

amarillos quedan interceptados, y el rayo que sale es rojo oscuro. Esto viene á ser una puesta de sol artificial. El azufre finamente dividido refleja la luz azul y trasmite la roja. Si el azufre opalescente disminuye en un tercio la luz visible, intercepta enteramente los rayos químicos. El vidrio opal parece blanco ó blanco-azulado por la luz reflejada y rojo por la transmitida.

«Finalmente, la tinta puede variar del rojo oscuro al amarillo y hasta al azul, segun el grueso de las partículas reflectoras, y así se explican los variados matices de los crepúsculos y de las auroras.»

Otro físico inglés, Tyndall, ha hecho deducciones muy parecidas á las de Roscoe; pero ha procurado profundizar más aún la naturaleza íntima del fenómeno. No podemos mencionar aquí todos sus experimentos, á pesar de lo cual creemos oportuno reproducir algunos párrafos del sabio físico en los que interpreta ingeniosamente la causa del color azul del cielo:

«En realidad, sea cualquiera el agente que nos envía la luz del cielo, ejerce una acción dicróica. La luz reflejada es azul; la transmitida, anaranjada ó roja; por consiguiente, hay aquí una marcada diferencia entre la sustancia del cielo y la de una nube ordinaria, la cual no ejerce ninguna acción dicróica de este género. Reuniendo las fuerzas de la imaginación y de la razón, podemos penetrar este misterio del modo siguiente. En la nube no influye la magnitud de las ondulaciones del éter, pero las refleja todas igualmente; no las escoge, lo cual puede proceder de que sus partículas son tan grandes con relación á las ondas del éter, que las refleja todas indistintamente. Supongamos que las partículas reflectoras, en lugar de ser muy grandes, sean muy pequeñas con relación á las ondas. En este caso, no detienen y despiden en gran parte la onda entera, sino que tan sólo rompen y reflejan una pequeña porción de ella, sobre la cual pasa la gran masa de la onda sin sufrir reflexión alguna. Lancemos, pues, con el pensamiento á nuestra atmósfera un puñado de esas pequeñas porciones extrañas, y recomendamos á nuestra imaginación que observe su acción en las ondas solares. Las ondas de toda magnitud chocan con dichas porciones, y á cada choque se ve una parte

de la onda herida desprenderse por reflexión.»

Tyndall compara entonces las ondas rojas con las olas del Océano y las azules con las simples arrugas del agua, y demuestra que las partículas de la atmósfera deben reflejar en mayor proporción las ondas más pequeñas, de suerte que el azul será el color dominante de la luz reflejada.

«Ocupémonos ahora, continúa, de la luz que pasa entre las partículas sin dispersarse. ¿Qué es de ella en definitiva? A consecuencia de sus choques sucesivos con las partículas, la luz blanca va perdiendo más y más la proporción de azul que debe contener. Fácil es prever lo que de esto resulta. La luz transmitida á cortas distancias debe parecer amarilla, mas á medida que el Sol desciende hácia el horizonte, aumenta el espesor de la atmósfera atravesada y con él el número de partículas que dispersan la luz, las cuales la hacen perder sucesivamente el morado, el añil, el azul, y hasta alteran las proporciones del verde. La luz transmitida en tales circunstancias debe pasar del amarillo al anaranjado, y luego al rojo. Esto precisamente es lo que nos presenta la naturaleza, y al paso que la luz reflejada nos ofrece á medio día el azul oscuro del cielo de los Alpes, la transmitida nos ofrece al ocaso el rojo encendido de las nieves de los Alpes. Es indudable que estos fenómenos ocurren como si nuestra atmósfera fuese un medio ligeramente perturbado por partículas extrañas de suma tenuidad, que se mantuvieran mecánicamente en suspensión en ella.»

Debemos hacer asimismo mención de los experimentos de M. A. Dupasquier, que ya en 1845 se ocupaba de la influencia de las partículas finamente divididas en la coloración azul de los medios en que se hallan en suspensión. La plata, el azogue, el bismuto, el arsénico, el antimonio en polvo y varios compuestos metálicos en suspensión en un líquido, le han presentado en diferentes grados una tinta azulada; y á causa de esto indica si sería posible explicar de la misma manera «ciertas coloraciones azules que se notan en la naturaleza, por ejemplo, la de los glaciares, que tal vez dimanara de su estado de granulación, y la de los lagos, que podría depender de ciertas partículas heterogéneas sutilísimas, mantenidas en suspensión en una masa de agua de gran espesor.»

Estas cuestiones han sido estudiadas y resueltas despues, especialmente por Tyndall, en el sentido que ha treinta y cinco años indicaba Dupasquier.

