

Sobre la visión y los colores
Seguido de la correspondencia
con Johann Wolfgang Goethe

Arthur Schopenhauer

Edición y traducción
de Pilar López de Santa María

E D I T O R I A L T R O T T A

CONTENIDO

Introducción: <i>Pilar López de Santa María</i>	9
Sobre la visión y los colores.....	33
Correspondencia con Johann Wolfgang Goethe.....	121
<i>Índice de nombres</i>	151

INTRODUCCIÓN

Pilar López de Santa María

Newton, Goethe y Schopenhauer: un físico-matemático, un poeta y un filósofo; tres personajes que en apariencia poco tienen en común, salvo la genialidad, se nos presentan unidos en el interés por la naturaleza de la luz y el color. Cada uno procedente de distinta época y ámbito cultural, con diferentes personalidades y preocupaciones, con motivaciones y visiones del mundo divergentes y hasta enfrentadas. Los tres, espíritus universales a los que nada en el hombre ni en la naturaleza les resulta ajeno, quedan fascinados por un mismo fenómeno y dedican largas horas y prolongados esfuerzos a explicarlo. Y no es para menos: porque el que les ocupa no es un fenómeno cualquiera sino el *primum primum* de todos los fenómenos, la realidad omnipresente y universal que inunda y preside toda la vida de la naturaleza: la luz. La luz es lo primero que, según el Génesis, hizo Dios al crear el mundo, porque sabía que sin ella nada de lo que venía detrás podía subsistir. El lenguaje, siempre sabio, nos pone de manifiesto sus múltiples facetas y dimensiones, que la convierten en una constante en nuestra vida: la luz es, ante todo, el agente físico que hace posible la visión; pero es también la claridad de la inteligencia, la ilustración y la cultura («el Siglo de las Luces»); es símbolo de alegría («su cara se iluminó») y de comunicación («la noticia salió a la luz»); venimos al mundo cuando nuestras madres nos alumbran o nos dan a luz; y cuando lo abandonamos, nuestros seres queridos nos cierran los ojos y rezan una oración para que no caigamos bajo el poder de las tinieblas.

¿Y qué decir de los colores? Acciones y pasiones de la luz los llama Goethe, en una expresión que viene a poner de relieve que, si la luz es vida y principio vital, los colores son su biografía, los actos y padecimientos que enriquecen nuestra experiencia y conmueven nuestro ánimo, librándonos de la temible monotonía de los grises. Pues ¿qué

sería de nuestra vida si todo fuera en blanco y negro? Los colores son a la vista —podríamos decir— lo que la música al oído. Me atrevería a afirmar que ambos constituyen las producciones más asombrosas de la naturaleza; son realidades que nos transportan mucho más allá de su entidad físico-natural, abriéndonos al mundo del arte; son mitad fenómenos y mitad milagros. Y de ahí, creo yo, el interés que suscitan en los grandes espíritus. Con ellos recorreremos el camino de su investigación, en un análisis que nos llevará a remontarnos hasta los orígenes de la ciencia moderna; nos cuentan sus ensayos y sus descubrimientos, nos hablan de los prismas y la refracción, del surgimiento de los colores y el espectro, del ojo y la visión, de la influencia de los colores en el ánimo, y un largo etcétera. Nos cuentan lo que saben de la luz y los colores en su mitad fenoménica; la otra mitad, la del milagro, queda a cargo de la experiencia y la reflexión de cada cual.

1. *¿Onda o corpúsculo? La óptica en el siglo XVIII*

Es comúnmente admitido el papel protagonista que desempeñó la óptica en la revolución científica de los siglos XVI y XVII, tanto desde el punto de vista de la investigación como desde el de la inventiva. Los dos instrumentos ópticos más importantes desarrollados durante esa época, el telescopio y el microscopio, tuvieron una importancia trascendental en el avance y perfeccionamiento de la experimentación en todos los campos científicos, desde la astronomía hasta la botánica. Al mismo tiempo, los propios científicos eran los primeros interesados en profundizar en el conocimiento de los fenómenos ópticos, con la intención de perfeccionar aquellos inestimables instrumentos de observación. Así, por ejemplo, Hooke construyó el telescopio gregoriano; Newton, el telescopio reflector; y Huygens, por su parte, perfeccionó considerablemente el ocular del telescopio.

