

La naturaleza de la luz

Andrea Coronada García Márquez, Nazaret Hernández Díaz, Fátima Khalifa Rabasco

Resumen— En este artículo se tratan las diferentes teorías que dieron lugar al actual concepto de la luz.

Palabras Claves— Difracción, Dualidad onda-corpúsculo, Naturaleza de la Luz, Refracción, Velocidad de la Luz.

1. INTRODUCCIÓN

Los fenómenos luminosos y la naturaleza de la luz fueron desde siempre un misterio apasionante que acaparó la atención de los pensadores más antiguos. La historia de la ciencia nos proporciona sucesivas hipótesis que intentan dar una explicación a tales hechos. La principal controversia se centró, durante mucho tiempo, en si la luz era una onda o una partícula (corpúsculo). Hoy día los físicos entendemos que la luz es ambas cosas. [1]

2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL CONCEPTO DE LA LUZ

La luz ha sido objeto de curiosidad y veneración humana desde tiempos remotos. Los antiguos griegos la consideraban fuente de vida y de verdad, y fue ampliamente estudiada por Empédocles y Euclides [2], este último considerado el padre del descubrimiento de las leyes de la reflexión de la luz (300 años a.C.). [3]

Y aunque en ese entonces ya se conocían algunas de sus propiedades físicas, sería a partir del Renacimiento cuando su estudio y aplicación a la vida humana tomarían un impulso verdadero. Además, la invención de la electricidad y la posibilidad de iluminar a voluntad fue otro de los grandes motores de su estudio, si bien estuvo siempre atenido a la discusión de si la luz contenía partículas o si era una onda de energía.[2]Es a mediados del siglo XVII cuando aparecen casi simultáneamente dos teorías, propuestas por Isaac Newton y por su compatriota contemporáneo Christian Huygens, quienes desarrollaron la óptica y las teorías acerca de la naturaleza de la luz.[3]Sin embargo, dichas teorías propuestas por los científicos para explicar la naturaleza de la luz han ido cambiando a lo largo de la historia de la ciencia, a medida que se van descubriendo nuevas evidencias que permiten interpretar su comportamiento, como corpúsculo, onda, radiación electromagnética, cuanto o como la mecánica cuántica. [4]

2.1. Teoría Corpuscular (Isaac Newton)

Esta teoría fue planteada en el siglo XVII por el físico inglés Isaac Newton y publicada en su obra llamada *Opticks: or, a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light*. En ella expuso que la luz consistía en

un flujo de pequeñísimas partículas o corpúsculos sin masa, emitidos por las fuentes luminosas, que se movían en línea recta a gran velocidad. Gracias a estos fotones eran capaces de atravesar los cuerpos transparentes, lo que nos permitía ver a través de ellos. En cambio, en los cuerpos opacos, los corpúsculos rebotan por lo cual no podemos observar lo que habría detrás de ellos. [4]

En 1666, previamente a enunciar su teoría, Newton había realizado su famoso experimento de descomposición de la luz en colores, lo cual se lograba al hacer que un haz de luz atravesara un prisma.

La conclusión a la que llegó fue que la luz blanca está compuesta por el conjunto de los colores del arcoíris, lo que en su modelo explicaba diciendo que los corpúsculos de la luz eran diferentes en función de su color.

Aunque esta teoría explicaba con éxito la propagación rectilínea de la luz, la refracción y la reflexión, tiene varios errores, ya que Newton pensaba que la luz viaja más rápido en los medios más densos que en los medios menos densos, lo cual se ha comprobado que no es así.

Además, la idea de que los diferentes colores de la luz tienen relación con el tamaño de los corpúsculos no tiene ninguna justificación.

Newton pensaba que la reflexión de la luz se debía a la repulsión entre los corpúsculos y la superficie en la que se refleja; mientras que la refracción está causada por la atracción entre los corpúsculos y la superficie que los refracta. Sin embargo, esta afirmación se comprobó incorrecta. Se sabe que, por ejemplo, los cristales reflejan y refractan la luz al mismo tiempo, lo cual según la teoría de Newton implicaría que atrajeran y repelieran al mismo tiempo a la luz.

Por último, la teoría corpuscular no puede explicar los fenómenos de difracción, interferencia y polarización de la luz.

Si bien la teoría de Newton significó un importante paso en el entendimiento de la verdadera naturaleza de la luz, lo cierto es que con el tiempo se demostró bastante incompleta.

