Desafíos al modelo y subjetividad

“En la práctica, es difícil obtener un disco blanco”

En los textos dedicados a la recreación científica y a su difusión, desposeídos de los compromisos curriculares y conceptuales de los manuales, los desajustes derivados de la intervención del espectador eran objeto de una atención más amplia. En la conocida obra de Fulgence Marion *L'Optique* (perteneciente a la colección *Bibliothèque des merveilles*²²), en la segunda edición, se afirmaba lo siguiente sobre la demostración con el disco de Newton montado en el dispositivo que permitía el movimiento rápido de giro:

²⁰ Estos primeros catálogos no disponían de imágenes de gran parte de los aparatos, así que las figuras de los manuales como el de Ganot proporcionan un complemento publicitario destacado.

²¹ Literalmente en el catálogo se decía que el “Disque de Newton” servía “Pour la recombinaison de la lumière blanche par la rotation, mouvement à roues dentées, peinture très-soignée”, Lerebours et Secrétan, “Catalogue et prix d’Instruments d’optique, de physique, de mathématiques et de marine”, en *Catalogue générale de Hector Bossange* (París, 1845), 26.

²² En inglés se tradujo por *The Wonders of Optics* (Nueva York, 1870). En cualquier caso, en el interior del texto en francés el título que aparece es “Les merveilles de l’optique”. Dice Nieto-Galán sobre esta colección que “en 1865, el editor francés Louis Hachette (1800-1864) inició el proyecto de la llamada *Bibliothèque des merveilles*, que estaba constituida por pequeños volúmenes de dos francos que debían cubrir todos los aspectos de la naturaleza de forma asequible a todo tipo de lectores”. El primer número fue encargado precisamente al joven Camille Flammarion (1842-1925) sobre las maravillas celestes, Agustí Nieto-Galán, *Los públicos de la ciencia. Expertos y profanos a través de la historia* (Madrid: Marcial Pons, 2011), 65.

Cette recomposition n'est pas tout à fait de même nature que dans les expériences précédentes. En réalité, et très évidemment, *ce ne sont pas les couleurs elles-mêmes qui se combinent, mais bien les impressions successives que chacune d'elles forme sur la rétine.*²³ Nous avons vu que ces impressions restent environ un dixième de seconde. Il suffit donc que le mouvement du disque atteigne cette vitesse pour produire en nous les résultats énoncés. Dans la pratique, il est difficile d'obtenir un disque blanc. C'est ordinairement un disque gris.²⁴

Cuando dice “les expériences précédentes” se refiere a las experiencias contenidas habitualmente en los manuales: la de los siete espejos, la de los dos prismas (uno de ellos invertido) y la de la lente interpuesta entre el prisma y la pantalla.

Según otras crónicas de la demostración, se sigue insinuando el significativo componente subjetivo que las acompaña dado que, como se describe en la obra divulgativa de Amédée Guillemin, *The forces of nature* (edición inglesa de 1877),²⁵ a partir de una determinada velocidad de giro se observa la transición de la imagen coloreada al gris, después a un gris blanquecino y finalmente al supuesto blanco. La velocidad no era, pues, una variable estandarizada; por ello en los modelos de principios de siglo se introducen mecanismos automatizados.

En *The Art of Projection and Complete Magic Lantern Manual*, obra anónima de 1893, encontramos apuntes o precisiones similares, pero ahora en otra aplicación de la práctica demostrativa, la de los ejercicios de proyección con placas móviles. Allí, además de señalarse los resultados anticipados teóricamente, en los que siguiendo las prescripciones se obtiene la “luz blanca”, se añade:

[...] or as near white as possible, of course, a great deal depends upon the manner in which the disc is painted for this effect, if the proper portions and density of colour is not obtained, the illusion is far from satisfactory. If we cover up portions of the disc with V shape strips of black paper we get colour, by experimenting we find out which is the most effective colours to suppress for the best effects.²⁶

²³ La cursiva es nuestra.

²⁴ Fulgence Marion *L'Optique* (París: Hachette, 1869), 92. En esta obra, en la página 93, se reproduce la imagen del disco montado en la máquina que aparece en el tratado de Ganot.

²⁵ Amédée Guillemin, *The forces of nature: a popular introduction to the study of physical phenomena* (Londres [: Macmillan and Co], 1877), 311. También contiene la imagen del disco de Newton reproducida en la obra de Ganot.

²⁶ Anónimo [“by an expert”], *The Art of Projection and Complete Magic Lantern Manual* (Londres: E. A. Beckett, 1893), 154.

Fisiología y colores subjetivos

Desde la década de 1820 se había extendido el presupuesto de que los colores primarios se podían reducir de siete a tres. Además, los estudios de estos temas cambiaron de orientación: la investigación de la física de la luz prismática dio paso a las explicaciones del color basadas en elementos subjetivos detectables en la fisiología de los aparatos sensoriales.²⁷ Como había afirmado Marion (véase el texto anterior), no son los colores los que se combinan, sino las impresiones sucesivas producidas en la retina.²⁸ Pero esta interpretación significaba, primero, cuestionar que la recomposición fuera la comprobación simétrica de la descomposición prismática de la luz (puesto que no eran los rayos en sí los que se mezclaban de nuevo) y, segundo, introducir elementos subjetivos en la demostración.

Además, no era lo mismo combinar colores prismáticos que mezclar pigmentos. Joseph Plateau, inventor del fenaquistiscopio,²⁹ en la *Dissertation*,³⁰ empleando un círculo dividido en siete partes correspondientes a los colores espectrales, observó que presentaba una tonalidad grisácea, un efecto que le llama la atención. Le sirve como una aproximación previa a la realización de otras comprobaciones con discos provistos de otros colores, distribuidos siguiendo otros criterios, y girando a distintas velocidades. Consta que no se percibía lo mismo cuando se atendía al efecto de dos colores pintados en un disco en movimiento que cuando esos mismos pigmentos se encontraban mezclados,³¹ por ejemplo, con el pigmento amarillo (“gomme gutte”) y el

²⁷ Peter John Brownlee, “Color Theory and the Perception of Art”, *American Art*, 23, 2 (2009): 21-22; sobre este cambio de orientación, Jonathan Crary, *Techniques of the Observer: On Vision and Modernity in the Nineteenth Century* (Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1992), 68-92.

²⁸ Experimentos actuales prueban que el color gris, obtenido con el disco en rotación, no es una propiedad exclusiva de los colores del arcoíris, sino que es posible con otras combinaciones, y que “l’expérience du disque de Newton est avant tout une expérience sur le fonctionnement de notre système visuel, et qu’il est pour le moins hasardeux de vouloir en faire une expérience symétrique de la décomposition de la lumière blanche”, Julien Delahaye y Sylvie Zanier, “Comment interpréter l’expérience du disque de Newton?”, *Le Bup*, 115, no. 1039 (2021): 1124.

²⁹ Doctor en ciencias, en 1835 fue contratado por la Universidad de Ghent como profesor de física experimental, y posteriormente, como profesor ordinario, cargo que ocupó hasta su jubilación en 1872. Elaine Koppelman, “Plateau, Joseph Antoine Ferdinand”, en *Dictionary of Scientific Biography*, ed. Charles Coulston Gillispie (Nueva York: Scribner, 1981, vols. 11-12), 21-22.

³⁰ Joseph Plateau, *Dissertation sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière sur l’organe de la vue* (Lieja, 1829), 26.