Pero es evidente que el interés de aquellos científicos por la óptica no podía ceñirse a tales cuestiones pragmático-instrumentales, sino que, por el contrario, fenómenos como la visión, la luz o el color tenían la suficiente entidad para llevarles por sí solos a escudriñar en su naturaleza. Desde antiguo se conocía la propagación rectilínea de la luz, la reflexión y la refracción, si bien la ley de esta última, la llamada ley de Snell, no fue formulada y matematizada hasta esa época. Igualmente, la aparición de colores cuando un haz de luz blanca atraviesa un prisma, fenómeno conocido desde tiempo atrás, suscitó un gran interés en los medios científicos de la época y llevó a muchos estudiosos a realizar diversos experi-

mentos prismáticos. En definitiva, se imponía la necesidad de encontrar un modelo explicativo de la luz que diera cuenta de esos y otros muchos fenómenos que se iban observando. Y en ese contexto se enfrentaron dos teorías principales que rivalizaban en explicar la naturaleza de la luz: la teoría corpuscular y la ondulatoria.

Durante el siglo XVII las teorías mecanicistas cartesianas fueron suplantando los principios de la física escolástica, basados en Aristóteles y más centrados en la cualidad que en el número. Fiel a su reduccionismo cuantitativo y a la distinción entre cualidades primarias y secundarias, Descartes ensayó una explicación mecanicista de todos los fenómenos físicos que le permitiera vincularlos con demostraciones geométricas. Es obvio que en tal intento la óptica no podía quedar al margen, lo cual le llevaría a concebir la luz como presión o tendencia al movimiento de las partículas, que se transmite a través de un medio sutil. En la base de esta explicación se encuentra la propia concepción de materia y la negación cartesiana del vacío. Recordemos que para Descartes la esencia de la materia es la extensión, de donde se infiere el sinsentido de suponer la existencia de un espacio vacío. La extensión del espacio no difiere de la extensión del cuerpo. Y así como la extensión de este último nos permite concluir su carácter sustancial, en el caso del espacio aparentemente vacío también hay que concluir que, puesto que en él hay extensión, también tiene que haber sustancia¹.

Así pues, el supuesto espacio vacío no está realmente vacío sino lleno de materia, solo que de materia invisible. Descartes distingue tres tipos de materia o elementos, de acuerdo con los tamaños de las partículas en que se fragmentó la materia cuando se le imprimió el movimiento. Las partículas más grandes (la materia gruesa o tercer elemento) se unieron para formar los cuerpos de los planetas y se caracterizan por tener una mínima disposición al movimiento y una naturaleza opaca. Los intersticios entre ellas, así como los espacios que separan los cuerpos visibles, son llenados por el segundo elemento, la materia sutil o el éter, que está formado por partículas esféricas, de índole transparente y dotadas de un rápido movimiento. Por último, el primer elemento está integrado por las partículas de menor tamaño, que llenan los intersticios de la materia sutil y conforman los cuerpos luminosos.

A partir de aquí Descartes formula su explicación de la luz en términos de presión transmitida a través de un medio continuo: el primer elemento, que conforma la materia de la estrella, gira en el centro

1. R. Descartes, *Principios de filosofía*, 16, trad. de G. Quintás, Alianza, Madrid, 1995, p. 82.

de su vórtice y trata de moverse en línea recta, presionando contra la materia sutil que le rodea y que le impide desplazarse. Esa presión se transmite hasta nuestros ojos de forma instantánea a través de un enlace continuado de partículas o corpúsculos, del mismo modo que el movimiento o la resistencia del cuerpo con que topa un ciego pasa a su mano a través del bastón: ese movimiento o acción es lo que, a juicio de Descartes, constituye la luz².

