

Helmholtz: entre luz, color y espacio

José María Sánchez González¹. Col. 20.891
 María del Carmen Sánchez González¹. Col. 17.944
 Concepción De Hita Cantalejo¹. Col. 24.027
¹TU (US).

Introducción

Hablar de Hermann von Helmholtz es hablar de una figura esencial en la construcción científica de la visión. Médico, físico, filósofo y músico aficionado, Helmholtz abordó el fenómeno visual desde una perspectiva inédita para su tiempo: la de la interacción entre la luz, el ojo y el cerebro. Su trabajo no sólo transformó la fisiología ocular, sino que sentó las bases conceptuales de la óptica visual moderna, anticipando muchas de las cuestiones que hoy preocupan a la optometría y la neurociencia de la visión.

En una época marcada por el auge de las ciencias físicas, Helmholtz supo conectar los principios de la energía y la percepción sensorial con los estudios del aparato visual humano. Su invención del oftalmoscopio, su teoría de la visión del color, su modelo de acomodación y, especialmente, su monumental *Tratado de Óptica Fisiológica*, constituyen hitos que aún hoy resuenan en la práctica clínica, en la investigación y en la docencia en óptica y optometría.

Este capítulo propone un recorrido por su vida y su legado, con especial atención a sus contribuciones al estudio de la visión desde una perspectiva óptica. Su figura, aún vigente más de un siglo después de su muerte, sigue siendo un referente para quienes buscan comprender no sólo cómo vemos, sino también cómo construimos el significado de lo que vemos.

Formación y primeros años: de la medicina a la física de la percepción

Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz nació en 1821 en Potsdam, Alemania, en una familia donde las humanidades y el pensamiento filosófico estaban muy presentes (*Figura 1*). Su padre, profesor de literatura y filosofía, mantenía estrechos vínculos con figuras como Fichte y Kant, lo que sin duda influyó en el pensamiento crítico del joven Helmholtz. Sin embargo, su inclinación por las ciencias naturales no coincidía con los deseos familiares: se esperaba que estudiara medicina, disciplina que finalmente cursó en Berlín como parte de un programa financiado por el ejército prusiano.

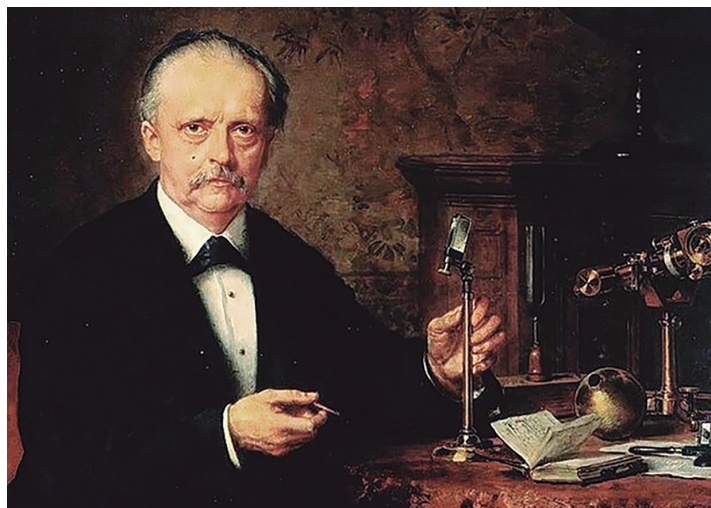


FIGURA 1

Retrato de Hermann von Helmholtz (1821-1894), físico y médico alemán, considerado una de las figuras clave en la historia de la ciencia de la visión.

Durante su formación médica, Helmholtz empezó a interesarse profundamente por la fisiología y los principios físicos que rigen el cuerpo humano. Su tesis doctoral, defendida en 1842, versó sobre la estructura del sistema nervioso, y ya mostraba un enfoque analítico y experimental poco común para su tiempo. Tras finalizar sus estudios, ejerció como médico militar, pero nunca abandonó sus investigaciones científicas. Fue en esta etapa cuando empezó a desarrollar su célebre principio de conservación de la energía, aplicándolo al metabolismo muscular.