³¹ Una distinción que Newton no había advertido.

azul de Prusia se obtenía verde, mientras que las mismas tinturas en el disco girando a una cierta velocidad producían la sensación de gris.³²

Basándose en experimentos realizados por Plateau, Hermann von Helmholtz ofreció en 1852 (el tiempo en que comenzaban a conocerse los textos de Ganot) una explicación sobre los últimos fenómenos mencionados, que estaban generando confusión desde los tiempos de Newton. El científico alemán aseguraba que la mezcla de pigmentos (realizada por los artistas, por ejemplo) generaba un único color, cuyo estímulo llegaba hasta nuestra retina; en cambio en el caso de la composición de diferentes tipos de luz (mezcla aditiva, para cuyo estudio estaba especialmente indicado el disco giratorio) se trataba de diferentes estímulos que llegan de forma separada al ojo, y su fusión tenía lugar en el órgano de la visión. Son fenómenos que obedecían a leyes diferentes: la mezcla de pigmentos era física y la composición de luces era fisiológica, es decir, era una sensación, que incluso podía generarse sin que hubiera un estímulo creado por un objeto externo.³³ Estos trabajos promovieron una tecnología, la de composición de colores, que fue muy popular en la segunda mitad del siglo XIX.³⁴ Pero su aplicación no se extendió al análisis espectral, sino a la psicofísica.

Blindaje y proyección de un patrón

Inconsistencias salvables: aportaciones a la construcción de un patrón

La demostración de la recomposición de la luz blanca pertenecía, no obstante, al terreno de la física, y dentro de ella había que mantener una apariencia verosímil de objetividad.

Ganot había incluido en su *Tratado* una llamativa mención a las teorías de David Brewster –inventor del caleidoscopio–, quien en contra de las tesis de Newton reducía los colores fundamentales a tres. Pero añadía que sus principios no eran comúnmente aceptados, con el fin de despejar las dudas que pudieran surgir y de mostrar su confianza en las doctrinas del autor de la *Óptica*. En las ediciones del *Tratado* posteriores a su fallecimiento, sin embargo, estas referencias se eliminaron.

³² Plateau, *Dissertation*, 27.

³³ M. A. Rosenstiehl, *Traité de la couleur au point de vue physique, physiologique et esthétique*, (París, 1913), 3-4.

³⁴ Giulio Peruzzi y Valentina Roberti, “The Color Top and the Distinction Between Additive and Subtractive Color Mixing”, *IEEE Antennas Propag. Mag.* 61, 5 (2019): 143 -144.

En cualquier caso, Ganot, que había estado poniendo en duda esa teoría, ignoraba también que la elección de los siete colores, y su representación en un círculo, estaba basada en criterios místicos-musicales.³⁵ Pero no era la única muestra de la distancia que su manual y su modelo explicativo-operativo mantenía con las evidencias planteadas por la comunidad de científicos y divulgadores. Ya se han anticipado algunas. El aparato que se había mantenido como la demostración principal de la síntesis lumínica no era capaz de proporcionar por la vía práctica una prueba que no fuera, en el mejor de los casos y con la velocidad adecuada, el contumaz color agrisado³⁶. Pero la imagen obtenida –se aseguraba– era (o debía ser) realmente blanca; eso era algo inquestionable, y solo la diferencia entre los pigmentos añadidos manualmente en el disco y los colores espectrales reales, así como el efecto de los materiales empleados en la fabricación del disco, la velocidad de giro o la imposibilidad de que los colores se mezclasen completamente³⁷ era lo que explicaba las discrepancias con los resultados previstos. Recordemos que la demostración se presentaba a continuación de otras composiciones teóricas (combinación de dos prismas, invertidos uno con respecto al otro) con los que sí se lograba supuestamente el color blanco.³⁸ Entonces, la atribución de los desacuerdos a la incapacidad humana para imitar la naturaleza pretendía mantener intacta la objetividad mecánica. Estas eran las ventajas de presentar la demostración como un ejemplo ilustrativo y no como un experimento decisivo. Siempre se podría alegar que se trataba de una mera aproximación, desligándose así de las demandas de la precisión experimental y de la automatización completa.

En realidad, los ensayos y experimentos con discos coloreados llevaban produciendo confusión desde la Ilustración, ya que no se conseguía com-

³⁵ Rosenstiehl, *Traité de la couleur*, 8 y Patricia Fara, “Newton shows the light: a commentary on Newton (1672) «A letter . . . containing his new theory about light and colours...»”. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 373 (2015), 6 y 9.

³⁶ Precisamente la obtención del color gris es una prueba de que la mezcla no es aditiva, en contra de lo expuesto en numerosos libros de texto, Danielle de Oliveira y Robert Hirschler, “Light and colour in the classroom -demonstrations from physics to the interaction of colours”, en *Interaction Of Colour & Light In The Arts and Science, Midterm Meeting of the International Color Association*, Zurich, Switzerland (7-10 June 2011). Conference Proceedings, eds. Verena M. Schindler y Stephan Cuber (Zurich : pro/colore, 2011), 169-172.

³⁷ John Charles Buckmaster, *The Elements of Light, Acoustics and Heat* (Londres, 1871), 80.

³⁸ Tampoco aquí se advertía que las demostraciones con el disco no eran del mismo tipo que las realizadas con el aparato de los siete espejos o con el sistema de dos prismas invertidos (con los que no es posible tampoco la obtención de la luz blanca). En la demostración con el disco, la composición se producía en la retina por la persistencia de las imágenes; en las otras dos, la composición se producía no por el movimiento, sino supuestamente por la suma de los rayos que producen un estímulo único (no varios como en el caso anterior).

probar los fenómenos previstos teóricamente³⁹ y los principios de su funcionamiento aún no se dominaban.

Así que para mantener la credibilidad del procedimiento se requería: 1) promover un sistema mecánico, repetitivo y sencillo, con una mínima intervención manual, solo dedicada a imprimir una velocidad de giro que se multiplicaba por la doble polea; 2) la reproducción colectiva de una experiencia, enmarcada en una exposición argumentativa del análisis-síntesis de la luz; 3) la división del disco en siete colores o un múltiplo indicando que los sectores guardaban ciertas proporciones entre ellos; 4) la presentación de un modelo elaborado en serie por los fabricantes, y 5) añadir en el texto apuntes correctores.

Esto garantizaba también que la propuesta se mantuviera alejada de los textos dedicados al entretenimiento. Ganot ya había recibido desde la Académie des Sciences de París algún reproche por considerarse su obra representativa de la *physique amusante*.⁴⁰ Es muy probable que el profesor francés estuviera muy interesado en mantener solo un calculado componente emotivo en el diseño de la demostración, representado por el uso de discos de 30 a 35 cm de diámetro pintados con vistosos colores sometidos a un rápido movimiento de giro. Su contextualización en el proceso demostrativo que comprendía los elementos mencionados evitaba que fuera confundida con un acto de prestidigitación óptica o de ilusionismo.

Proyección en institutos y universidades: mantener la ortodoxia, con alguna excepción

Un rasgo notorio de los tres primeros decenios del siglo XX era la estrecha relación entre personas, conocimientos y material científico-demostrativo pertenecientes a los dominios de la enseñanza secundaria y universitaria. En particular, los estudios de las adquisiciones de instrumentación científica demuestran la semejanza, cuando no la completa coincidencia, entre los objetos disponibles para las experiencias planteadas en esas dos etapas educativas;⁴¹ en los títulos de algunas obras se especifica su utilidad en

³⁹ Rolf G. Kuehni, "A Brief History of Disk Color Mixture", *Color Research and Application*, 35, 2 (2010): 110.

⁴⁰ Simon, "La escritura como invención", 94.