No obstante, las propiedades que Descartes atribuye a la luz en su realidad física se muestran pronto incompatibles con la óptica geométrica, lo cual le lleva a contradecir sus ideas y sustituirlas por otras que le den más juego a la hora de demostrar fenómenos tales como la refracción o la génesis del color. Así, su inicial concepción de la luz como un conato o una «tendencia al movimiento» que se transmite instantáneamente es sustituida por la idea de partículas que se mueven uniformemente a velocidades finitas³. Se trata de corpúsculos de forma esférica que giran sobre sí mismos y se desplazan en línea recta, siendo ambos movimientos de la misma velocidad. Pero en determinadas circunstancias se produce un cambio en la velocidad de rotación o de traslación, dando lugar a los fenómenos de la coloración y la refracción, respectivamente. Así, en la superficie de los cuerpos, donde se encuentra el límite entre la sombra y la luz, el movimiento giratorio de los corpúsculos aumenta o disminuye respecto de su velocidad de traslación. El color es la apariencia producida por esa diferencia de velocidad: el rojo corresponde a los corpúsculos más veloces, y el azul, a los más lentos, mientras que las velocidades intermedias dan lugar a los demás colores⁴. En sentido análogo, la refracción se explica como una alteración de la velocidad de los corpúsculos, pero, en este caso, en su movimiento de traslación. Descartes compara el comportamiento de la luz al chocar contra una superficie (por ejemplo, la separación entre el aire y el agua) con el de una pelota de tenis: al contrario de lo que ocurre con esta última, los corpúsculos de luz aumentan de velocidad al penetrar en medios más densos y se acercan a la normal⁵. Con ello Descartes se desdice de su idea inicial según la

2. Cf. R. Descartes, *Dióptrica*, discurso I, en *Discurso del método, Dióptrica, Meteoros y Geometría*, trad. de G. Quintás, Alfaguara, Madrid, 1981, p. 61; *El Mundo o el Tratado de la luz*, cap. 13, trad. de A. Rioja, Alianza, Madrid, 1991, pp. 114 ss.

3. Cf. C. Solís, *La revolución de la física en el siglo XVII*, Akal, Madrid, 1991, p. 42.

4. Cf. R. Descartes, *Meteoros*, discurso VIII, pp. 249 ss., y *Dióptrica*, discurso I, pp. 64 ss.

5. Recta imaginaria perpendicular a la superficie de separación de los dos medios en el punto de contacto del rayo.

cual la luz poseía una velocidad instantánea, pero a cambio consigue explicar la ley de Snell⁶.

Con esos vaivenes —por lo demás, tan característicos del estilo filosófico cartesiano—, Descartes plantea un modelo explicativo de la luz que, como afirma A. Rioja⁷, no se puede entender ni como corpuscular, ni como ondulatorio. Pero pese a ello (o también, precisamente por ello), históricamente se le sitúa como precursor tanto de la teoría ondulatoria como de la corpuscular, teorías que surgirían poco después de la mano de Hooke y Huygens (la primera), y de Newton (la segunda). En efecto, tanto los ejemplos propuestos en ocasiones por Descartes como su idea de partículas que se mueven a velocidades finitas resultan afines a la teoría corpuscular. Sin embargo, el modelo de la luz como presión o tendencia al movimiento se acerca más a una teoría ondulatoria, sin llegar a constituirse en tal.

En 1665, el científico inglés Robert Hooke (1635-1703) publicó su obra *Micrographia*. En ella, aparte de muchas otras cuestiones, estudiaba la coloración de láminas delgadas, como las pompas de jabón o las alas de los insectos, llegando a la conclusión de que la luz consiste en un movimiento vibratorio, un pulso simple que se propaga a través de un medio homogéneo en línea recta, en todas las direcciones y con velocidad uniforme.

El trabajo de Hooke, unido al de otros científicos como Francesco M. Grimaldi con sus observaciones sobre la difracción, o Ignace Pardies, sirvió de base al holandés Christiaan Huygens (1629-1695) para proponer su teoría ondulatoria de la luz, expuesta en su obra *Traité de la lumière* (1678). Huygens pensaba que la luz era un proceso mecánico, una especie de movimiento que actúa sobre nuestra retina. Pero no podía tratarse de un proceso de transporte de materia, ya que los rayos de luz se entrecruzan sin estorbarse. Así que Huygens concluye que la luz es una vibración con forma de onda semejante al sonido o a las ondulaciones que produce una piedra lanzada a un estanque. Y al igual que estos necesitan el aire y el agua —respectivamente— para transmitirse, también la luz requiere un medio para propagarse. Huygens propone a este respecto uno comúnmente aceptado en la época: el éter, medio

6. Ley de la refracción formulada por el matemático holandés Willebrord Snell hacia 1620. Establece que el seno del ángulo de incidencia es proporcional al seno del ángulo de refracción, siendo ambos ángulos medidos desde la normal. Descartes fue el primero en publicar esta ley, aunque no citó a Snell.

7. Cf. A. Rioja, Introducción a R. Descartes, *El Mundo o el Tratado de la luz*, pp. 75-76.

elástico que llena el espacio vacío y transmite en todas direcciones las perturbaciones que producen en él los objetos luminosos.

