

## LUMEN Y LUX: DISCUSION DE UN PROBLEMA SEMANTICO

*Giuliana Vicarioli*

Cuando se formula la pregunta: "¿Tienen colores las cosas en la obscuridad?", la gran mayoría de las personas interpeladas, dan una respuesta negativa, pues es parte del sentido común que los colores tengan que ver con algo que llamamos luz, y que la obscuridad signifique ausencia de ese algo.

El hombre es un animal esencialmente visual, recibe la mayor parte de su información por los ojos y esto hizo que el problema de la luz surgiera desde tiempo inmemorial. Si el hombre careciera de estos sensores especializados probablemente el problema no hubiera surgido sino hasta muy tarde, como surgió tarde el problema de las micro-ondas o de los rayos X.

Una vez formulada la pregunta, comenzó el proceso de dar la respuesta. En la Grecia Antigua se proponen las primeras y variadas explicaciones, pero con una conclusión común: que no podía decirse nada acerca de la naturaleza de la luz, si primero no se definía el mecanismo de la visión, si no se explicaba primero el significado de "ver" y "como se veía".

La posición epistemológica general, era la del realismo, es decir, se admite la existencia de cosas reales independientes de la conciencia: existe un yo, una psique, una ánima, la cual puede darse cuenta de una realidad que existe fuera de ella, de aquello que se llama mundo externo. Este conocimiento del mundo externo se realiza en forma exclusiva por medio de los sentidos.

El yo tiene sede en el cerebro, del cual parten las ramificaciones nerviosas a los órganos periféricos de los sentidos. A estos órganos llegan las señales exteriores, y de ellos al cerebro a través del sistema nervioso. Allí, el yo los recibe, los examina, se da cuenta de lo que rodea al cuerpo y en consecuencia reacciona.

En este cuadro general entra la vista junto a los

otros sentidos. Una vez establecido esto, es problema por determinar con qué procedimiento los objetos externos revelan su existencia y sus características a los órganos periféricos.

Para el tacto y el gusto se observó la necesidad de contacto material; en cuanto al olfato se notó fácilmente la existencia de emanaciones, de vapores, o sea, algo material, gaseoso, que era despedido por el objeto y entrada por la nariz. En cuanto al oído, se observó la vibración material del cuerpo sonoro y la transmisión de éste a través del medio que lo separa. En el caso de la vista, el problema es mucho más complicado, la hipótesis de que algo fluye entre el objeto y el ojo fue enunciada por Demócrito. Pero existía una dificultad en efecto, el ojo percibe colores, como el oído los sonidos; pero percibe también y contemporáneamente las formas, localizando las cosas y su distribución en el espacio que lo rodea, con una precisión y una fineza enorme. ¿En qué modo todo esto puede ser traído hasta los ojos por emanaciones producidas por los objetos?

El problema es, en realidad muy difícil, pero también atrasó el encontrar soluciones razonables el hecho que durante mucho tiempo en el ambiente académico prevaleció la idea de Euclides, de que no era algo que salía de los objetos y llegaba a los ojos, sino algo que saliendo de los ojos llegaba a los objetos. Así como "el bastón en manos de un ciego", naturalmente era invisible e implapable, "el rayo luminoso". Este mecanismo permitirá a Euclides construir su *Óptica* que en realidad es un tratado de geometría donde las líneas rectas son rayos luminosos. Pero este mecanismo explica mal, el porqué no es posible *Ver* en la oscuridad. En realidad, siguiendo con la analogía, un ciego es capaz de *Ver* en la oscuridad, con su bastón, así que tuvo que introducirse una hipótesis comple-

mentaría con la cual se admitía que eran necesarias ciertas condiciones externas para que los rayos visuales pudieran Ver. En las discusiones sostenidas entre los que proponían esta teoría y los adversarios parecía existir, sin embargo, un punto en el que aparentemente había acuerdo: "Que la visión era un fenómeno subjetivo", que las figuras eran vistas, creadas por el yo, con base en los elementos llevados al ojo, ya sea por los rayos visuales, ya sea por las emanaciones.

El Siglo XI vio la caída definitiva de la teoría de los rayos visuales. Los árabes primero y luego Leonardo da Vinci, notaron el fenómeno llamado "persistencia de la imagen en la retina": Si se mira el sol y luego se cierran los ojos, se continúa viendo el sol durante algún tiempo y esto no está de acuerdo con la primera teoría de los tentáculos. Una vez cerrados los ojos, estos tienen que dejar de ver. Tampoco avalan la teoría opuesta pues para que esta tuviera éxito, era necesario que se pudiera explicar, cómo a través del hoyito pequeñísimo que constituye la pupila, las emanaciones pudieran penetrar y traer toda la información de formas y colores del mundo exterior.

