

## El derrotero de la luz

C. R. Stia

La luz es y ha sido uno de los objetos de estudio más apasionantes y debatidos a lo largo de la historia de la ciencia. Aún hoy nos interpela. Los intentos de comprender su naturaleza, han ido mucho más allá de los desarrollos de la óptica. La geometría, la astronomía, la química, el electromagnetismo, la física cuántica y muchos otros campos, se han ocupado de este fenómeno natural. Pero hay más.

Asociada a la propia idea de conocimiento, la luz y sus misterios han marcado la actividad científica y cultural de manera trascendental, hasta el punto de que místicos, poetas, pintores y filósofos le han dedicado su atención y reflexiones desde tiempos inmemoriales. No podemos imaginar ni nombrar lo que no conocemos como tampoco dejar de mirar el cielo sin fascinarnos por lo que vemos, que nos llena de interrogantes aunque no nos lo proponamos. Y de ahí, la necesidad de analogías que permitan anclarnos en algo que nos tranquilice.

La luz es rayo, es partícula y es onda. Recorre el espacio a una velocidad finita, dobla las esquinas, se cuela por los intersticios, esquiva los obstáculos y se deforma, discurre como el agua. Es información y calor, y solo se hace visible en una pequeña porción de un amplísimo espectro, transformándose en colores. Y apelando al carácter persuasivo de las metáforas, la luz puede aparecer como un faro que destrona las tinieblas y generar destellos de algo parecido a la felicidad. O a la belleza. También puede ser una presencia cegadora que impide la razón. O la forma primordial, el origen de lo divino.

Desde las cavernas oscuras hasta hoy, nos preguntamos sobre la luz del sol y las estrellas y, posiblemente, del fuego, de aquel primer fuego. ¿Qué es esta energía radiante que abarca todo lo que toca? ¿Cómo afecta a nuestro entorno y nuestra percepción? ¿Cómo o por qué vemos lo que vemos? ¿Podemos sentir la luz? Preguntas primeras que provienen de la observación directa, de la experiencia sensorial y que, en simultáneo, abren el juego a otras más existencialistas: ¿Hubo una primera luz? ¿Cómo se formaron las estrellas? ¿En qué momento, después del origen del tiempo, luz y materia se separaron para que el universo sea lo que creemos que es, y que este Sol y el resto de las estrellas visibles nos sigan cuestionando con sus brillos y sus colores? ¿Cómo se percibe hoy esa luz fugitiva que viaja desde hace miles de millones de años? No hay otra forma de conocer el universo si no es gracias a la luz. Observar más lejos en el espacio significa observar más atrás en el tiempo. La luz es el eco del cosmos.

El recorrido de la luz a través de la historia ha sido una travesía llena de interrogantes, descubrimientos y reinterpretaciones. Desde la Antigüedad hasta los más recientes avances científicos, cada época ha dejado su marca en nuestra comprensión de este fenómeno. Sin embargo, ¿cómo hemos llegado a entender la luz en su forma actual? En lo que sigue, exploraremos algunos hitos de este trayecto, respetando en cierta medida la cronología histórica, aunque con algunas (o varias) licencias.

Los filósofos antiguos, motivados por la curiosidad y la reflexión propia de su tiempo, se dedicaron a estudiar los fenómenos lumínicos. Sus teorías partían de la idea de una conexión íntima entre la luz, los objetos y nuestros ojos. Consideraban a la luz como un puente entre el mundo exterior y nuestra percepción, una interacción de rayos que podían originarse tanto en los objetos hacia nosotros como en nuestros propios ojos hacia el entorno que nos rodea. Esta premisa compartida por las diferentes teorías de la época –la luz entendida como el contacto directo entre la “luminosidad de los cuerpos” y lo sensorial– resonó a lo largo de los siglos, influenciando las visiones filosóficas de pensadores como Platón (427 a. C.–347 a. C.) y Aristóteles (384 a. C.–322 a. C.). Sin embargo, fue a partir de los trabajos de Euclides (325 a. C.–265 a. C.) y Ptolomeo (100 d. C.–170 d. C.) donde estas ideas encontraron un enfoque más concreto y matemático. En sus estudios, delinearon las leyes que gobiernan el comportamiento de la luz en términos de reflexión y refracción. Euclides nos llevó a entender cómo la luz rebota sobre las superficies, mientras que Ptolomeo mostró cómo la trayectoria de los rayos de luz se desvía al atravesar diferentes medios. Estas observaciones sentaron las bases para una comprensión temprana de la luz, conceptualizándola como el movimiento de pequeñas partículas en línea recta a través del espacio, una visión que perduraría por siglos.