Una de las principales aportaciones de Huygens fue la elaboración de un método geométrico para explicar la propagación de las ondas: el denominado «principio de Huygens». Según él, cada punto de un frente de onda es un foco de emisión de ondas secundarias que no son visibles más que en su envolvente. Con su teoría, Huygens pudo explicar las leyes de la reflexión y la refracción, además de diversos fenómenos ópticos tales como la doble refracción del espato de Islandia, a raíz de cuyo estudio descubrió también el fenómeno de la polarización. Sin embargo, la teoría ondulatoria encontró diversas dificultades para abrirse camino en la comunidad científica de la época. Por una parte, sus detractores (con Newton a la cabeza) le achacaban su incapacidad de explicar la transmisión rectilínea de la luz. Si la luz era de naturaleza ondulatoria, debería rodear los obstáculos y doblarse hacia las sombras⁸. Además, la teoría de Huygens carecía de un lenguaje matemático adecuado, no daba cuenta de los fenómenos cromáticos y, sobre todo, fue víctima de la enorme influencia y el prestigio científico adquirido por Newton, que se opuso frontalmente a ella. El hecho es que durante todo el siglo XVIII la teoría ondulatoria quedó totalmente desbancada y tuvo que esperar hasta que, ya entrado el siglo XIX, las investigaciones de Thomas Young (1773-1829) y Augustin Jean Fresnel la rehabilitaron proporcionándole respaldo experimental y tratamiento matemático. El tiempo también terminaría por dar la razón a Huygens en otras cuestiones; así, en 1848 Fizeau consiguió medir la velocidad de la luz en distancias terrestres, corroborando la tesis del holandés de que la velocidad de la luz disminuye en medios más densos, mientras que Newton sostenía exactamente lo contrario. Pero dejemos a Huygens y pasemos a examinar las teorías de su gran rival.

En junio de 1665, se declaró en Londres la Gran Plaga, uno de los últimos grandes brotes de peste en Europa, que mató entre setenta mil y cien mil personas en Inglaterra. La Universidad de Cambridge se vio obligada a cerrar sus puertas y Newton regresó a su aldea natal en Lincolnshire. En marzo de 1666, la remisión de la peste le permitió reincorporarse a las actividades académicas, que tuvieron que suspenderse otra vez en junio debido a un nuevo brote y no se reanudaron definiti-

8. Y así era: se trataba del fenómeno de la difracción de la luz, descubierto por el ya mencionado Grimaldi. No obstante, la obra de Grimaldi se publicó después de su muerte y fueron pocos los que conocieron sus descubrimientos. Véase J. Gribbin, *Historia de la ciencia: 1543-2001*, Crítica, Barcelona, ³2006, pp. 329-330.

vamente hasta abril de 1667. Fueron casi dos años de aislamiento dedicados en gran medida a la reflexión, la experimentación y el estudio, y que habían de producir unos frutos espectaculares. En una carta dirigida al biógrafo Pierre des Maizeaux y descubierta póstumamente, Newton enumeraba los logros obtenidos en su aldea de Woolsthorpe durante los años de la peste y se refería a aquella época en los siguientes términos: «En aquellos días estaba en mi mejor edad para la invención y me ocupaba en las matemáticas y la filosofía más de lo que nunca lo he hecho desde entonces». Es probable que las palabras de Newton tuvieran una buena dosis de exageración y que los logros mencionados estuvieran aún lejos de hallarse perfilados. Pero lo cierto es que sus biógrafos acostumbra a designar el año 1666 como el *annus mirabilis* o año de los milagros. Y no es para menos: porque al término de ese periodo, y sin haber cumplido aún los veinticinco años, Newton había sentado las bases de lo que serían sus tres contribuciones fundamentales: el cálculo infinitesimal (denominado por él «método de fluxiones»), la óptica y la teoría de la gravedad.