La transición desde la medicina hacia la física aplicada a la biología fue natural. Helmholtz concebía el cuerpo humano como un sistema gobernado por leyes físicas medibles, y veía en el ojo un laboratorio ideal para explorar los vínculos entre el mundo externo y la percepción interna. Esta perspectiva, que integraba anatomía, fisiología y física, se consolidó cuando accedió a su primer puesto universitario como profesor de fisiología en Königsberg, en 1849. A partir de entonces, su carrera se orientó cada vez más hacia el estudio de la visión y la percepción sensorial, anticipando muchas de las preguntas que hoy se estudian en el ámbito de la óptica y la optometría.

Un polímata al servicio de la ciencia visual

Helmholtz no fue solo un investigador de la visión: fue un auténtico polímata del siglo XIX. Su obra abarcó campos tan diversos como la termodinámica, la fisiología, la acústica, la electrodinámica, la psicología experimental y la óptica. Esta amplitud de intereses no fue superficial, sino profundamente conectada por una idea central: entender cómo el ser humano percibe, interpreta y se relaciona con el mundo físico. Uno de sus primeros grandes aportes fue el principio de conservación de la energía, formulado en 1847, en un contexto todavía dominado por teorías vitalistas.

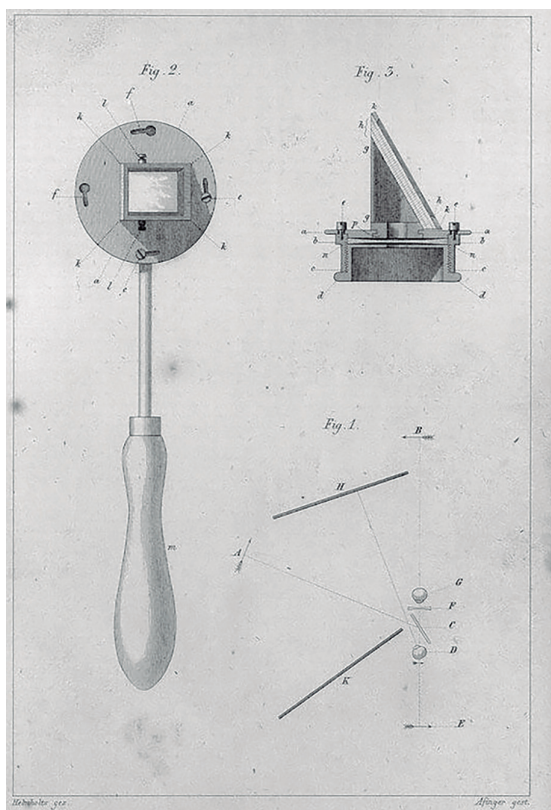


FIGURA 2

Primera ilustración técnica del oftalmoscopio de Helmholtz (1851), con elementos de cartón, vidrio y espejo, según su publicación original.

Esta ley, fundamental para la física moderna, surgió a partir de sus estudios sobre el metabolismo muscular, donde buscaba medir el gasto de energía en procesos fisiológicos. Pero Helmholtz no se detuvo ahí. Su curiosidad lo llevó a estudiar cómo percibimos el sonido, lo que derivó en la invención del resonador de Helmholtz, un dispositivo que permitía identificar las frecuencias contenidas en un tono complejo. Este invento se convertiría en un referente para el análisis acústico y la música.

En el ámbito visual, Helmholtz concebía la visión no como un simple fenómeno óptico, sino como un proceso constructivo e interpretativo. A diferencia de sus contemporáneos, que buscaban leyes físicas puramente geométricas, él se interesaba por cómo el cerebro transforma señales ópticas en experiencia visual. Por eso sus estudios sobre percepción del color, la acomodación y la interpretación del espacio no se limitaban al aparato ocular, sino que involucraban también aspectos filosóficos, psicológicos y neurológicos.

Esta visión holística, a medio camino entre la física y la fenomenología, hace de Helmholtz una figura clave en el desarrollo temprano de lo que hoy entendemos como óptica visual o óptica fisiológica, base conceptual de la moderna optometría.