En cualquier caso, esto último no le resta valor como uno de los pilares fundamentales sobre los que se fue construyendo el conocimiento futuro sobre la luz.[5]

2.2. Teoría Ondulatoria (Christian Huygens)

El físico holandés Christian Huygens (1629-1695), contemporáneo de Newton, expone su teoría de modelo ondulatorio de la luz de manera muy precisa:

a) Una fuente luminosa emite ondas esféricas, de la misma manera que un movimiento ondulatorio en la superficie del agua emite ondas superficiales. Un rayo de luz está materializado por una recta perpendicular a la superficie de la onda.

b) Cada punto de una onda luminosa primaria se comporta como un centro emisor que a su vez emite ondas secundarias de la misma frecuencia y velocidad que las ondas primarias. La onda resultante es la envolvente de las ondas secundarias.

Pensó que las ondas se propagaban por un medio elástico, parecido a un gas (pues pensaba que las ondas luminosas eran longitudinales, ya que consideró una onda mecánica semejante al sonido), al que denominó "éter". El éter ocuparía entonces todo el espacio e impregnaría todos los cuerpos transparentes, incluido el vacío.[6]

En principio de Huygens establece que "Cada punto alcanzado por la onda luminosa actúa como centro emisor de ondas secundarias. Y la onda principal es la envolvente de todas esas ondas secundarias" y permite explicar comportamientos de la luz como la doble refracción (Figura 1), la difracción (Figura 2) y las interferencias lumínicas (Figura 3).

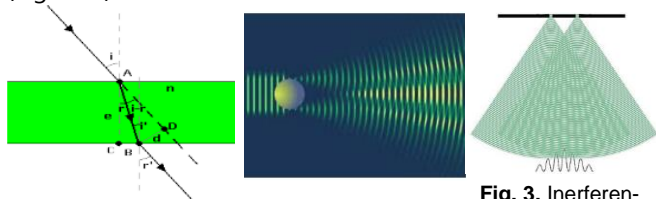


Fig. 1. Doble refracción.

Fig. 2. Difracción.

Fig. 3. Interferencias lumínicas.

En su teoría, la diferencia entre las ondas sonoras y las luminosas es que el sonido no se propaga en el vacío y la luz sí.[7]

La teoría de Huygens no fue tenida en cuenta por los científicos de la época, debido fundamentalmente al prestigio de Newton y a la dificultad de entender la presencia del éter en todo el espacio, aunque algunos físicos importantes la aceptaron, como Robert Hooke, quien la aceptó desde el principio.[6]

2.3. Teoría Electromagnética (Maxwell y Hertz)

James Clerk Maxwell (1831-1879), un matemático y científico escocés, en su obra "A Dynamical Theory of Electromagnetic Field", se limitó a usar las fórmulas de la mecánica analítica con el fin de establecer las ecuaciones del campo y deducir de ellas las consecuencias relativas a la teoría de la luz. A partir de que toda energía es de tipo mecánico, consideró como potencial la energía de los fenómenos electrostáticos y como cinética la de las modificaciones magnéticas y las corrientes. Logró así, describir las relaciones entre las magnitudes del campo electromagnético inspirándose en las ecuaciones de Lagrange relativas a los movimientos de un "sistema con ligaduras". A partir de dichas ecuaciones, demostró que las ondas electromagnéticas se propagan a la velocidad de la luz y que esta depende de la permeabilidad magnética y de la constante dieléctrica del medio. Demostró, también, que la onda magnética debe ser transversal. Así pues, había conseguido obtener los mismos resultados que daba el

modelo mecánico, pero utilizando únicamente sus ecuaciones. A partir de sus ecuaciones, dedujo nuevas propiedades de las ondas electromagnéticas:

- Estableció la relación entre la conductividad y la transparencia. Cuanto más conductor es un material, más absorbe la luz y, así, explicaba que los conductores sean opacos y los medios transparentes buenos aislantes.
- Calculó la energía de los componentes eléctricos y magnéticos de las ondas electromagnéticas y descubrió que la mitad de esta energía era eléctrica y la otra mitad magnética.
- En el caso de un rayo de luz polarizado en un plano, la onda eléctrica se propaga junto a la magnética dispuestas perpendicularmente entre sí. Señaló también que la resultante de la tensión electromagnética sobre un cuerpo irradiado con luz es una presión.