Cuando Cambridge se reabrió definitivamente, en 1667, Newton fue nombrado *minor fellow* y dos años más tarde sucedió a Isaac Barrow en la Cátedra Lucasiana. Durante ese tiempo la óptica ocupó una buena parte de sus investigaciones. En aquellos años (1664 o 1666, según las fuentes a que nos atengamos) Newton había comprado un prisma para examinar «el célebre fenómeno de los colores». Quizá no sea excesivamente aventurado pensar que su interés por el tema tenía una motivación más allá de lo puramente teórico y que el joven científico estaba buscando el modo de corregir la aberración cromática que se producía en el telescopio refractor. De hecho, uno de los principales resultados de sus investigaciones ópticas fue la construcción, en 1668, del telescopio reflector, que corregía dicho problema, y que le valió el reconocimiento internacional y el ingreso en la Royal Society. Todo ello coincide con la formulación inicial de su teoría sobre la composición de la luz y los colores. Newton expuso por primera vez dicha teoría en una carta fechada el 6 de febrero de 1672 y dirigida a Oldenburg, por aquel entonces secretario de la Royal Society. La carta fue leída dos días más tarde en la Royal Society y se publicó en sus *Philosophical Transactions*⁹, al

9. Véase «A Letter of Mr. Isaac Newton, Professor of the Mathematicks in the University of Cambridge; Containing His New Theory about Light and Colors: Sent by the Author to the Publisher from Cambridge, Febr. 6. 1671/72; In Order to be Communicated to the R. Society», en *Philosophical Transactions* 6 (1671), pp. 3075-3087 (<http://rstl.royalsocietypublishing.org/content/6/69-80/3075.full.pdf>).

tiempo que se encargó a Hooke redactar un informe sobre ella. Hooke la criticó ampliamente (a estas críticas se unirían otros como Huygens y Pardies) y Newton, por su parte, reaccionó de manera airada y hasta desproporcionada, con lo que se suscitó una larga polémica que fue avivada, al parecer, por las interferencias de Oldenburg¹⁰, y que llevó a Newton a recluírse en sus investigaciones y a retrasar la publicación de su *Optiks* hasta después de morir Hooke.

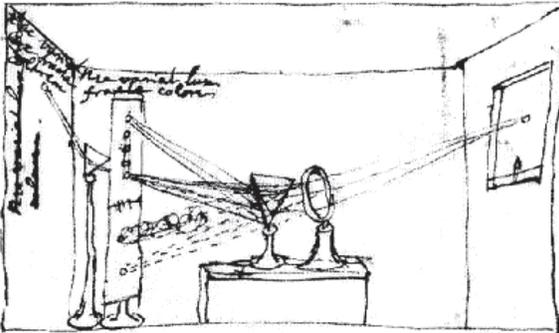
Newton consideraba que la característica fundamental de la luz era su transmisión rectilínea, lo cual le impedía aceptar la teoría ondulatoria por considerarla incompatible con aquella. En su lugar adoptó una teoría corpuscular de corte cartesiano, pero asumida con mayor consecuencia: la luz es una emisión de corpúsculos luminosos generada por determinados cuerpos. Pero esos corpúsculos (aquí se encuentra la novedad) no son homogéneos, sino que poseen diferentes tamaños que dan lugar a los distintos colores, siendo los más pequeños los que producen el violeta y los más grandes los que originan el rojo. Con esto Newton se desmarca de un golpe de todas las teorías anteriores, que consideraban que la luz blanca —la luz solar— era un pulso homogéneo cuya modificación mecánica daba lugar a los colores. Él, por el contrario, demostró la existencia de colores puros (las llamadas «luces homogéneas») y la complejidad de la luz blanca.

En la mencionada carta a Oldenburg, Newton relataba el origen y desarrollo de sus experimentos cromáticos: tras haber oscurecido su estancia y practicado un pequeño agujero redondo en la contraventana a fin de que entrara un pequeño haz de luz, colocó el prisma de modo que la luz refractara en la pared de enfrente con refracciones iguales en ambas caras, produciéndose así la imagen a la que él, por vez primera, le dio el nombre de «espectro». Lo que al principio era un agradable pasatiempo ante la visión de los colores que se producían fue derivando en la sorpresa cuando Newton observó que el espectro tenía forma oblonga, mientras que, según las leyes de la refracción, tenía que ser circular. En principio este resultado se mostraba incompatible con el carácter homogéneo de la luz y las teorías modificacionistas. Sin embargo, antes de proceder a su refutación, Newton examinó si el alargamiento del espectro se debía a circunstancias particulares de la realización del experimento: por ejemplo, a los límites entre la luz y la sombra, a posibles irregularidades del prisma, etc. Ante la imposibilidad de proseguir indefinidamente ensayando hipótesis para salvar una teoría modificacionista que se mostraba cada vez

10. Cf. J. Gribbin, *op. cit.*, pp. 144 ss.

más débil, Newton diseñó su famoso *experimentum crucis*. Tal expresión había sido empleada por Robert Hooke en su *Micrographia* para designar aquel experimento que es capaz de decidir entre dos teorías científicas opuestas que predicen resultados distintos para una misma situación. Posteriormente, fue asumido por Francis Bacon en su libro *Novum Organum*, donde hacía referencia a la *instantia crucis*, es decir, al punto en el que se cruzan dos hipótesis de orientación diferente.