⁴¹ Leonor González de la Lastra, Rosa M. Martín Latorre et al., *Instrumentos científicos para la enseñanza de la Física* (Madrid: Ministerio de Educación y Cultura, 2000), 33-36.

ambas,⁴² y en estudios sobre los propios docentes se señala que cerca de un 52% de los catedráticos de instituto trabajó en los dos niveles.⁴³

La presencia del disco de colores según la versión de Newton-Ganot fue muy amplia en manuales y centros de enseñanza. No llegó a ser unánime por algunas ausencias detectadas especialmente en los textos destinados a la educación superior, en los que se utilizan, como se verá en la tabla que se muestra más adelante, otras experiencias. Entre los autores que sí emplearon la demostración estándar aquí examinada, unos se mantienen fieles a la tradición (reproduciendo las propias imágenes de la obra de Ganot) y otros, aunque optan por la línea ortodoxa, añaden notas que muestran novedades relativas a ensayos sobre la visión de los colores realizados con discos en movimiento. En la edición de 1920 del *Curso elemental de física moderna*, escrito por Ramón Pedro Marcolaín San Juan⁴⁴, catedrático de instituto y profesor de Ampliación de la Física de la Universidad de Granada y de Química General en la de Oviedo⁴⁵, el autor señala en el apartado “Cromática” un ejemplo significativo (la peonza de Benham⁴⁶) de cómo el manejo de los discos en su versión más simple ponía de manifiesto fenómenos que escapaban a las regularidades de las demostraciones convencionales. Pero el propósito de Marcolaín es exclusivamente informativo y no pretende alterar, mencionan-

⁴² Por ejemplo, en la obra de José Soler y Sánchez, *Curso elemental de física propio para el estudio de esta asignatura en las universidades é institutos de 2.ª enseñanza* (Alicante, 1900).

⁴³ Esta movilidad era habitual ya en el siglo XIX, como se pone de manifiesto en el trabajo de Antonio Moreno, “La Física en los manuales escolares: un medio resistente a la renovación (1845-1900)”, *Historia de la Educación*, 19 (2000): 51-93; sobre el siglo XX, José Damián López Martínez, “La enseñanza de la Física y la Química en la educación secundaria en el primer tercio del siglo XX en España” (tesis doctoral, Universidad de Murcia, 1999), 452-453 y 933-934 (para el porcentaje citado) y 317 (para uso común de material): disponible en <http://hdl.handle.net/11162/88962>.

⁴⁴ Ramón Pedro Marcolaín San Juan, *Curso elemental de física moderna* (Zaragoza: “La Académica”, 1920), 848. Sobre esta obra se afirmaba: “Es a propósito para universidades y escuelas especiales”, *La Energía eléctrica*, no. 21 (10 de noviembre, 1924): 275.

⁴⁵ Moreno, “La Física”, 84.

⁴⁶ Diseñada por el periodista y científico aficionado Charles E. Benham, fue mostrada por primera vez en un artículo publicado en *Nature* (“Artificial Spectrum Top”, 1898). Contenía en una mitad del disco arcos concéntricos de color negro sobre un fondo blanco; la otra mitad estaba pintada enteramente de negro. Al girar en contra de las agujas del reloj, cada grupo de arcos se veía, desde el exterior al interior, de un color: rojizo, verdoso y azul pálido. Cuando giraba a favor, la secuencia se invertía. Los científicos estaban perplejos porque lo que se esperaba dadas las condiciones cromáticas era un tono grisáceo, Christoph von Campenhausen y Juergen Schramme, “100 Years of Benham’s Top in Colour Science”, *Perception* 24, no. 6 (1995): 695. Fue objeto de diferentes estudios psicofisiológicos y quedó asociado con las ilusiones ópticas y con la producción de colores subjetivos.

do fenómenos paradójicos, los estándares de los procedimientos objetivos ya establecidos.

En 1934 se publicó la 11ª edición de los *Elementos de física* de Tomás Escriche y Mieg, físico y filólogo, que en el momento de su jubilación era catedrático del Instituto General y Técnico de Barcelona.⁴⁷ Puede afirmarse que las ediciones de esta obra recorren todo el primer tercio del siglo XX, ya que la primera apareció en 1891.

Dentro de la teoría de la dispersión es donde Escriche expone los fenómenos que aquí nos ocupan. En los análisis de los espectros luminoso, calorífico y químico, y en particular en la “Reconstitución del haz incidente” comienza afirmando: “Es evidente que si la luz blanca se resuelve en colores por la dispersión, la concentración o reunión de todos los colores han de dar luz blanca”.⁴⁸ De esta forma, con un planteamiento apodíctico, se presentan los medios por los que se confirmará (o más bien ilustrará) una verdad ya anticipada. El dispositivo demostrativo se ajusta a las concepciones del profesor, para quien la ciencia debe seguir los procedimientos de la lógica deductiva y, por tanto, de los aparatos empleados en las aulas solo cabía esperar que facilitaran la comprensión de los principios ya admitidos.⁴⁹ A continuación, Escriche menciona las pruebas convencionales que figuran en el patrón objetivo de la demostración instructiva de la composición de la luz blanca, unas supuestas evidencias que no están acompañadas de explicaciones complementarias ni de imágenes. Se sobrentiende por tanto que todo transcurrirá sin imprevistos, pero en una de ellas, precisamente en la del “disco de Newton”, añade una aclaración, la que se empleaba tradicionalmente cuando el círculo no presentaba la tonalidad blanca: los colores de la comprobación no son artificiales ni “puros”, es decir, no son los que corresponden a los rayos del espectro. Aquí es donde en una nota a pie de página reclama la autoridad de Antonio Rave, catedrático de la Universidad de Barcelona, quien había realizado el experimento con las emisiones espectrales.

⁴⁷ Sobre Tomás Escriche, Ángel Zamoro, *D. Tomás Escriche y Mieg (1844-1935). Profesor de segunda enseñanza 1869-1918* (Badajoz: Diputación de Badajoz, 2015) y Juan Pablo Calero Delso, “Tomás Escriche y Mieg”, *Diccionario Biográfico de la Guadalajara Contemporánea*: disponible en <http://bioguada.blogspot.com/2013/11/tomas-escriche-y-mieg.html>.

⁴⁸ Tomás Escriche y Mieg, *Elementos de física* (Barcelona: Bosch, 1934), 548.

⁴⁹ Escriche había realizado dentro de esta orientación aportaciones novedosas al diseño de instrumental demostrativo, Víctor Guijarro, “La interacción personal con el objeto científico y la acción educativa: notas, máquinas dóciles y manuales (1885-1910)”, en *Aulas abiertas. Profesores viajeros y renovación de la enseñanza secundaria en los países ibéricos (1900-1936)*, eds. Leoncio López-Ocón; Víctor Guijarro Mora y Mario Pedrazuela Fuentes (Madrid: Dykinson, 2018), 113-136, 130.

Escriche demuestra así estar al corriente de las publicaciones de *Crónica Científica: Revista Internacional de Ciencias*, editada en la capital catalana. Allí, Rave había publicado en el año 1883 un artículo en la sección de demostraciones de cátedra en el que tras aclarar que era primordial señalar a los alumnos que la luz blanca no era el resultado de una combinación, como las que se estudian en química, sino simplemente de una superposición, sentencia que la mejor comprobación de esta verdad es la que se funda en la persistencia de la imagen en la retina. Para este cometido señala que el dispositivo más “cómodo” es el disco de Newton. Ahora bien, “Tiene el inconveniente de que operando con colores artificiales, que no son puros, ni por tanto de la misma naturaleza que los del espectro, de su superposición no puede resultar la luz blanca, sino un tinte agrisado”.⁵⁰

El término que nos interesa aquí es “cómodo”, porque su análisis puede revelarnos qué se pretendía conseguir con una demostración que se aceptaba como adecuada. Con el uso de este vocablo se indicaba que era un diseño útil, sencillo, accesible y práctico. Incluso se podía admitir que “cómodo” era sinónimo de agradable y placentero. De esta manera se completan las acepciones que ya se asociaban a la objetividad mecánica, es decir, como ya se mencionó al comienzo, las correspondientes a la precisión, la repetición infatigable y la impersonalidad. En los marcos educativos pues la objetividad y la robustez demostrativa estaba representada por una suma de los atributos que aquí se acaban de mencionar, que conforman el patrón de la demostración pedagógico-divulgativa y que, en consecuencia, difieren de las comprobaciones estrictamente científicas.