La invención del oftalmoscopio: origen y consecuencias

En 1850, Helmholtz cambió radicalmente el estudio del ojo humano con la invención del oftalmoscopio, un instrumento que permitía, por primera vez, observar el fondo de ojo en un paciente vivo (Figura 2). Esta innovación, aunque hoy puede parecer evidente, supuso un salto científico y clínico sin precedentes, ya que hasta entonces la retina solo podía estudiarse tras la muerte.

La idea surgió como un experimento para sus estudiantes de fisiología. Para demostrar cómo se reflejaba la luz dentro del ojo, construyó un sencillo dispositivo usando cartón, pegamento y placas de vidrio. Aplicando principios ópticos básicos —reflexión y transmisión de la luz—, Helmholtz descubrió que si una fuente de luz se alineaba correctamente con el eje visual, era posible ver la retina iluminada y reflejada. Lo esencial era que la luz siguiera el mismo camino al entrar y salir del ojo, lo que permitía al observador situarse en esa misma trayectoria y percibir la imagen retinal.

Aunque no fue el primero en observar el fondo de ojo —Purkinje y Babbage hicieron observaciones similares décadas antes—, Helmholtz fue el primero en sistematizar, explicar y divulgar el instrumento. En 1851 publicó su estudio *Beschreibung eines Augenspiegels* ("Descripción de un espejo ocular para la investigación de la retina en el ojo vivo"), marcando el nacimiento de la oftalmoscopia clínica.

Más allá del ámbito médico, esta invención supuso una demostración práctica de cómo la óptica podía aplicarse al conocimiento del cuerpo humano. El oftalmoscopio se convirtió en una herramienta fundamental en la educación óptica y en la evaluación funcional del ojo, abriendo una nueva etapa en el estudio experimental de la visión. En muchos sentidos, este momento representa el inicio del instrumentalismo aplicado en el campo de la optometría clínica moderna.

Óptica fisiológica y percepción visual

Uno de los mayores aportes de Helmholtz fue el de considerar la visión no solo como un proceso óptico, sino como una experiencia perceptiva compleja, que depende tanto de la anatomía ocular como de la interpretación cerebral. Esta perspectiva integradora dio origen a lo que hoy llamamos óptica fisiológica, disciplina que une física, biología y psicología para explicar cómo vemos.

Helmholtz defendía que la percepción visual no es una copia pasiva del mundo externo, sino una construcción activa basada en señales sensoriales incompletas que el cerebro interpreta mediante inferencias aprendidas. Así, conceptos como el color, la forma, el movimiento o la profundidad no existen como entidades objetivas, sino como resultados de procesos interpretativos condicionados por la experiencia.

Uno de sus mayores logros fue su teoría sobre la visión del color, que amplió el trabajo de Thomas Young. Según el modelo de Young-Helmholtz, la

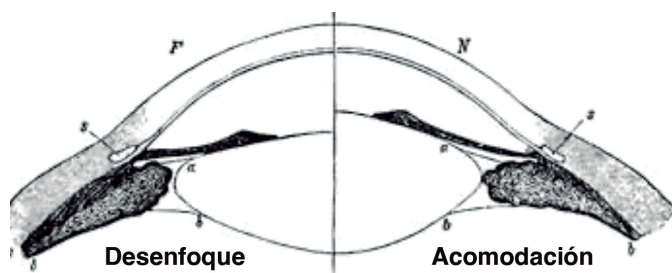


FIGURA 3

Diagrama original de Helmholtz sobre la acomodación ocular y el enfoque a distintas distancias, incluido en su tratado de óptica fisiológica.