El experimento crucial descrito por Newton¹¹ consistía, en esencia, en lo siguiente: en el postigo de la ventana se practica un agujero que deja pasar a la habitación oscura un gran haz de luz solar. Este haz se dispersa a través de un prisma móvil que, mediante un pequeño giro, proyecta una pequeña parte del espectro, de un solo color, sobre un pequeño orificio practicado en una pantalla. A determinada distancia de esta pantalla se sitúa otra con otro orificio, detrás de la cual se coloca un segundo prisma fijo que de nuevo refracta la luz (esta vez el rayo monocromo) y la proyecta sobre la pared.



De acuerdo con la teoría modificacionista, la segunda refracción debía producir las mismas alteraciones de la luz ocasionadas por la primera. Sin embargo, Newton constata que no es así: la luz que pasa por el segundo prisma ya no se dispersa, sino que sigue siendo de un solo color, y además produce una imagen redonda y no alargada. De ahí infiere que la luz blanca no es un pulso homogéneo que se modifica con cada refracción, sino una mezcla heterogénea de rayos simples que, tras haberse separado en la primera refracción, permanecen inalterables en refracciones posteriores. Pero además Newton observa que cada haz de diferente

11. Cf. I. Newton, *op. cit.*, p. 3078, y *Óptica*, trad. de C. Solís, Alfaguara, Madrid, 1977, pp. 47 ss.

color que se selecciona experimenta el mismo grado de desviación en las dos refracciones, siendo el haz rojo el de menor desviación y el haz azul el más desviado. Con ello logra demostrar experimentalmente las dos primeras proposiciones de la *Óptica*, a saber: que la luz que difiere en color difiere también en grado de refrangibilidad; y que la luz del sol consta de rayos de diferente refrangibilidad¹². Los rayos simples (las llamadas «luces homogéneas») son siete y determinan los siete colores primarios¹³: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta. La elección de este número para distinguir los colores espectrales tiene que ver con una antigua tradición que vincula los colores con los días de la semana, los planetas del sistema solar conocidos por aquel entonces y, en especial, con las siete notas musicales, con las que Newton les busca expresamente una conexión. Por lo demás, así como los siete colores son el resultado de la descomposición prismática de la luz blanca, esta puede ser recompuesta por la suma de todos ellos, tal y como se demuestra en diversos experimentos, entre los que destaca el famoso círculo de Newton.

La óptica newtoniana supone, en definitiva, un paso más en el desarrollo de la física matemática y la cuantificación de la naturaleza emprendida por la ciencia moderna. La demostración de una conexión constante entre los grados de refrangibilidad y los colores supone reducir las diferencias cualitativas de los colores a relaciones numéricas, haciendo que la física ceda una parcela más a las matemáticas¹⁴. Por eso no es de extrañar que la teoría newtoniana encuentre uno de sus principales destructores en quien es a la vez una figura sobresaliente del arte universal y la piedra angular del Romanticismo europeo: Goethe.

2. *Acciones y pasiones de la luz*

Espíritu polifacético y de grandes dotes de observación, Goethe fue uno de los principales representantes de la *Naturphilosophie*. Dedicó, como es bien sabido, grandes esfuerzos al estudio de la naturaleza que se plasmaron en diversos escritos sobre botánica, anatomía comparada, zoología, mineralogía, etc. Las investigaciones sobre el color, por su parte, tienen su origen en una motivación artística, según relata el propio Goethe

12. Cf. I. Newton, *Óptica*, pp. 27 y 32.

13. *Ibid.*, pp. 11-12: «Llamo luz simple, homogénea y similar, a aquella cuyos rayos son igualmente refrangibles [...] Llamo primarios, homogéneos y simples a los colores de la luz homogénea».

14. Cf. C. Solís, *op. cit.*, p. 46.