Centrándonos en los profesores universitarios, se ha observado de igual manera la pervivencia del diseño descrito en los textos elaborados para la enseñanza superior. Destaca aquí la obra *Tratado de Física general* de Ignacio González Martí (1860-1931) de 1919,⁵¹ con una nueva edición en 1925, donde se mencionan los elementos del patrón convencional mencionado. Catedrático de Física General de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central desde 1902, en 1918 elaboró el programa de la asignatura, cuya lección 65 contemplaba los fenómenos aquí analizados⁵²:

Lección 65. Cromática. Dispersión de la luz: espectro solar luminoso. Propiedades de los colores del espectro. Síntesis de la luz blanca. Colores complementarios. Teoría

⁵⁰ Antonio Rave, “Dispersión y recomposición de la luz”, *Crónica Científica: Revista internacional de Ciencias*, VI, 122 (1883): 5.

⁵¹ Ignacio González Martí, *Tratado de Física general* (Madrid, 1919, 3ª ed.).

⁵² Ignacio González Martí, *Programa de Física general* (Madrid, 1918), 23.

de la dispersión. Aberración de refrangibilidad en las lentes. Acromatismo. Prismas y lentes acromáticas.

La aproximación indirecta a la orientación que la enseñanza de esas materias tenía es posible con la consulta del manual de González Martí y con la verificación del material conservado para la realización de comprobaciones prácticas en el aula.⁵³ En el texto mencionado se afirmaba que la síntesis de la luz blanca se “prueba” también con el *disco de Newton* y que al imprimirle un rápido movimiento de giro “parece blanco ligeramente agrisado, por efecto de la superposición de los siete colores en la retina. El matiz agrisado se produce porque las materias colorantes usadas en pintura no son nunca idénticas a los colores del espectro solar”.⁵⁴ El interés de la inclusión de esta experiencia es doble: por un lado, por representar una confirmación del uso de procedimientos elementales (empleados en niveles básicos) en las enseñanzas científicas universitarias y, por el otro, porque contrasta abiertamente con los propósitos metodológicos que el autor señala en el prólogo, y que reproducimos a continuación:⁵⁵

La física es hoy una ciencia eminentemente cuantitativa, en la que las magnitudes se miden con aproximación verdaderamente asombrosa, y, si bien los métodos que para ello se emplean no son en su mayoría elementales, precisa, sin embargo, indicar su fundamento mejor que exponer vistosos experimentos, más recreativos que verdaderamente científicos. La elección, pues, de éstos constituye un nuevo escollo, que sólo se puede salvar estudiando detenidamente los experimentos, y prescindiendo de aquellos que, aun considerados como clásicos, no conduzcan a la demostración de los hechos tales como son en el estado actual de la Ciencia.

Pero la demostración con el disco de Newton no es “eminente cuantitativa”, lo cual no significa que pueda asociarse simplemente con un ensayo “vistoso”. Como aquí se está mostrando, es un diseño que pretende ajustarse a los patrones de la objetividad mecánica.

Theodor Wulf, profesor de la universidad jesuita de Valkenburg entre 1918 y 1935, escribió un manual de física que fue el texto estándar empleado en las universidades católicas.⁵⁶ En él se mantienen los presupuestos con-

⁵³ Entre el material científico conservado en la Facultad de Ciencias se encuentra el conocido como disco de Newton, cuyo periodo de adquisición se sitúa en torno a 1900, González y Martín, *Instrumentos*, 301-302.

⁵⁴ González Martí, *Tratado*, 625-627.

⁵⁵ González Martí, *Tratado*, viii.

⁵⁶ Thomas F. Glick, *Einstein y los españoles. Ciencia y sociedad en la España de entreguerras* (Madrid: CSIC, 2005), 360.

vencionales de la demostración; en la referencia a la misma se afirma que “Este curioso experimento es el fundamento de algunos dispositivos [del disco de Newton], cuyo concreto estudio es más propio de la fisiología de visión, que de un curso de Física”.⁵⁷

La alusión a la fisiología y el lenguaje empleado en este y otros textos examinados revela matices en la interpretación de los resultados. Decía M. A. Rosenstiehl que el vocablo “color” tenía tres significados diferentes: el de “materia colorante” (o “material colorable” o simplemente “color”), usado por los pintores y tintoreros; el de luz coloreada, usado por los físicos, para quienes el color es el resultado de la descomposición de la luz, y la tercera acepción, que asocia el color con una impresión o una sensación, y corresponde con quienes estudian las leyes de la visión desde la perspectiva fisiológica.⁵⁸ En las obras analizadas se ha comprobado que se mezcla la orientación física (el segundo significado) con la fisiológica (en el caso visto de Wulf). En cuanto a los términos empleados, encontramos expresiones como “parece blanco”, “curioso experimento” (Wulf⁵⁹), “sensación de luz blanca” (Ferrando⁶⁰)... que señalan dentro de las acepciones compartidas formas particulares de comprender tanto la demostración (determinante o anecdótica) como las experiencias que producía (dependientes de la física de los colores o de las impresiones que se generaban).

A continuación, mostramos los resultados de la revisión de diecinueve manuales de física, comprendidos entre los años 1920 a 1936⁶¹, empleados en España tanto en los planes universitarios como en los de secundaria. Como se verá en los registros de la tabla, el color que predomina en los resultados obtenidos es el blanco (el ideal); después, solo en determinados casos, se ve blanco agrisado y, en otros, gris blanquecino (más próximo a lo real).

⁵⁷ Incluye esta información en el apartado “Lo objetivo y lo subjetivo en la percepción luminosa”, Teodoro Wulf, *Tratado de Física* (Barcelona: Tipográfica católica Casals, 1929 [1ª ed. 1926]).

⁵⁸ Rosenstiehl, *Traité de la couleur*, 3.

⁵⁹ Wulf, *Tratado de Física*, 501.

⁶⁰ Fernando Ramón Ferrando, *Curso de Física* (Valencia, 1936, 3ª edición), 546. Este catedrático de Física de las universidades de Murcia y Valencia estaba casado con la lexicógrafa María Moliner.

⁶¹ Se incluyen obras anteriores a estos años cuando cuentan además con ediciones posteriores comprendidas en el intervalo mencionado.

Las obras y ediciones seleccionadas son, por un lado, siete obras altamente representativas de la enseñanza universitaria (elaboradas por catedráticos de universidad) y, por otro (aunque en ocasiones hay coincidencias), las conservadas en los fondos del Instituto Lope de Vega, centro creado en 1933, consistentes en textos característicos de la enseñanza secundaria.

En cuanto a la imagen empleada, cuando esta acompaña al texto, predomina la reproducción de la ilustración que se encuentra en el *Tratado* de Ganot.

Autor	Año de la obra, página	Nivel educativo	Ilustración	Descripción / explicación experiencia*	Color visible	Otras experiencias de recomposición
González Martí	1919, 625-627	Universidad y escuelas especiales y profesionales	Sí (la de Ganot)	Descripción y explicación estándar.	Blanco ligeramente agrisado	- Espejo cóncavo - Lente convergente
Marcolain	1920, 849	Universidad	No	Descripción y explicación estándar.	Ilusión de un disco blanco.	- Dos prismas invertidos. - Proyección del espectro en un espejo con movimiento oscilatorio.
Wulf	1929, 499-501	Universidad	No	Descripción y explicación estándar.	Blanco	- Reunir los colores espectrales, p.e. amarillo y azul (sensación de blanco).
Lamlá	1936, 298	Universidad	No	No figura. Formas alternativas de producir la luz blanca. Referencia a Goethe, rival de Newton en la teoría de los colores.		- Siete espejos - Espejo cóncavo - Lente convergente
Ferrando	1936, 546	Universidad	No	No figura. Formas alternativas de producir la luz blanca.		- Rayos de cada color incidiendo en las respectivas rendijas ante una cubeta con agua.
Sintes	1939, 621	Universidad y Escuela industrial	No	No		- Siete espejos
Bares y Lizón	1911, 236-237	Escuela Superior Universidad	Sí (la de Ganot)	Descripción y explicación estándar.	Impresión de blanco	- Dos prismas invertidos - Espejo cóncavo - Lente convergente - Siete espejos
Kleiber y Karsten	1918, 290	General	No	Descripción y explicación estándar. Se obtiene la luz blanca "mezclando una serie conveniente de colores"	Blanco	

* Cuando se indique "Descripción y explicación estándar" significa que se recoge una explicación típica en la que se señala que se pegan o colorean sectores con los diferentes colores del espectro en un disco y se hace girar a gran velocidad. Solo se añaden información si supone una modificación de esta descripción.