La Edad Media, a pesar del papel histórico de “oscuridad” que se le atribuye respecto de la generación de conocimiento, fue una era de profunda introspección y avance en el entendimiento de los fenómenos naturales, y la luz jugó un papel central como objeto de estudio. La intersección entre la espiritualidad y la investigación científica propició un terreno fértil para exploraciones que desafiaron la percepción de su tiempo. Entre los eruditos de la época, Al-Hazen (965–1040) emerge en Oriente como una figura revolucionaria. Se distinguió por ser el primero en diferenciar la luz del simple acto de ver, marcando un hito en la historia de la ciencia. Sus experimentaciones metodológicas, firmemente arraigadas en la observación y verificación empírica, contrastaban con las aproximaciones más especulativas de sus contemporáneos. Al-Hazen sentó las bases para comprender cómo percibimos la luz y el color, adelantándose siglos a su tiempo y prefigurando principios que serían fundamentales para el desarrollo posterior de la ciencia moderna. Sus investigaciones sobre la descomposición de la

luz blanca en colores anticiparon los descubrimientos que Isaac Newton (1643–1727) exploraría más tarde en su "experimento crucial". La revisión contemporánea de sus trabajos lo consagra como el precursor del método científico, una figura cuya influencia trasciende el tiempo y continúa inspirando a la ciencia moderna

Roberto Grosseteste (c. 1168–1253) –obispo inglés y erudito de Oxford–, por su parte, fue una de las primeras figuras latinas de la Edad Media en estudiar fenómenos asociados a la luz y concebir una teoría que entrelazaba teología, ciencia, metafísica y especulación cósmica. Ofreció una visión del mundo iniciando una tradición que conceptualizaba a la luz como el vehículo primordial de la creación y un acceso directo a lo divino. Según Grosseteste, la luz es una sustancia omnipresente, forma primordial, intrínsecamente relacionada con el origen del universo, y la clave para entender la realidad que nos rodea. Transformó la narrativa de la creación del universo de un acto mágico a un proceso natural, iniciado por una explosión de luz divina que daría lugar a la creación de la materia, un concepto sorprendentemente similar a lo que los físicos del siglo XXI describirían como el Big Bang. Esta idea de que todo comenzó con una explosión de luz refleja no solo su genio intelectual sino también su capacidad para entrelazar teología con ciencia, sugiriendo que la luz, en su forma más pura, es la primera entidad corpórea y el medio a través del cual la verdad absoluta puede ser comprendida (Morales Camarena, 2003). En 2013, un equipo de físicos de la Universidad de Durham, reconoció la profundidad de la teoría cosmológica de Grosseteste y la tradujo en un modelo matemático, demostrando su relevancia y aplicabilidad incluso en el contexto de la ciencia contemporánea (Bower et al., 2014). Estos trabajos muestran que la exploración de la luz, más allá de sus implicaciones físicas, ofrece un marco para indagar sobre el universo, la existencia misma y la forma de producir conocimiento.

En la modernidad ilustrada se instala la idea del conocimiento como verdad universal a partir del cambio de paradigma que se da con el surgimiento de la Física Moderna. Para Galileo Galilei (1564-1642), Johannes Kepler (1571-1630) y René Descartes (1596-1650), el mundo es concebido como mecánico y explicable a través del lenguaje matemático. La cualidad más saliente de la ciencia es la precisión lograda como consecuencia directa del método riguroso, centrado en la observación y la experimentación.

En el tránsito del siglo XVII al XVIII, el nacimiento de la física newtoniana supuso una profundización en la sistematización de esta concepción del universo, confirmada a través de la experiencia. Así pues, los criterios de validez y adecuación venían avalados por un lenguaje matemático que podía satisfacer todas las exigencias de la ciencia. La verdad científica hacía

transparente la realidad a la razón, estableciendo una marcada separación entre lo que se entiende por ciencia y lo que no lo es, entre lo sensible y lo cognoscible.

La teoría newtoniana de la luz está dominada por los desarrollos del microscopio y el telescopio, innovaciones tecnológicas que promovieron un ensanchamiento considerable de los fenómenos observables y, por lo tanto, nuevas aproximaciones a las dos preguntas básicas: ¿Cómo se comporta la luz? ¿Qué es la luz? Enmarcado en la concepción mecanicista de la realidad, Newton seguía concibiendo a la luz como formada por corpúsculos.

A tal efecto dejé mi cuarto en la oscuridad e hice un pequeño agujero en el postigo para que entrara una adecuada cantidad de luz del sol. Coloqué mi prisma junto al agujero para que la luz se refractara hacia la pared opuesta del cuarto. Al principio fue una diversión muy agradable ver los colores vivos e intensos así producidos. Pero después de un rato me puse a considerarlos de una manera más prudente y me asombró ver que tenían una forma oblonga, aunque según las leyes aceptadas de la refracción esperaba que fueran circulares. (Isaac Newton, "Nueva teoría de la luz y los colores", Lafuente, Valverde y Pimentel, 2004).