Desde Alhazan hasta Kepler se requirieron esfuerzos enormes para explicar lo anterior. El esquema general era el siguiente: de las fuentes luminosas, salía algo llamado "Lumen", que iluminaba los cuerpos y provocaba la emisión de imágenes (llamadas *scorze* o *species*) dotada de la forma y los colores de las mismas cosas, y con propiedades maravillosas como la de propagarse en todas direcciones a velocidades enormes, empequeñeciendo las dimensiones, pero conservando las proporciones de las partes y los colores del cuerpo del cual salieron, en modo que cuando entraban en el ojo penetraban a través de la membrana sensible, llevando a ésta, las formas y colores del cuerpo original. La visión no tiene lugar en el ojo, sino en el cerebro, en la psique, después que el estímulo periférico, a través del nervio óptico llega al cerebro. Es allí donde se crean las figuras que se ven y se localizan en el exterior, en base a los elementos que las imágenes habían traído. Así se veían la claridad, diferente de la oscuridad y a lo que podía verse se llamaba "Lux".

El problema planteado por la ciencia era determinar la naturaleza del lumen, porque de la existencia de un lux nadie dudaba, en el momento que todos la veían, pero el lumen, este agente emanado por los cuerpos luminosos, ¿qué era?

Así estaban las cosas a principios de 1600. En ese tiempo se llamaba no el problema de la luz, como ahora, sino el problema del lumen, porque era entonces claro para todos, que se trataba del lumen agente y no de la lux sensación, que se ve.

Las opiniones se dividieron en dos grupos: a) los que atribuían al lumen una naturaleza material; b) los que consideraban como una perturbación similar al sonido, es decir, de naturaleza ondulatoria. Según la terminología del tiempo, el problema se ponía en lengua latina, lengua científica de entonces como *substantia* o *accidente*.

Favorables al accidente eran los peripatéticos, mientras que la mayoría de los físicos se inclinaban por la *substantia*. Se hicieron muchísimas experiencias para decir en uno y otro sentido, pero en realidad durante siglos se habían acumulado tantas en favor de una y otra teoría. En la obra "*De Lumine*" de Grimaldi (1665) se encuentra interesantísimo resumen de esta disputa secular.

En 1604 Kepler postula "rayos rectilíneos, emitidos en todas direcciones por todos los puntos de los cuerpos" dando una explicación definitiva del mecanismo de la visión. En 1611, después del éxito alcanzado por Galileo con su telescopio, de una teoría de las lentes, explicando el funcionamiento del telescopio, lo que fue un argumento a favor de la teoría corpuscular, porque demostró la necesidad de la propagación rectilínea de la luz para dar cuenta de los fenómenos ópticos fundamentales. En efecto (según el razonamiento de entonces), si el "lumen" fuera una perturbación de tipo ondulatorio no se propagaría en línea recta, como sucede con las ondas acústicas.

La idea de que en los rayos rectilíneos postulados por Kepler se desplazaran corpúsculos a enorme velocidad resultaba plausible. Cuando Grimaldi quiso verificar esta idea experimentalmente descubrió un fenómeno nuevo y misterioso: cuando los rayos pasaban a través de un hoyo muy pequeño no continuaban en línea recta, sino, que se dispersaban formando anillos concéntricos. A este fenómeno Grimaldi llamó **Difracción** y constituye un nuevo misterio al que debería encontrarse explicación.

Insistamos en que en aquel entonces el problema era la naturaleza del lumen, es decir, de aquel agente externo, negro y oscuro, pero que tenía la propiedad de producir la lux cuando estimulaba el ojo.

Descartes había enunciado la ley de la refracción, presentándola como una manifestación mecánica.

nica de las partículas que constituían el lumen. Newton abraza la teoría corpuscular y se hace su defensor. Él ve en la refracción una consecuencia de la atracción de los cuerpos transparentes sobre los corpúsculos del lumen. Al descubridor de la ley de la gravitación universal, probablemente le agradaba la idea de poder extender al lumen las propiedades de atracción de los cuerpos materiales. Con un golpe de genio combinó la refracción con la dispersión y llegó a explicar un fenómeno que nadie había podido explicar hasta entonces: la formación de colores cuando el lumen atraviesa un prisma. Como él tenía en mente una diferente atracción y como el prisma era siempre el mismo, pensó que los corpúsculos que constituían el lumen no eran todos iguales, sino que fueran de diferentes dimensiones. Cuando estaban mezclados hacían ver blanco, cuando adquirían diferentes direcciones debido a que sus masas se separaban producían los distintos colores del espectro. Llegó así a su teoría de los colores. Considerado a la luz de los hechos experimentales que se conocían en aquel entonces, la construcción de Newton era bastante precaria, pero vista en general, apareció como algo milagroso y produjo un ambiente de euforia en el ambiente físico, con algunas consecuencias saludables, pero otras adversas y que pasamos a analizar.