Autor	Año de la obra, página	Nivel educativo	Ilustración	Descripción / explicación experiencia	Color visible	Otras experiencias de recomposición
Kleiber y Estalella	1928, 253	Centros de enseñanza	Sí	Descripción y explicación estándar. Se obtiene la luz blanca "por mezcla óptica de todos los colores en convenientes proporciones"	Sensación de blanco	- Mezcla óptica de dos colores.
Monzón y Pérez	1928, 380	Bachillerato universitario	Sí (la de Ganot)	Descripción y explicación estándar.	Parece blanco	- Lente convergente - Dos prismas invertidos
Pérez y Monzón	1929, 415	Bachillerato universitario	Sí (la de Ganot)	Descripción y explicación estándar.	Parece blanco	- Lente convergente - Dos prismas invertidos
Moreno Alcañiz	1933, 368-369	Segunda enseñanza	No	Descripción y explicación estándar.	Sensación de luz blanca	- Dos prismas invertidos - Una lente
Olbés	1935, -	Bachillerato, Magisterio e I. Agrícola	No	No		
Bustanza	1935a -	1º Bachillerato	No	No		
Bustanza	1935b, 59	2º Bachillerato	Sí	Descripción y explicación estándar.	Blanco agrisado	
Bargalló	1935 -	4º Bachillerato	No	No		
Alvarado	1936, 6-7	3º Bachillerato (plan de 1934)"	No	Descripción y explicación estándar.	Gris blanquecino	
Andreu	1936, 531	Segunda enseñanza	No	Descripción y explicación estándar.	Se ve blanco	- Siete espejos - Dos prismas invertidos - Iluminando una cuartilla con luces roja, amarilla y azul
Mingarro y Aleixandre	1936, 252	Segunda enseñanza	No	Descripción y explicación estándar.	Parece blanco	- Lente convergente

Además de lo dicho en la introducción de la tabla, hay otros ejemplos en los que desde el manual se desafía el modelo establecido. Destaca la afirmación de Wulf, quien defendía que el estudio del “curioso experimento” realizado con el disco coloreado era más propio de la fisiología que de la física, o la de Ernst Lamlá, quien menciona una manera de conseguir la luz blanca que discute la interpretación del incontestable Newton y confirma las objeciones de Goethe, rival de las tesis del autor de la *Óptica*.⁶² Además, en el manual de Kleiber y Estalella se ha suprimido el nombre de Newton en la referencia al disco, hecho que obedece probablemente a que en la demostración del “experimento” o de la demostración se añaden otras combinaciones posibles que producen la “sensación de blanco”, además de la convencional: “Por mezcla óptica de dos colores convenientemente elegidos, como rojo + verde; amarillo + violado [...] Esas mezclas ópticas se consiguen por la rápida rotación de discos divididos en sectores diversamente colorados”.⁶³ Estas variaciones, que podían visualizarse por medio del mismo artefacto, representaban sin duda una novedad en las exposiciones de los manuales, limitadas a la exposición ajustada al patrón descrito.

Solamente en las obras dedicadas a la divulgación científica y a la psicología experimental, como se verá en este último caso, se contemplaron otros usos de los círculos coloreados.

Ilusiones, paradojas y psicología experimental

La suma de diferentes factores fue decisiva para que en el marco de las materias contempladas en la psicología experimental se tratara la variedad de efectos obtenidos con los discos coloreados y sus combinaciones. En los laboratorios de psicología de Leipzig promovidos por Wilhelm Wundt ya se plantearon en el estudio de los mecanismos de la visión los ensayos con los dispositivos mencionados. En las historias de la psicología e informes escritos a finales del siglo XIX se da cuenta de la expansión de estas prácticas que se produjo desde la ciudad alemana hacia otros centros académicos, entre ellos las universidades norteamericanas, en las que aparecen citadas entre los materiales que forman parte de los equipos de estudio y demostración

⁶² Ernst Lamlá, *Compendio de Física para médicos, farmacéuticos, químicos y naturalistas* (Barcelona: Labor, 1936, 2ª ed.), 298.

⁶³ Johann Klieber y José Estalella, *Compendio de física y química* (Barcelona, 1928), 253.

de los mecanismos de la visión las “ruedas de colores” y trompos.⁶⁴ Un autor particularmente destacado en la rama de la psicotecnia, e igualmente influido por los procedimientos de Wundt, Hugo Münsterberg, describía en un catálogo los diferentes instrumentos y aparatos que conformaban el laboratorio de la Universidad de Harvard, de los cuales en torno a quince artefactos estaban vinculados con las experiencias con los colores.⁶⁵

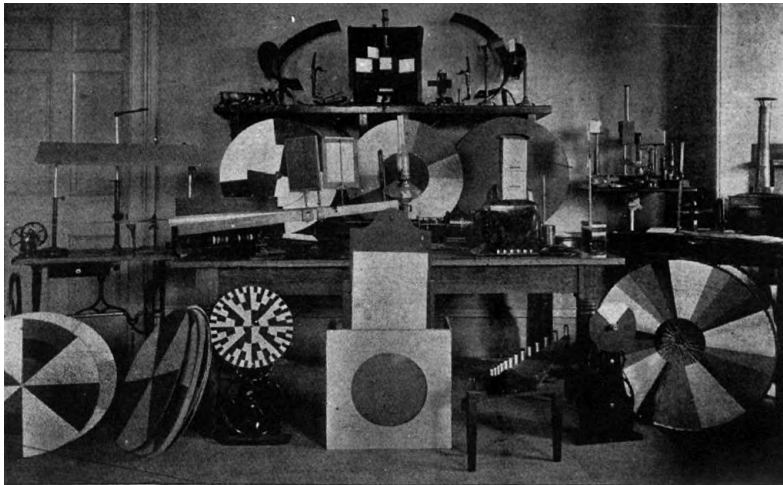


Figura 3. *Instrumentos para experimentos sobre la visión* (Münsterberg, “Psychological laboratory”, 8 bis).

Diversos estudios proporcionan, además, evidencias sobre la difusión de los procedimientos de la psicología experimental a otros centros universitarios, en los que encontramos dentro de las provisiones de material científico alusiones a diversos modelos de discos de colores. Así, en el continente americano, además de los mencionados, se instalaron laboratorios con fondos destinados al estudio de los colores en la Universidad de Toronto, ya en la década de 1890;⁶⁶ en el Instituto de Pedagogía de la Universidad de

⁶⁴ William O. Krohn, “Facilities in Experimental Psychology in the Colleges of the United States”, *Report of the Commissioner of Education for the year 1890-91* (Washington, D.C., 1894, vol. 2): 1139-1151.

⁶⁵ Hugo Münsterberg, “Psychological Laboratory of Harvard University” (Cambridge, Mass.: University Press of Cambridge, Mass., 1893). Una información análoga puede encontrarse en E. B. Titchener, “The Equipment of a Psychological Laboratory”, *The American Journal of Psychology*, vol. 11, no. 2 (1900): 251-265, con referencias a aparatos diseñados por Wundt.

⁶⁶ El fundador del laboratorio de la universidad canadiense, August Kirschmann, realizó

Chile, en 1909;⁶⁷ en la Escuela Nacional de Altos Estudios de la Universidad Nacional de México, en 1916;⁶⁸ en la Universidad de los Andes en Venezuela, desde 1936.⁶⁹

En 1909 el catedrático de psicología del Instituto de Tarragona y seguidor de las corrientes experimentales Martín Navarro publicaba un artículo en el *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza* en el que revisaba los cambios en las orientaciones de la disciplina, juzgaba la situación en España y ofrecía diversos detalles sobre la enseñanza de estas materias.⁷⁰ Allí se pronunciaba sobre la escasa repercusión, con la excepción del Museo Pedagógico Nacional, que en institutos y universidades españolas habían tenido las novedades que desde Leipzig se habían difundido a otros centros, particularmente a los norteamericanos, donde había, según indica, en torno a 40 laboratorios dedicados a los temas de esta disciplina.