Este experimento central en la historia de la óptica, similar al realizado por Al-Hazen, fue la base de su nueva teoría sobre la luz y los colores. No sin ciertas controversias, ha sido recreado e idealizado por innumerables artistas, poetas e historiadores, quienes lo han considerado como la esencia misma de la ciencia moderna. Newton mismo lo llamó el "experimentum crucis" o experimento crucial, para resolver el debate entre las doctrinas vigentes sobre la naturaleza de la luz. En su teoría, la luz solar era vista como una mezcla heterogénea de diferentes rayos, cada uno con un grado distinto de refracción.

En este contexto, el Iluminismo asistió a un desplazamiento de la idea de verdad a una que había de obtenerse mediante un trabajo orientado al futuro. La verdad perdía aquella facilidad natural con la que se afirmaba a sí misma en el mundo antiguo. Para la Ilustración la verdad no se revela sola, sino que debe ser revelada, a través de una "terapia luminosa" (Blumenberg, 1957/1993, p. 52, citado por Pimentel J., 2015).

Sin embargo, en el siglo XIX, la concepción newtoniana –mecanicista– del universo comenzaba a ponerse en duda con el surgimiento de otros avances en la ciencia como por ejemplo, la termodinámica y el electromagnetismo en la Física o los logros en el campo de la Química. Se demostraba experimentalmente que unos fenómenos podían implicar otros, que existe una conexión entre el calor, la electricidad, el magnetismo y las reacciones químicas. Se comienza a pensar que estaba ocurriendo algo nuevo y que no podía ser explicado mediante conceptos relacionados con el movimiento, como propugnaban los mecanicistas. Los



científicos de finales del siglo XIX parecían entender de forma clara que todo lo que anteriormente se había valorado como inamovible ya no lo era y podía ser sustituido. Desde este punto de vista, la ciencia se presentaba como el producto de una construcción teórica y, por tanto, hacía referencia a una serie de supuestos que revelaban una convención, elegida entre otras posibles –y que podía ser modificada– para representar los aspectos de la realidad (Carretero Gutiérrez, 2003).

Este marco permite repensar las teorías acerca de la luz. La historia de la óptica del siglo anterior se explicaba en términos de la pugna entre las ideas corpusculares y las ondulatorias. Las versiones acerca de la naturaleza ondulatoria de la luz, propuestas en los trabajos de Augustin Fresnel (1788–1827) y Thomas Young (1777–1829) –con su experimento famoso de la doble rendija, considerado por muchos como el más bello de todos los tiempos–, otorgaron a la disciplina un estado de auténtica madurez. En las primeras décadas del siglo XIX, las teorías ondulatorias proporcionaron una explicación más convincente para fenómenos como la difracción, la interferencia y la polarización, que no pueden explicarse desde una teoría corpuscular, la cual había sido sostenida desde la antigüedad. Así, la luz es, “indiscutiblemente”, una onda que se propaga de manera similar a como lo hacen las ondas sobre la superficie del agua o el sonido a través del aire.

Sin embargo, esta nueva comprensión abriría otros interrogantes. Si la luz es una onda, ¿a través de qué medio se propaga? Al tirar una piedra en un estanque con agua, las ondas viajan como círculos concéntricos precisamente debido al agua, y el sonido requiere de aire u otro medio físico para poder transmitirse. ¿Existe, entonces, un medio “luminífero” que cumpla este rol para la luz? Y si es así, ¿cómo interactúa este medio con los objetos materiales? ¿Cómo puede permanecer invisible e indetectable ante los instrumentos más sensibles? Estas preguntas motivaron una exploración más profunda de la naturaleza de la luz, una búsqueda que culminaría con el trabajo de James Clerk Maxwell (1831–1879).

Maxwell, al formalizar las leyes que rigen la electricidad y el magnetismo, propuso que la luz es, de hecho, una onda electromagnética, perturbaciones eléctricas y magnéticas que varían en el tiempo y que se propagan a través del vacío sin necesidad de un medio material. Esta revolucionaria idea no solo respondía a las preguntas sobre el medio de propagación de la luz sino que también unificaba los estudios de la luz visible con el electromagnetismo, esto es, con fenómenos relacionados a las corrientes eléctricas e imanes, extendiendo lo que entendíamos por luz como solo un aspecto de algo más amplio.