En realidad, si se lee la obra de Newton se nota que fue extremadamente prudente en sus expresiones y que estaba consciente de lo precario del modelo que presentaba. Cabe hacer notar que Newton, muestra siempre una admirable precisión, sin embargo, sus admiradores no se limitan a seguirlo, sino que llegaron mucho más lejos y acabaron con decir y creer que los colores fueran no simplemente el efecto de partículas de diferentes dimensiones y que provocaban la visión en la psique cuando impresionaban el ojo, sino que fueran las partículas mismas. En consecuencia, llegaron a decir que la lux no era creada en la psique cuando el lumen estimulaba el ojo y este estímulo llegaba al cerebro, sino que era el lumen mismo, es decir, que estaba constituida por corpúsculos y que tenía una existencia independiente de la misma mente.

Como en ese tiempo el latín perdía su función de lengua científica y se comenzaba a escribir en lenguas modernas, en cada lengua fue adaptada una y solamente una palabra para indicar lumen y lux: en italiano luce, en francés lumière, en inglés light, en alemán licht, en español luz. Por todos

lados se repetía que el gran Newton habían demostrado que la naturaleza de la luz era de carácter corpuscular y que se había hallado la naturaleza de los colores, porque había demostrado que los colores eran distintos tipos de corpúsculos. Decir lo anterior, constituye una inexactitud, pues en realidad, Newton nunca cometió ese error garrafal que durante siglos se sigue repitiendo en todos los textos de física. Naturalmente, otra consecuencia decisiva fue que la substancia tomó la delantera respecto al accidente aunque esta última no desapareció por completo, sino que, resistió durante siglos con la teoría de Huyghens. Nótese, el mismo Newton al estudiar las franjas oscuras y coloreadas que aparecían en películas de aire delgadas (anillos de N., primer fenómeno de interferencia conocido), tuvo que dar características periódicas a los corpúsculos constituyentes del lumen.

En este período un naturalista danés, Erasmo Bartolino, descubre una propiedad desconcertante de los cristales del espato de Islandia: un rayo de luz, cuando sufre difracción en dicha sustancia, se divide en dos rayos (fenómeno de la doble difracción). Este descubrimiento amenaza de muerte la construcción Newtoniana, incapaz de explicarle, mientras que Huyghens con un golpe de genio los explica admirablemente, sin embargo, poquísimas personas aún en el ambiente científico tuvieron conocimiento de esto.

A principios de 1800 y por obra de tres personas ajenas al ambiente científico, la teoría corpuscular cayó. Malus, un teniente coronel del genio militar francés, fue quien aclaró el fenómeno de la doble difracción del espato de Islandia y los fenómenos afines de polarización. Un joven médico inglés, Young, explicó la formación de las franjas de interferencia y un ingeniero civil francés, Fresnel, explica con el mecanismo ondulatorio el fenómeno de difracción de Grimaldi. A partir de 1815, los corpúsculos son sustituidos por ondas, pero el concepto epistemológico, no cambia que las ondas eran la luz. Es más, si se quiere empeoró la confusión, pues al lograr Young medir la longitud de estas ondas se encontraron entre 0,8 y 0,4 micrones de longitud. Aquí no tenía cabida la mente del observador. Si un ojo al cual llega una luz de 0,4 micrones no veía violeta, peor para él, porque la luz era violeta.

El problema de la física era encontrar la naturaleza de estas ondas, consideradas como perturbaciones elásticas del éter, y después, por

obra de Maxwell consideradas como parte de las radiaciones electromagnéticas. Sigue un período de euforia entre los físicos, la naturaleza de la luz ahora sí aparecía claramente y como en todo período similar en la historia, si algún hecho no cuadra bien en el marco, se prefiere ignorarlo.