En las notas sobre las prácticas educativas, Navarro relata su experiencia docente en particular con los temas dedicados a la naturaleza de los colores, a las mezclas y a la influencia de unos en otros, teniendo en cuenta que para los estudiantes los fenómenos más accesibles eran los que tenían que ver con las sensaciones visuales. Después de explicar la causa del espectro según se observa en el arcoíris o con el prisma se plantea la demostración del disco coloreado. Dividido según la proporción adecuada, se pone en rotación para que las imágenes se fundan en la retina “como lo hace Newton” (ya sabemos

estudios centrados específicamente en la psicología de la visión. E. Weidenhammer, “August Kirschmann and the Material Culture of Colour in Toronto’s Early Psychological Laboratory”, *Scientia Canadensis*, 38, no. 2 (2015): 10-12.

⁶⁷ Wilhelm Mann, “La organización del laboratorio chileno de psicología experimental”, *Anales de la Universidad de Chile*, Tomo CXXIV (1909): 665-688; Gonzalo Míguez et al., “Historia de los laboratorios de psicología de Chile”, en *Notas históricas de la psicología en Chile*, eds. Mario Laborda y Vanetza Quezada (Santiago: Editorial Universitaria, 2010), 82-84.

⁶⁸ Rogelio Escobar, “El primer laboratorio de psicología experimental en México”, *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 42, no. 2 (2016): 128-129.

⁶⁹ Cristian Camacho, “Primer intento de establecer estudios de psicología en la Universidad de Los Andes y la reforma universitaria de 1936”, *Procesos Históricos*, 10 (2006): 13-14. En diversos laboratorios europeos donde se adquirieron instrumentos de psicología experimental es muy probable que también se incorporaran aparatos con discos para el estudio de los colores, sin embargo aquí nos hemos limitado a los trabajos con menciones explícitas a estos artefactos, una difusión compartida con los estudios de física; como afirma Kuehni, “En la década de 1880 no había un solo departamento de física universitario que no contara con un equipo para la mezcla de colores”, Rolf G. Kuehni, “A Brief History of Disk Color Mixture”, *Color Research and Application*, 35, 2 (2010): 118.

⁷⁰ Martín Navarro, “La enseñanza de la psicología experimental en los institutos”, *BILE*, t. 33 (1909): 12-19.

que no fue así), y se pregunta retóricamente cuál será el resultado. Afirma que uno de los alumnos construye un ejemplar similar con un disco de cartón con cuatro espectros, que atraviesa con un alambre y lo hace girar. Así, el objeto se tiñe de un rojo grisáceo. “Le he advertido que este resultado se debe a que ha dado igual extensión a todos ellos, lo cual no ocurre en el espectro solar; aparte de que la intensidad y la pureza de los colores empleados es un factor decisivo en el experimento”.⁷¹ Así pues, hay que restaurar la objetividad y la confianza en la comprobación. En el gabinete encuentra un disco de vidrio con las proporciones adecuadas en la distribución de colores. Afirma que, de no haber localizado este modelo, “habría sido necesario hacer varios discos con estas condiciones hasta encontrar el que nos diera el color deseado”.⁷² Todo estaba previsto, asegura, porque si puede descomponerse la luz blanca en los siete colores, entonces, independientemente del procedimiento, tiene que obtenerse ese color otra vez. A continuación, plantea otros temas, como el de la causa de los colores o las diferencias en los matices de los colores según la tonalidad del entorno y los contrastes existentes, donde se advierte sobre los fenómenos visuales paradójicos e ilusorios que se producen. Junto con la sugerencia de nuevas experiencias y la observación de las reacciones de los estudiantes se contemplan igualmente las reglas que las explican.

La perspectiva ofrecida desde la psicología experimental (centrada en las sensaciones) era por tanto diferente a la expuesta dentro de la física, que había quedado reducida, como se ha comprobado, a la demostración convencional, real o imaginaria, con el disco newtoniano, a la que se añadía de manera discrecional y excepcional algún apunte que ampliaba mínimamente el contenido original. Como ejemplo representativo del tipo de experiencias de psicología planteadas en las aulas de diversos institutos de secundaria⁷³ (donde conservan colecciones de discos pintados con combinaciones de colores diversas), destacamos el Instituto Cardenal Cisneros. En este último centro se encontraba como catedrático Eloy Luis André, que fue el impulsor además de la colección de instrumentos científicos vinculada a esa disciplina.

André había viajado en 1910 con una pensión de la Junta para la Ampliación de Estudios a Alemania, donde trabajó en el laboratorio de Leipzig dirigido por Wundt. Muy probablemente fue allí donde adquirió familiaridad con las prácticas dedicadas a la visión de los colores y sus combinaciones. Después

⁷¹ Navarro, “La enseñanza”, 15.

⁷² Navarro, “La enseñanza”, 15.

⁷³ Víctor Guijarro, “Modernidad y fatiga en las escuelas españolas. Los instrumentos de la psicotecnia y la cultura de la eficacia en la época de la JAE”, en *Aulas modernas*, ed. Leoncio López-Ocón (Madrid: Dykinson, 2014), 134.

de conseguir las plazas de los institutos de Orense y Toledo, se asentó definitivamente en Madrid en 1919. En los inventarios del material existente en el Instituto Cardenal Cisneros antes del año 1946, se mencionan en relación con las cuestiones que aquí nos ocupan los siguientes artefactos: 1 caja para el estudio de los fenómenos ópticos; 2 cartones para el estudio de los colores complementarios; 1 cartón para el estudio de los colores y sus combinaciones; 1 carpeta de tests para el estudio de la ceguera de los colores; 1 disco de Newton con aparato rotatorio metálico; 1 serie de 10 discos de colores; 1 juego de figuras movibles para ilusionar.⁷⁴ Las imágenes disponibles y los objetos conservados actualmente indican que las demostraciones y los ensayos no se reducían a la composición de la luz blanca con los colores del espectro, sino que se proponían otras combinaciones, como las realizadas con colores complementarios u otras mezclas, que podían producir diferentes resultados. Para disponer de una idea del tipo de experiencias planteadas en el aula puede consultarse la cuarta edición de su manual titulado *Psicología experimental* (Madrid, 1931).⁷⁵



Figura 4. Discos coloreados del laboratorio de psicología científica del Instituto Cardenal Cisneros. Fotografía: Carmen Rodríguez (Carmen Rodríguez, “El laboratorio de psicología científica del Instituto del Cardenal Cisneros”, *Cabás*, no. 7 (2012); disponible en <http://revista.muesca.es>)

⁷⁴ Inventario de material científico de la cátedra de Filosofía existente en el armario del aula 11 del Instituto Nacional de Enseñanza Media “Cardenal Cisneros”, firmado por Antonio Álvarez de Linera y Grund [catedrático de la asignatura desde 1940], 4 de diciembre de 1946 (Archivo del Instituto Cardenal Cisneros) e Inventario de material científico de la cátedra de Filosofía existente en el armario del aula 11 del Instituto Nacional de Enseñanza Media “Cardenal Cisneros”, firmado por Antonio Álvarez de Linera y Grund, 16 de diciembre de 1946 (Archivo del Instituto Cardenal Cisneros).

⁷⁵ “Sensaciones ópticas”, en Eloy Luis André, *Psicología experimental* (Madrid, 1931), 82-83.