Así, se reveló que lo que percibimos como luz visible es solo una pequeña porción del amplio espectro electromagnético. Este espectro incluye otras formas de radiación como los

rayos X, los infrarrojos, los ultravioletas, ondas de radio, microondas, entre otros, cada uno con características distintas pero unidos por la misma naturaleza ondulatoria. La luz, en esta nueva concepción, dejó de ser solamente aquello que nuestros ojos pueden ver. Y al no necesitar de un medio para propagarse, la luz, en todas sus formas, puede viajar a través del espacio vacío. Esto hace posible que la información, en forma de luz o radiación, viaje a través del espacio, permitiéndonos recibir la luz de las estrellas y las galaxias distantes. El espacio sideral, silencioso e incapaz de transmitir el sonido, está lleno de luz que transporta información a través de enormes distancias.

Y cuando pensábamos que ya estábamos cerca de desentrañar la naturaleza verdadera de la luz, la imagen de una verdad asintótica se hace más evidente. El siglo XX comienza con nuevos experimentos que ponen en duda el carácter ondulatorio de la luz. El descubrimiento del efecto fotoeléctrico de 1905 por Albert Einstein (1879–1955) solo puede explicarse si la luz consistiese en partículas discretas de energía, que luego conoceríamos como fotones. Este experimento junto con el anterior de Max Planck (1858–1947), necesita recuperar la teoría corpuscular de la luz. Sin embargo, también es cierto que la luz es una onda, como había quedado claro en el siglo anterior. Entonces, ¿es onda o es partícula? Y, nuevamente, frente a la idea de la luz como un objeto nuevo, recurrimos a las analogías que siempre nos han tranquilizado, aunque estemos en un punto crucial, desconocido y que desafía nuestro sentido común. La luz posee una naturaleza dual: es tanto onda como partícula. Esta nueva construcción del concepto de la luz se convirtió en uno de los pilares de la mecánica cuántica, la teoría que describe el comportamiento de las partículas subatómicas a escalas extremadamente pequeñas. La mecánica cuántica, junto con las teorías de la relatividad de Einstein, consolida la renuncia a una ciencia universal y unitaria que explique una realidad objetiva. Estas teorías, fuertemente afianzadas en la actualidad, marcan el inicio de una nueva era no solo en la comprensión de la luz sino de la realidad física en general.

Stephen Hawking (1988) resalta este cambio paradigmático al afirmar: “La teoría de la mecánica cuántica está basada en una descripción matemática completamente nueva, que ya no describe al mundo real en términos de partículas y ondas; solo las observaciones del mundo pueden ser descritas en esos términos”. El observador modifica lo observado. Dependiendo de qué se quiere medir u observar, los objetos cuánticos, como la luz, a veces se comportan como si fueran partículas y otras veces como si fueran ondas. Entonces, ¿qué son las cosas cuándo no las “vemos”? Schrödinger (1887–1961) nos diría que cuando no las observamos, son la superposición de todos sus estados posibles, una sopa con todas las

historias, formas y potencias, de la cual emerge una sola posibilidad en el mismo momento en que "abrimos los ojos".

Preguntamos sobre qué es la luz nos conduce a recorrer un camino no lineal a lo largo de la historia, cuya comprensión actual propició un gran desarrollo tecnológico y científico. Pero, ¿podemos decir que aquí concluye nuestro entendimiento? Solo basta con que aparezca un fenómeno no explicado, una anomalía que desafíe el estado actual del conocimiento, y que nos lleve a otras teorías u otras explicaciones sobre la luz, omnipresente y misteriosa desde que el tiempo es tiempo.

## Referencias

- Blumenberg, H. (1957/1993). Light as a Metaphor for Truth. At the Preliminary Stage of Philosophical Concept Formation. En Levin, D. M. *Modernity and the hegemony of vision*. Berkeley: University of California Press, pp. 30-62.
- Bower Richard G. *et al.* (2014). A medieval multiverse?: Mathematical modelling of the thirteenth century universe of Robert Grosseteste. *Proc. R. Soc. A*, 470, 20140025.
- Carretero Gutiérrez, M. (2003) Claves epistemológicas en el arte y la ciencia en los desarrollos de la modernidad. Tesis doctoral. Facultad de Bellas Artes, Universidad Complutense de Madrid, Madrid. ISBN: 84-669-1897-3.
- Hawking, Stephen (1988). *Historia del tiempo: del Big Bang a los agujeros negros*. Grijalbo. ISBN 968-419-815-9.
- Lafuente, A., Valverde, N. y Pimentel, J. (2004). *El telescopio de reflexión. Newton entre luces y cristales*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Morales Camarena J. (2003). La luz, entre la ciencia y la metafísica. *Revista de cultura científica, UNAM*, 69
- Pimentel, J. (2015). Teorías de la luz y el color en la época de las Luces. De Newton a Goethe. *Arbor*, 191 (775): a264.