En efecto, las nefastas consecuencias de la confusión lingüística de lumen y lux comenzaban a hacerse sentir. Con el descubrimiento debido a Herschel que más allá del rojo existía "algo" que no se veía pero que se manifestaba haciendo subir la escala de un termómetro (hoy se llama infrarrojo). Poco después se descubrió el llamado ultravioleta, se comenzó entonces a hablar de "luz invisible". Recuérdese que si inicialmente se decía que luz era aquello cuya ausencia es la oscuridad, ¿qué sentido tiene hablar de luz invisible? Sin embargo nadie se preocupó mucho del asunto admirándose todos del grandioso cuadro sintético en el cual los físicos habían logrado revelar ondas desde la longitud de kilómetros hasta micrones, ondas radio, ondas radar, infrarrojo, visible, ultravioleta, rayos X y rayos gama, en este espectro la luz visible ocupa un pequeño intervalo entre una gama enorme de luz invisible. Esta clamorosa conquista en un clima de optimismo fue seguida por una crisis tremenda al descubrirse un fenómeno de interacción de la luz con la materia, el fenómeno fotoeléctrico el cual no era posible explicar si se consideraba la luz como onda. Einstein en 1905 dio una explicación posible del fenómeno recurriendo de nuevo al modelo corpuscular, esta vez los fotones; se piensa en la luz como cantidad de energía que sin embargo debe tener un carácter ondulatorio en sí para poder explicar los fenómenos de interferencia, polarización y difracción. Así deberían existir fotones rojos, amarillos, violetas, pero esto nadie lo dice. Se prefiere al hablar de colores referirse a la longitud de onda. En ausencia de un modelo satisfactorio, único, se usa alternativamente el corpuscular y el ondulatorio, según el fenómeno que estudie. En el caso de los colores se habla de longitud de onda, porque el hablar de una energía roja o azul carece en realidad de significado.

Si se estudia la historia de la fotometría, la ciencia que pretende tener medidas de la luz, se nota en realidad que cualquier medida fotométrica se limita a establecer relaciones comparativas entre elementos energéticos los cuales tienen con la luz un parentesco muy lejano. El caso de la colorimetría merece mencionarse que a principio

del siglo pasado Young encontró que cualquier color viene de la composición de tres colores fundamentales, en dosis oportunas, Maxwell estudió el problema nuevamente, pero la cosa resultaba muy molesta y aunque la técnica de la tricromía se consolidó, en realidad los físicos, convencidos de haber encontrado "la naturaleza del color" se ocuparon muy poco de ello. El hecho de que tres colores fundamentales, mezclados en dosis diferentes dieran lugar a cualquier color; aún el blanco atrajo la atención de los fisiólogos, pensaron que en la retina habían tres tipos de células receptoras. Aunque estas teorías no tuvieron mucho éxito, se encontró que en realidad la terna de colores fundamentales podía ser muy variada.

Resumiendo, fotometría y colormetría llegan a la conclusión de que no puede hablarse de color sin hablar de luz, o mejor dicho de lo que se ve, y que la visión era definida por tres elementos: la luminosidad, el tono y la saturación.

Los tonos de color pueden ser saturados, es decir, puros o mezclados con blanco. Por ejemplo, desde el azul se pasa con variadas gradaciones hacia el celeste, lo cual se expresa diciendo que la saturación disminuye desde el azul al celeste. ¿Qué pasa entonces con la longitud de onda? Si el mismo verde puede obtenerse con una onda monocromática de 0,55 M y puede obtenerse con innumerables combinaciones de ternas de ondas diversas y sigue viéndose verde aún cuando haya mezclado blanco, ¿qué relación existe entre la longitud de onda y el color? Todo esto pide un nuevo planteamiento en las posiciones, parecía como si en la sinfonía de la síntesis de Maxwell hubiera una nota fuera de tono.

Y esta nota falsa resulta del haber confundido el lumen con el lux, y de índole puramente semántico. Vamos a intentar reconstruir el cuadro anterior sin esta confusión y para usar términos modernos carentes de ambigüedad llamaremos radiación a lo que los antiguos llamaron "Lumen" y luz a la "Lux", es decir, a la "luz que se ve".

La radiación difusa desde un cuerpo llega al ojo y a la retina, allí provoca una reacción fotoquímica, similar a la que provoca en una película fotográfica. De la retina parte una señal a lo largo de las fibras nerviosas, señal que debe llevar a la psique los elementos aptos a construir la forma, la luminosidad y el color del cuerpo observado. Según el modelo, la psique crea entonces una figura y lo coloca en el espacio circunstante, dándole forma, posición, la luminosidad y el color

que resulta de la característica de la señal nerviosa que llega al cerebro. A esto se llama ver aquel objeto, cuya radiación llegó al ojo, pero a través de una reacción fotoquímica de una transmisión

nerviosa y de un juicio psíquico, lo cual es un trámite muy largo para decir simplemente que el color azul es una radiación electrónica de una determinada longitud de onda.

#### BIBLIOGRAFIA

Ronchi V. *Un grande uomo di fronte a un grande mistero: Newton le interferenze luminose*. Sapere 76:109.

Schurmann, P. *Historia de la Física*. Ed. Nova Buenos Aires. Tomo I, II.