La retina humana contiene tres tipos de receptores sensibles a diferentes longitudes de onda (rojo, verde y azul). Esta teoría tricromática sigue siendo la base de muchas aplicaciones en óptica y optometría, incluyendo la evaluación de deficiencias cromáticas. Helmholtz también analizó detalladamente el mecanismo de la acomodación, proponiendo que el cambio de curvatura del cristalino permitía enfocar a distintas distancias. Aunque su teoría fue revisada en el siglo XX, se mantuvo como referencia durante más de cien años (Figura 3). Sus estudios sobre el espacio visual, la percepción del movimiento y las ilusiones ópticas abrieron el camino para comprender cómo se forma nuestra experiencia tridimensional del entorno, con importantes implicaciones en campos como la rehabilitación visual, la ergonomía y el diseño de ayudas ópticas. Helmholtz no solo explicó cómo entra la luz al ojo, sino cómo la mente construye la realidad a partir de ella.

El legado de su *Handbuch der Physiologischen Optik*

Publicado por entregas entre 1856 y 1867, el *Handbuch der Physiologischen Optik* ("Manual de óptica fisiológica") constituye una de las obras más influyentes en la historia de la visión científica (Figura 4). En sus más de 800 páginas, Helmholtz ofrecía un estudio exhaustivo de los principios ópticos del ojo humano (Figura 5), integrando observación anatómica, física matemática y psicología de la percepción.

El tratado se dividía en tres grandes secciones: la óptica del sistema ocular, la fisiología de la retina y la interpretación cerebral de la imagen visual. Lo revolucionario no fue solo su enfoque interdisciplinar, sino su defensa de que la visión debía entenderse como una actividad mental, no meramente óptica. Esta idea desafió los modelos mecanicistas de la época y anticipó muchas corrientes posteriores de la psicología de la percepción.

Entre los temas destacados del *Handbuch* figuran el análisis de la visión binocular, la percepción de la profundidad y del tamaño, el funcionamiento del cristalino, la visión cromática y las ilusiones ópticas.



FIGURA 4

Páginas de la primera edición del *Handbuch der Physiologischen Optik*, publicada por entregas entre 1856 y 1867.

Helmholtz examinó cómo el cerebro interpreta señales ambiguas del entorno y genera una imagen coherente del espacio, algo fundamental para entender fenómenos como la diplopía, la aniseiconía o la visión borrosa, aspectos que hoy forman parte de la práctica optométrica habitual.

A lo largo de décadas, este manual se convirtió en obra de referencia para investigadores, médicos y optometristas. Fue traducido, ampliado y comentado, y su tercera edición (de 1911, póstuma y revisada) todavía se cita en publicaciones contemporáneas. Su impacto en la formación científica de generaciones de profesionales de la visión es incuestionable. Más que un tratado técnico, el *Handbuch* fue una declaración de principios: la óptica debía abrirse al estudio de la mente, y la visión debía abordarse como una función profundamente humana.

De Helmholtz a la óptica moderna

Más de un siglo después de su muerte, el legado de Hermann von Helmholtz sigue presente en la forma en que comprendemos, enseñamos y aplicamos la óptica visual (Figura 6). Muchos de los principios que él formuló —la teoría tricromática, la acomodación, la reflexión retiniana o la percepción del espacio— se encuentran hoy integrados en la práctica clínica, la investigación en optometría y los dispositivos ópticos de diagnóstico.

Helmholtz fue uno de los primeros en mostrar que el estudio del ojo humano no podía limitarse a la anatomía o a la física geométrica. Propuso un modelo

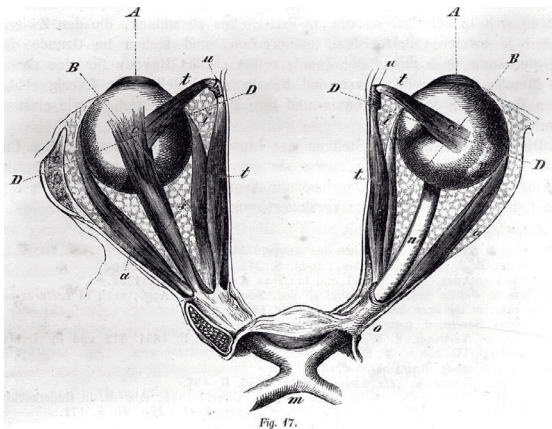


FIGURA 5

Ilustración anatómica del ojo humano utilizada por Helmholtz en sus clases de fisiología, donde ya se integraban principios ópticos y perceptivos.

donde la óptica, la fisiología y la psicología convergen, una idea que ahora resulta fundamental para entender fenómenos complejos como la adaptación visual, la fatiga ocular, los defectos refractivos o los mecanismos de rehabilitación perceptiva.