La concepción del campo electromagnético de Maxwell se puede resumir en la siguiente cita: "La teoría que propongo puede, por consiguiente, llamarse teoría del campo electromagnético por que trata del espacio en las proximidades de los cuerpos eléctricos y magnéticos, y puede llamarse teoría dinámica porque supone que en dicho espacio hay una materia en movimiento que produce los efectos electromagnéticos observados.". Añadía, que la materia hay que concebirla como una materia etérea semejante a la que asegura la propagación de la luz o del calor radiante.

En su obra "Treatise on Electricity and Magnetism", la hipótesis de la naturaleza electromagnética de la luz se reduce a la identidad de los dos éteres: el de la óptica y el de la electricidad. En un párrafo de la obra afirma: "En distintos pasajes de este Tratado se ha intentado explicar los fenómenos electromagnéticos por una acción mecánica transmitida de un cuerpo a otro gracias a un medio que llena el espacio comprendido entre ambos. La teoría ondulatoria de la luz supone también la existencia de un medio semejante. Hemos de demostrar ahora que el medio electromagnético posee propiedades idénticas a las del medio en el que se propaga la luz".[8]

Heinrich Hertz (1857-1894), profesor de la Escuela Politécnica de Karlsruhe (Alemania), se interesó en la teoría electromagnética propuesta por Maxwell. La reformuló matemáticamente logrando que las ecuaciones fueran más sencillas y simétricas. Desde 1884, pensó en la manera de generar y detectar en un laboratorio las ondas electromagnéticas que Maxwell había predicho. En 1887, construyó un dispositivo con el que logró su fin: un generador de ondas electromagnéticas.

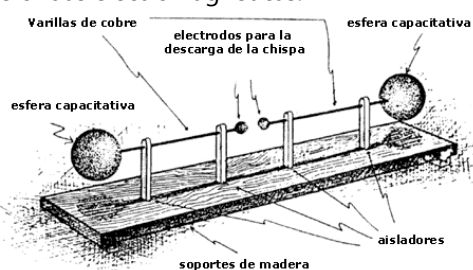


Fig. 4. Generador de ondas electromagnéticas.

El siguiente paso fue construir un detector de las ondas magnéticas que supuso eran emitidas por su dispositivo, lo cual logró y demostró que las ondas electromagnéticas existen.[9]

Los experimentos de Hertz confirmaron de forma espectacular la teoría electromagnética de Maxwell, demostrando que las ondas electromagnéticas existen, que viajan a la velocidad de la luz y que tienen propiedades ópticas de la luz. [10]

2.4. Teoría de los Cuantos (Max Planck y Einstein)

Esta teoría propuesta por el físico alemán Max Planck establece que los intercambios de energía entre la materia y la luz solo son posibles por cantidades finitas o cuantos de luz, que posteriormente se denominan fotones. La teoría tropieza con el inconveniente de no poder explicar los fenómenos de tipo ondulatorio, como son las interferencias, las difracciones, entre otros. Nos encontramos nuevamente con dos hipótesis contradictorias, la teoría de los cuantos y la electromagnética.

Posteriormente, basándose en la teoría cuántica de Planck, en 1905 el físico de origen alemán Albert Einstein explicó el efecto fotoeléctrico por medio de los corpúsculos de luz, a los que llamó fotones. Con esto propuso que la luz se comporta como onda en determinadas condiciones. [4]

2.5. Mecánica Ondulatoria (Luis Broglie)

En 1924, el físico francés, Louis-Victor de Broglie (1892-1987), formuló una hipótesis en la que afirmaba que: **Toda la materia presenta características tanto ondulatorias como corpusculares comportándose de uno u otro modo dependiendo del experimento específico.**

Para postular esta propiedad de la materia De Broglie se basó en la explicación del efecto fotoeléctrico, que poco antes había dado Albert Einstein sugiriendo la naturaleza cuántica de la luz. Para Einstein, la energía transportada por las ondas luminosas estaba cuantizada, distribuida en pequeños cuantos de luz, que más tarde serían denominados fotones, y cuya energía dependía de la frecuencia de la luz a través de la relación: $E=h\cdot\nu$, donde ν ; es la frecuencia de la onda luminosa y h , la constante de Planck. Albert Einstein proponía de esta forma, que en determinados procesos las ondas electromagnéticas que forman la luz se comportan como corpúsculos. De Broglie se preguntó que por qué no podría ser de manera inversa, es decir, que una partícula material (un corpúsculo) pudiese mostrar el mismo comportamiento que una onda.