5. Consideraciones finales

Las líneas precedentes han estado dedicadas a exponer los elementos que formaron parte de un mensaje, construido en torno a un aparato demostrativo, cuya efectividad se puso de manifiesto por el tiempo que mantuvo su vigencia en las aulas de secundaria y universitarias. Por medio del caso analizado se han revelado las reglas de la comprobación científica, revestida de autoridad, cuando esta tiene lugar en los espacios educativos y divulgativos, es decir, en presencia de un público no experto.

La demostración que se ha descrito, dedicada a la composición de la luz blanca, se presentaba como un ejercicio mecánico de transmisión de información que complementaba el texto y la iconografía de los manuales de física, obras en las que se proporcionaba el marco teórico incuestionable en el que se insertaban estas prácticas. Así, como se repite constantemente, la descomposición de la luz solar en los siete colores suponía que la síntesis posterior devolvería las imágenes obtenidas a la situación original: la luz blanca. Por tanto, según el razonamiento compartido en los círculos docentes, pocas sorpresas cabía esperar. Solo había que diseñar un artefacto que respondiera eficazmente a las expectativas y que fuera capaz de absorber la atención de los estudiantes. Este era el contexto en el que trabajaban los comunicadores de la ciencia.

Ganot dio una forma convincente a las previsiones teóricas y a las demandas probatorias basadas en observaciones que se planteaban en la época, arrinconando así las interpretaciones fisiologistas como la de Marion. Para ello combinó elementos diferentes, no necesariamente basados en verdades irrefutables: mantuvo el disco dividido en siete colores ya empleado previamente, en el siglo XVIII, y que en su origen respondió a criterios personales –el espectro es continuo, por lo que hay infinitos colores– y adoptó el diseño propuesto por o negociado con los fabricantes, consistente en una máquina estandarizada que permitía mostrar una experiencia de manera colectiva. El número siete o un múltiplo empleado en la composición de los colores que contenía el disco era una analogía simbólica que respetaba el vínculo con el experimento de Newton. Además, el artefacto cumplía otros requisitos, que eran: el de la despersonalización y el de la repetición del mismo resultado, anulándose así cualquier insinuación de arbitrariedad o subjetividad. Aunque era necesaria la participación de un sujeto para confirmar el resultado, se suponía que todas las personas observaban lo mismo con mínimas variaciones (todos los individuos compartían la propiedad de la persistencia retiniana de las imágenes). De igual manera, era cierto que no

se veía el blanco, pero al menos sí podía afirmarse que siempre se obtenía el tono agrisado o el blanco agrisado. Los posteriores procedimientos de corrección, atribuyendo las tonalidades captadas a imprecisiones materiales, impedían que las impresiones recibidas pudieran relacionarse con defectos de la teoría o de la prueba. La demostración se convertía así indirectamente en un sistema para disciplinar las percepciones: se partía de una sensación y se recorría una secuencia que tenía una resolución invariable y que podía repetirse indefinidamente.

A los rasgos anteriores hay que añadir el componente decisivo de la emoción que acompañaba a la escenificación de la demostración. Ver un disco coloreado a gran velocidad, compuesto de colores vistosos que desaparecían y se transformaban en una tonalidad uniforme tenía la apariencia de un entretenimiento provisto de sorpresas. De ahí que también se empleara en los pasatiempos dedicados a las ilusiones ópticas.

Los estudios sobre la teoría de los colores y las investigaciones llevadas a cabo en los ámbitos de la psicología de la percepción y de la fisiología plantearon numerosos interrogantes sobre qué ocurría realmente con los colores al girar el disco de Newton. En esta orientación el dispositivo se aprovechó para otros variados cometidos, pero dentro de la física quedó reducido a una demostración cómoda –en palabras del profesor Rave– o a una curiosidad.

Bibliografía

- Alvarado, Salustio. *Iniciación en las Ciencias Físiconaturales. Tercer curso*. Barcelona, 1936, 3ª ed.
- André, Eloy Luis. *Psicología experimental*. Madrid, 1931.
- Andreu Tormo, José. *Física Elemental para segunda enseñanza*. Valencia, 1936.
- Anónimo. *The Art of Projection and Complete Magic Lantern Manual*. Londres: E. A. Beckett, 1893.
- Baird, Davis. *Thing knowledge. A Philosophy of Scientific Instruments*. Berkeley: University of California Press, 2004.
- Ball, Philip. *La invención del color*. Madrid: Turner, 2020.
- Bares y Lizón, Carlos. *Nociones de Física*. Barcelona, 1911, 2ª ed. 1923.
- Bargalló, Modesto. *Nociones de Física y Química adaptadas al cuestionario del cuarto curso del Bachillerato*. Guadalajara: Sardá, 1935.
- Benham, Charles E. "The Artificial Spectrum Top". *Nature*, 51, no. 1313 (27 diciembre 1894): 200.
- Brenni, Paolo. "From Workshop to Factory: The Evolution of the Instrument-

- Making Industry, 1850-1930". En *The Oxford Handbook of the History of Physics*, editado por Jed Buchwald y Robert Fox, 584-650. Oxford: Oxford University Press, 2013.
- Brownlee, Peter John. "Color Theory and the Perception of Art". *American Art*, 23, 2 (2009): 21-24.
- Buckmaster, John Charles. *The Elements of Light, Acoustics and Heat*. Londres, 1871.
- Bustanza Lachiondo, Florencio y Mascaró Carrillo, Fernando. *Ciencias Físico-Naturales (primer curso)*. Madrid, 1935.
- Bustanza Lachiondo, Florencio y Mascaró Carrillo, Fernando. *Ciencias Físico-Naturales (segundo curso)*. Madrid, 1935.
- Calero Delso, Juan Pablo. "Tomás Escriche y Mieg". *Diccionario Biográfico de la Guadalajara Contemporánea*: disponible en <http://bioguada.blogspot.com/2013/11/tomas-escriche-y-mieg.html>.
- Camacho, Cristian. "Primer intento de establecer estudios de psicología en la Universidad de Los Andes y la reforma universitaria de 1936". *Procesos Históricos*, 10 (2006): 1-20.
- Campenhausen, Christoph von y Juergen Schramme. "100 Years of Benham's Top in Colour Science". *Perception*, 24, no. 6 (1995): 695-717.
- Crary, Jonathan. *Techniques of the Observer: On Vision and Modernity in the Nineteenth Century*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1992.
- Daston, Lorraine y Peter Galison. "The Image of Objectivity". *Representations*, 40 (1992): 64-89.
- Daston, Lorraine y Peter Galison. *Objectivity*. Nueva York: Zone Books, 2007.
- Delahaye, Julien y Sylvie Zanier. "Comment interpréter l'expérience du disque de Newton?". *Le Bup*, 115, no. 1039 (2021): 1119-1125.
- Escobar, Rogelio. "El primer laboratorio de psicología experimental en México". *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 42, no. 2 (2016): 116-144.
- Escriche y Mieg, Tomás. *Elementos de física*. Barcelona: Bosch, 1934.
- Estalella, José. *Recreaciones científicas*. Barcelona: Gustavo Gili, c. 1925.
- Fara, Patricia. "Newton shows the light: a commentary on Newton (1672) «A letter . . . containing his new theory about light and colours...»". *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 373 (2015): [1-11].
- Ferrando, Fernando Ramón. *Curso de Física*. Valencia, 1936, 3ª ed.
- Ganot, Adolphe. *Tratado elemental de física experimental y aplicada y de meteorología*. Madrid: Carlos Bailly -Bailliere, 1858, 2ª ed. española.
- Ganot, Adolphe. *Traité élémentaire de physique expérimentale et appliquée et de météorologie: avec un recueil nombreux de problèmes*. París, 1855, 4ª ed.