La iluminación de los medios transparentes ha sido objeto de nuevos é interesantes estudios por parte de M. Lallemand; mas aparte de que estos no están aún terminados, su reseña nos obligaría á entrar en consideraciones más elevadas de lo que permite esta simple descripción de los fenómenos de la luz y de los colores.

VII

INFLUENCIA DE LAS LUCES ARTIFICIALES EN LOS COLORES DE LOS CUERPOS

Nadie ignora que los colores no son á la luz del día los mismos que de noche á la luz de las lámparas de aceite, de las bujías ó del gas. Como se ha convenido en llamar á los diurnos *colores naturales*, resulta que todas las luces que no sean la solar, y en especial las luces artificiales, alteran más ó menos los colores. Una tela que parece azul de día parece verde de noche y viceversa. Este efecto no deja de tener su importancia para los tocados de las damas, para los adornos y tapices de los salones y para las decoraciones teatrales. Aquí sólo nos toca hablar de él desde el punto de vista de la causa de dichas alteraciones, que el análisis prismático de las llamas basta para hacer comprender. Tomaremos algunos detalles y datos curiosos de un trabajo hecho acerca de este asunto por el químico francés Nickles.

Este sabio reconoció que el percloruro de manganeso combinado con el éter forma una sustancia que en plena luz del día es de un hermoso verde, y á la del gas parece negra.

Un pigmento de un bonito color carmesí, sacado del ligustro, colora de azul ciertas soluciones salinas. Tal es por lo ménos el color que resulta de día. Iluminadas por el gas estas soluciones azuladas adquieren diversas tintas: roja, si la solución contiene carbonato de cal ó cloruro de zinc; verde si es nitrato de cal ó cloruro de calcio; azul, si bicarbonato de potasa.

Pues bien, estos cambios de color no ocurren si en vez de alumbrar con gas dichas soluciones, se hace uso de la luz de magnesio. Lo propio acontece con la combinación etérea del per-

cloruro de manganeso, la cual es verde á la luz del magnesio y á la del día. La luz eléctrica tampoco hace perder á los cuerpos los colores con que se los ve á la luz solar.

¿De qué dimana esta diferencia entre la luz del magnesio ó del arco voltaico y la producida por el gas de carbon de piedra, por el aceite de las lámparas ó por la estearina de las bujías? Del sodio que estas últimas luces contienen siempre en corta aunque suficiente cantidad para comunicar á las llamas el matiz amarillento que proviene de la raya del espectro sódico. Los experimentos hechos no dejan la menor duda acerca de esto: y sabemos, en efecto, que todos los colores del espectro, excepto el amarillo, se extinguen á la luz monocromática del sodio, sirviendo esta circunstancia de explicación á los efectos que Nickles describe. Habiendo alumbrado con luz sódica papeles coloreados, unos de verde (manganato de barita), otros de color de naranja (bi-ioduro de mercurio), y otros de amarillo cromo, todos ellos colores magníficos á la luz del día, y ménos vivos ya á la del gas, vió que el verde se volvía negro, mientras que el amarillo y el anaranjado parecían blancos. Varios cristales verdes de acetato de cobre, rojos de nitro-prusiato de sosa, de ioduro de antimonio y de arsénico, parecen negros á la luz amarilla del sodio, que altera también el color verde de las hojas, y apenas cambia de tono los azules, excepto el de ligustro. El cloruro de cobalto cristalizado, que á la temperatura ordinaria es de color de rosa, adquiere una magnífica tinta azul cuando se le calienta en una redoma. La llama del sodio no altera este color, á pesar de ser tan desfavorable como acabamos de ver á la mayor parte de los demás.

La luz de la lámpara sódica comunica un color cadavérico, de un verde lívido, á las manos y al rostro de las personas á quienes alumbraba, y cuyos labios parecen amoratados. «Estas tintas, dice Nickles, provienen indudablemente del azul, único que ha podido resistir los efectos de extinción causados por la llama de sosa. Por lo demás, todo el que haya visto flamear un ponche ó un pudding conoce este color, porque en ellos figura en primer término el alcohol salado. Afortunadamente, este efecto desaparece con la causa que lo produce, y por fortuna también las llamas del alumbrado público no están

saturadas de sodio, de lo contrario estaríamos expuestos de noche á verlo todo azul. Pero aunque no estén saturadas de sodio, son lo suficientemente amarillas para formar verde con ciertos azules, y hé aquí sin duda por qué ciertas telas azules parecen verdes de noche, y también por qué en una habitacion muy alumbrada puede suceder que se distinga con dificultad un traje verde de otro azul, pues el verde puede resultar un poco más oscuro, mientras que el azul formará verde con la luz amarilla del alumbrado.