El físico francés relacionó la longitud de onda, λ , con la cantidad de movimiento de la partícula, mediante la fórmula: $\lambda = h/m\cdot v$, donde λ es la longitud de la onda asociada a la partícula de masa m que se mueve a una velocidad v , y h es la constante de Planck. El producto $m\cdot v$ es también el módulo del vector p , o cantidad de movimiento de la partícula. A medida que la masa del cuerpo o su velocidad aumenta, disminuye considerablemente la longitud de onda.

Esta hipótesis se confirmó tres años después para los electrones, con la observación de los resultados del experimento de la doble rendija de Young en la difracción de

electrones en dos investigaciones independientes. En la Universidad de Aberdeen, George Paget Thomson pasó un haz de electrones a través de una delgada placa de metal y observó los diferentes esquemas predichos. En los Laboratorios Bell, Clinton Joseph Davisson y Lester Halbert Germer guiaron su haz a través de una celda cristalina.

La ecuación de De Broglie se puede aplicar a toda la materia. Los cuerpos macroscópicos, también tendrían asociada una onda, pero, dado que su masa es muy grande, la longitud de onda resulta tan pequeña que en ellos se hace imposible apreciar sus características ondulatorias.

De Broglie recibió el Premio Nobel de Física en 1929 por esta hipótesis. Thomson y Davisson compartieron el Nobel de 1937 por su trabajo experimental. [11]

3. DUALIDAD ONDA-CORPÚSCULO

En 1922 era ya evidente que la luz presentaba una naturaleza doble. Parecía que el enigma de la luz había sido, por fin, resuelto. Sin embargo, algunos fenómenos, que a primera vista parecían triviales, seguían sin explicación:

Radiación del cuerpo negro: Todos los objetos emiten radiación electromagnética. Un cuerpo negro es una herramienta teórica que usamos para estudiar dicha emisión. Se trata de un objeto ideal capaz de absorber toda la luz y energía radiante que incide sobre él y, a su vez, emitirla, sin reflejar nada.

Efecto fotoeléctrico: Se trata de la emisión de electrones producida por determinadas sustancias, principalmente metales, cuando sobre ellas incide un rayo luminoso u otra radiación. Para que se desencadene el fenómeno, la luz incidente sobre el metal debe contar, al menos, con una determinada frecuencia umbral. De nuevo la física clásica se veía incapaz de explicar adecuadamente esta dependencia con la frecuencia y no con la intensidad que se daba en los experimentos en los que este fenómeno era estudiado.

Fueron estos fenómenos los que llevaron a científicos como Albert Einstein o Max Planck a admitir que la luz se comporta como si estuviera formada por unos corpúsculos o partículas a los que actualmente llamamos fotones. El efecto Compton, descubierto en 1923, vino a confirmar estas suposiciones. Así, en la década de los años 20 del S. XX se asentaron las bases de la mecánica cuántica. Según sus principios, a escala atómica la contraposición onda - corpúsculo no tiene sentido pues a esa escala ambas realidades se manifiestan indistintamente. Debemos pues, renunciar a la imagen de una partícula subatómica como una porción de materia diminuta.

La Física moderna considera que la luz tiene una naturaleza dual, comportándose como onda o como partícula según el experimento al que se someta. Es lo que se conoce como dualidad onda - corpúsculo.

Finalmente, ten presente que el nuevo paradigma introducido por la mecánica cuántica asume que no sólo las ondas electromagnéticas (la luz) presentan propiedades propias de las partículas, sino que también las partículas presentan carácter ondulatorio, como lo prueba el hecho de que pueden difractarse. [12]

4. LA VELOCIDAD DE LA LUZ

A lo largo de la historia se han realizado múltiples experimentos para determinar la velocidad de la luz. Dos de los intentos más afortunados, hoy de interés puramente histórico, fueron los siguientes:

- El astrónomo danés Olaüs C. Roemer (1644-1710) midió la velocidad de la luz a través de la observación de los eclipses de los satélites de Júpiter. El valor que obtuvo fue de unos 227.000 km/s.

- En 1849, el francés Armand Fizeau (1819-1896) utilizó un ingenioso experimento basado en el uso de espejos e instrumentos de laboratorio, que arrojó un valor aproximado de 313.000 km/s para la velocidad de las ondas luminosas.