En el ámbito institucional, su influencia también perdura. La Helmholtz-Gemeinschaft, una red de centros de investigación aplicada en Alemania que lleva su nombre es hoy una de las organizaciones científicas más importantes de Europa. Su enfoque interdisciplinar, que combina física, biomedicina y tecnología, refleja fielmente el espíritu del propio Helmholtz.

Desde la formación en óptica y optometría hasta el diseño de nuevas tecnologías visuales, la huella de Helmholtz está presente en cada estudio sobre percepción, en cada lente adaptativa, en cada instrumento de observación ocular. Fue, en muchos sentidos, el precursor del pensamiento integrador que caracteriza a la optometría moderna.

Si hoy la visión se entiende como una función compleja, que combina información física y procesos interpretativos, es en gran parte gracias al trabajo de Helmholtz. Su mirada científica ayudó a ver el ojo no solo como un sistema óptico, sino como un órgano de conocimiento.

Reflexión final

Hermann von Helmholtz fue mucho más que un físico o un médico: fue un constructor de puentes entre disciplinas. En una época en que el conocimiento tendía a compartimentarse, él propuso una visión de la ciencia profundamente unificada, donde la óptica no podía separarse de la percepción, ni la anatomía de la experiencia visual. Su legado ha trascendido generaciones y fronteras, y sigue siendo una referencia clave en la comprensión científica de la visión.

Para la óptica y la optometría, su figura representa un momento fundacional: el paso de una visión geométrica del ojo a una concepción fisiológica y perceptiva. Fue



FIGURA 6

Sello conmemorativo alemán emitido por el centenario de Helmholtz (1994), con el retrato del científico y un esquema del ojo humano.

el primero en abordar el acto de ver como un proceso que involucra la luz, el sistema visual y, sobre todo, la mente. Con su oftalmoscopio, abrió una ventana al interior del ojo; con su teoría del color y de la percepción espacial, iluminó la comprensión del mundo que construimos a través de la visión.

Hoy, quienes trabajamos en ciencias de la visión —ya sea desde la clínica, la investigación o la docencia— seguimos beneficiándonos de su manera de pensar: rigurosa pero abierta, experimental pero filosófica, técnica pero humana. Helmholtz no solo nos dejó instrumentos y teorías; nos enseñó a mirar con profundidad, a preguntar con método y a comprender con amplitud.

Mirar a Helmholtz desde la óptica y la optometría es recuperar un hilo de continuidad entre la ciencia del siglo XIX y los retos actuales de la salud visual. Su obra sigue inspirando a quienes se preguntan no solo cómo vemos, sino cómo entendemos lo que vemos. 

Referencias

- Berendschot T, van Norren D, van de Kraats J, 2003. Fundus reflectance—historical and present ideas. *Progress in Retinal and Eye Research*, 22, 171–200.
- Cahan D (Ed.), 1994. *Hermann von Helmholtz and the foundations of nineteenth-century science*. Berkeley: University of California Press.
- Gradmann C, 1997. Hermann von Helmholtz: historiography and biography 100 years later. *History and Philosophy of the Life Sciences*, 19, 263–71.
- Helmholtz H. von. 1851. *Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge*. Berlin: Reimer.
- Helmholtz H. von. 1911. *Handbuch der physiologischen Optik* (3rd ed.). Hamburg und Leipzig: Voss.
- Schett A, 1999. The discovery of the ophthalmoscope by Hermann von Helmholtz. *Strabismus*, 7(4), 241–4.
- Young T, Helmholtz H. von. 1850s–1860. Theory of trichromatic vision. Referenciado en múltiples tratados posteriores sobre percepción del color.