- Ganot, Adolphe. *Traité élémentaire de physique expérimentale et appliquée*. París, 1851.
- Glick, Thomas F. *Einstein y los españoles. Ciencia y sociedad en la España de entreguerras*. Madrid: CSIC, 2005.
- González Martí, Ignacio. *Programa de Física general*. Madrid, 1918.
- González Martí, Ignacio. *Tratado de Física general*. Madrid, 1919, 3ª ed.
- González de la Lastra, Leonor; Rosa M. Martín Latorre et al. *Instrumentos científicos para la enseñanza de la Física*. Madrid: Ministerio de Educación y Cultura, 2000.
- Guijarro, Víctor. "Modernidad y fatiga en las escuelas españolas. Los instrumentos de la psicotecnia y la cultura de la eficacia en la época de la JAE". En *Aulas modernas*, editado por Leoncio López-Ocón. Madrid: Dykinson, 2014.
- Guijarro, Víctor. "La interacción personal con el objeto científico y la acción educativa: notas, máquinas dóciles y manuales (1885-1910)". En *Aulas abiertas. Profesores viajeros y renovación de la enseñanza secundaria en los países ibéricos (1900-1936)*, editado por Leoncio López-Ocón; Víctor Guijarro Mora y Mario Pedrazuela Fuentes, 113-136. Madrid: Dykinson, 2018, 113-136.
- Guillemin, Amédée. *The forces of nature: a popular introduction to the study of physical phenomena*. Londres [: Macmillan and Co], 1877.
- Hankins, Thomas L. y Robert J. Silverman. *Instruments and the Imagination*. Princeton: Princeton University Press, 1995.
- Klieber, Johann y José Estalella. *Compendio de física y química*. Barcelona, 1928, 4ª ed.
- Koppelman, Elaine. "Plateau, Joseph Antoine Ferdinand". En *Dictionary of Scientific Biography*, editado por Charles Coulston Gillispie, 21-22. Nueva York: Scribner, 1981, vols. 11-12.
- Krohn, William O. "Facilities in Experimental Psychology in the Colleges of the United States". *Report of the Commissioner of Education for the year 1890-91*. Washington, D.C., 1894, vol. 2: 1139-1151.
- Kuehni, Rolf G. "A Brief History of Disk Color Mixture". *Color Research and Application*, 35, 2 (2010): 110-121.
- La Energía eléctrica*, no. 21 (10 de noviembre, 1924): 275.
- Lamlá, Ernst. *Compendio de Física para médicos, farmacéuticos, químicos y naturalistas*. Barcelona: Labor, 1936, 2ª ed.
- Lerebours et Secrétan. "Catalogue et prix d'Instruments d'optique, de physique, de mathématiques et de marine". En *Catalogue générale de Hector Bossange*. París, 1845.

- López Martínez, José Damián. "La enseñanza de la Física y la Química en la educación secundaria en el primer tercio del siglo XX en España". Tesis doctoral, Universidad de Murcia, 1999.
- Mann, Wilhelm. "La organización del laboratorio chileno de psicología experimental". *Anales de la Universidad de Chile*, tomo CXXIV (1909): 665-688.
- Marcoláin San Juan, Ramón Pedro. *Curso elemental de física moderna*. Zaragoza: "La Académica", 1920.
- Marion, Fulgence. *L'Optique*. París: Hachette, 1869.
- Míguez, Gonzalo et al. "Historia de los laboratorios de psicología de Chile". En *Notas históricas de la psicología en Chile*, editada por Mario Laborda y Vanetza Quezada, 81-104. Santiago: Editorial Universitaria, 2010.
- Mingarro, Antonio y Vicente Aleixandre. *Física y Química II*. Madrid: Sucesores de Rivadeneyra, 1936.
- Monzón González, Julio y Arturo Pérez Martín. *Física para el Bachillerato Universitario*. Valladolid, 1928, 4ª ed.
- Moreno Alcañiz, Emilio. *Física*. Zaragoza, 1933, 5ª ed.
- Moreno, Antonio. "La Física en los manuales escolares: un medio resistente a la renovación (1845-1900)". *Historia de la Educación*, 19 (2000): 51-93.
- Münsterberg, Hugo. "Psychological laboratory of Harvard University". Cambridge, Mass.: University Press of Cambridge, Mass., 1893.
- Navarro, Martín. "La enseñanza de la psicología experimental en los institutos". *BILE*, tomo 33 (1909): 12-19.
- Nieto-Galán, Agustí. *Los públicos de la ciencia. Expertos y profanos a través de la historia*. Madrid: Marcial Pons, 2011.
- Olbés y Zuloaga, Luis. *Lecciones elementales de Física*. Madrid, 1935, 11ª ed.
- Oliveira, Danielle de y Robert Hirschler. "Light and colour in the classroom -demonstrations from physics to the interaction of colours". In *Interaction Of Colour & Light In The Arts and Sciences. Midterm Meeting of the International Color Association, Zurich, Switzerland (7-10 June 2011)*. Conference Proceedings, edited by Verena M. Schindler y Stephan Cuber, 169-172. Zurich: pro/colore, 2011: disponible en <https://aic-color.org/resources/Documents/aic2011proc-reduced.pdf>.
- Pérez Martín, Arturo y Julio Monzón González. *Física* (Bachillerato Universitario). Valladolid, 1929, edición oficial.
- Peruzzi, Giulio y Valentina Roberti. "The Color Top and the Distinction Between Additive and Subtractive Color Mixing". *IEEE Antennas Propag. Mag.*, 61 (5) (2019): 138 -145.
- Plateau, Joseph. *Dissertation sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière sur l'organe de la vue*. Lieja, 1829.

- Pouillet, Claude. *Éléments de physique expérimentale*. París, 1832.
- Rave, Antonio. "Dispersión y recomposición de la luz". *Crónica Científica: Revista internacional de Ciencias*, VI, 122 (1883): 3-9.
- Rodríguez, Carmen. "El laboratorio de psicología científica del Instituto del Cardenal Cisneros". *Cabás*, no. 7 (2012): disponible en <http://revista.muesca.es>.
- Rosenstiehl, M. A. *Traité de la couleur au point de vue physique, physiologique et esthétique*. París, 1913.
- Simon, Josep. "Comunicando la física en la Europa del siglo XIX: el manual de Ganot y los oficios del libro". En *Synergia. Primer Encuentro de Jóvenes Investigadores en Historia de la Ciencia*, coordinado por Néstor Herrán et al., 29-31. Madrid: CSIC, 2007.
- Simon, Josep, "La escritura como invención: la Física-texto de Adolphe Ganot y el género ciencia", *Cultura Escrita y Sociedad*, 10 (2010): 81-106.
- Simon, Josep. *Communicating Physics: The Production, Circulation and Appropriation of Ganot's Textbooks in France and England, 1851-1887*. Londres: Pickering & Chatto, 2011.
- Sintes Olives, Francisco F. *Física general aplicada*. Barcelona: Ramón Sopena, 1939.
- Soler y Sánchez, José. *Curso elemental de física propio para el estudio de esta asignatura en las universidades é institutos de 2.ª enseñanza*. Alicante: Establecimiento tipográfico de Vicente Botella, 1900.
- Titchener, E. B. "The Equipment of a Psychological Laboratory". *The American Journal of Psychology*, 11, 2 (1900): 251-265.
- Titchener, E. B. "Class Experiments and Demonstration Apparatus". *The American Journal of Psychology*. 14, 3/4 (1903): 175-191.
- Turquety, Benoît. "Couleur/mouvement : trois dispositifs pour une histoire épistémologique dans la longue durée". 1895. *Revue de l'association française de recherche sur l'histoire du cinéma*, 87 (2019): 64-89.
- Turner, Gerard L' E. *Nineteenth-Century Scientific Instruments*. Londres: Sotheby's Publication, 1983.
- Weidenhammer, E. "August Kirschmann and the Material Culture of Colour in Toronto's Early Psychological Laboratory". *Scientia Canadensis*, 38(2) (2015): 1 -19.
- Wulf, Teodoro. *Tratado de Física*. Barcelona: Tipográfica católica Casals, 1929 [1ª ed. 1926].
- Zamoro, Ángel. *D. Tomás Escriche y Mieg (1844-1935). Profesor de segunda enseñanza 1869-1918*. Badajoz: Diputación de Badajoz, 2015.