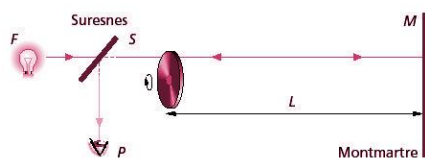


Fig. 5. Recorrido del foco luminoso emisor.

4.1. Métodos interferométricos y con láser

Con el perfeccionamiento de las técnicas de laboratorio, se hizo posible realizar medidas de la velocidad de la luz cada vez más exactas. La primera determinación acertada fue realizada por Albert A. Michelson (1852-1931) que aplicó métodos interferométricos con el fin de obtener, para el desplazamiento de las ondas luminosas, un valor de 300.000 km/s.

En nuestros días, el valor aceptado para la velocidad de la luz en el vacío es $c = 299.792,458$ km/s.

Este valor es un paradigma de la física, y se utiliza para la definición de otras magnitudes elementales.

La velocidad de la luz en un medio material es ligeramente inferior que, en el vacío, de manera que, si n es el índice de refracción del medio, las ondas luminosas se desplazan con una velocidad igual a: $v = c / n$.

Así, la luz se propaga en el agua a una velocidad aproximada de 225.000 km/s y en el vidrio a unos 200.000 km/s. [13].

5. APLICACIONES Y ACTUALIDAD

En el siglo XX, la ingeniería óptica se hizo cargo del desarrollo, junto con la electrónica, de numerosas aplicaciones modernas para la luz. Gracias a las teorías cuánticas y a los avances de la ciencia, se comprendió mucho mejor el funcionamiento de la luz.

De esta evolución surgieron tecnologías como el láser, los hologramas, el cine, la fotografía, el fotocopiado o los paneles fotovoltaicos. [14] Por otro lado, la dualidad onda-corpúsculo se usa en el microscopio de electrones, donde la pequeña longitud de onda asociada al electrón puede ser usada para ver objetos mucho menores que los observados usando luz visible. [11]

6. CONCLUSIONES

La naturaleza de la luz ha sido objeto de estudio desde la

antigüedad. Grandes filósofos, físicos y genios de distintas épocas entraron en controversia respecto al origen de la misma, llegando a conclusiones en las que se basa el actual concepto de la luz. No obstante, la ciencia evoluciona continuamente, con nuevas tecnologías y nuevas mentes brillantes, por lo que, probablemente, aún queden conocimientos por descubrir sobre la naturaleza de luz.

REFERENCIAS

- [1] <https://www.fisicalab.com/apartado/naturaleza-luz#:~:text=La%20F%C3%ADsica%20moderna%20considera%20que,conoce%20como%20dualidad%20onda%20%2D%20corp%C3%BAsculo.>
- [2] <https://www.caracteristicas.co/luz/>
- [3] http://www.medic.ula.ve/histologia/anexos/microscopweb/MONOWEB/capitulo2_1.htm
- [4] <https://www.fisic.ch/contenidos/ondas-y-la-luz/teor%C3%ADas-de-la-luz/>
- [5] <https://www.lifeder.com/teoria-corpuscular-luz-newton/>
- [6] <https://museovirtual.csic.es/salas/luz/luz27.htm>
- [7] https://mestreacasa.gva.es/c/document_library/get_file?fname=la-naturaleza-de-la-luz.pdf&uuid=ee30e531-48e8-4f30-9149-dce582aa8a05&groupId=4700475723
- [8] <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/historia/historia3.xhtml#La%20interpretaci%C3%B3n%20operativa>
- [9] http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/112/htm/sec_17.htm
- [10] <https://culturacientifica.com/2016/08/09/la-primera-confirmacion-experimental-la-teoria-max-well/#:~:text=Los%20experimentos%20de%20Hertz%20confirmaron,propiedades%20%C3%B3pticas%20de%20la%20luz.>
- [11] https://www.quimica.es/enciclopedia/Dualidad_onda_corp%C3%BAsculo.html
- [12] <https://www.fisicalab.com/apartado/naturaleza-luz>
- [13] <https://www.amarauna.euskadi.eus/es/recurso/naturaleza-de-la-luz-ondas-electromagneticas/6149467f-d3c8-4fef-af76-b1697ec7a208>
- [14] <https://www.caracteristicas.co/luz/>



Andrea Coronada García Márquez,
Grado en Química, 4º curso.

Nazaret Hernández Díaz,
Grado en Química, 4º curso.



Fátima Khalifa Rabasco,
Grado en Química, 4º curso.