Estos experimentos no carecen de interés por lo que respecta á las artes. Como la llama sódica tiene la propiedad de abolir los colores, por decirlo así, un cuadro iluminado por ella aparece como un dibujo cuyos contornos subsisten gracias á las medias tintas. Es poco más ó ménos el efecto que produce la fotografía. Pero creemos que no siendo la absorcion, en el primer caso, proporcionalmente igual para todos los colores, debe resultar una alteracion de los valores relativos de los tonos, como sucede también en las mejores fotografías.

CAPITULO XVI

FOTOMETRIA

I

PRINCIPIOS DE FOTOMETRÍA

Todos sabemos por observarlo diariamente, que la potencia lumínica de una luz varía con la distancia á que se encuentra del foco el objeto iluminado. Cuando leemos de noche á la luz de una lámpara ó de una bujía, podemos notar también que, sin alterar la distancia á que de ésta nos hallamos, podemos obtener grados variables de claridad, inclinando de cierto modo las páginas del libro; y finalmente, si en lugar de una bujía ponemos muchas á la misma distancia, ó si en vez de una lamparilla pequeña nos servimos de otra mayor cuya mezcla produzca una llama más ancha, no resultará ménos evidente que la claridad aumenta en cierta proporción.

Por otra parte, la potencia lumínica varía, en igualdad de circunstancias, con la naturaleza de los focos luminosos. La llama de una luz de gas nos parece mucho más deslumbradora que la de un quinqué; la luz de la Luna es muchísimo ménos intensa que la del Sol, áun cuando los discos de los dos astros tengan poco más ó ménos la misma magnitud aparente.

Así, pues, cuando se quiere apreciar la intensidad de los focos de luz hay que distinguir ciertas circunstancias, de las cuales unas son

inherentes á los focos mismos, y otras peculiares de los objetos alumbrados por ellas, como por ejemplo la distancia, la inclinacion, etc. Los problemas relativos á esta clase de apreciaciones son los que constituyen la parte de la Optica llamada *Fotometría*, voz derivada de otras dos griegas que significan *luz* y *medida*.

No hay nada tan delicado ni difícil como la medicion de las intensidades luminosas. A pesar de todos los progresos realizados en la óptica, todavía se carece de instrumentos á propósito para medirlas con una exactitud comparable á la de los otros elementos físicos. El barómetro y el termómetro marcan con extraordinaria sensibilidad la presión atmosférica y la temperatura: sábese apreciar con delicadeza suma la altura relativa de dos sonidos; pero la fotometría dista mucho de haber adelantado tanto, y la comparacion de las intensidades luminosas de dos luces deja aún mucho que desear. ¿De qué procede esta inferioridad? De que con respecto á este asunto no tenemos otro medio de apreciacion sino el órgano con el cual percibimos la luz. La sensacion de la vista es el sólo juez en esta cuestion, y á pesar de su gran sensibilidad, el ojo es poco apto para decidir acerca de las relaciones numéricas de dos ó muchas luces que se hallan simultánea ó sucesivamente ante él.

Esta dificultad no es menor áun en el caso de tener que juzgar de la identidad de dos focos. Si las observaciones no son simultáneas, la comparacion será tanto más difícil cuanto más tiempo trascurra entre ellas. Así, pues, ante todo es preciso hacer de modo que se observe las dos luces al mismo tiempo, cosa no siempre posible (1). Las más de las veces el brillo de los focos deslumbrá, hiere la vista, la incapacita para juzgar con alguna precisión, y por esta razón los físicos, en lugar de comparar los focos mismos entre sí, observan superficies de igual naturaleza, alumbradas por esos focos en las mismas condiciones de inclinacion y de distancia. Finalmente, hay otra causa de incertidumbre de la cual no parece fácil eximirse, y es la diversidad de los colores de las luces que se ponen frente á frente. «Entre dos luces de diferentes colores, dice J. Herschel, no se puede establecer ningun paralelo susceptible de precisión; y la incertidumbre de nuestro juicio es tanto mayor cuanto más lo es esta diferencia de coloracion.»

A pesar de todas estas dificultades, se ha conseguido formular, ya por el raciocinio ó bien por la experiencia, unos cuantos principios que han sugerido la invencion de varios aparatos fotométricos de los cuales describiremos los más notables. Hoy, que el alumbrado público ó privado ha adquirido tan considerable extension, hoy, que se siente la necesidad de auxiliar la navegacion por las costas haciendo llegar á la mayor distancia posible la luz de los faros, los fotómetros son instrumentos de gran utilidad práctica; pero los primeros procedimientos ideados para comparar focos de luz debieron ser á personas entendidas que solamente tenían en consideracion la parte científica del problema. Auzout y Huygens en el siglo XVII, Andrés Celsio, Bouguer y Wollaston en el siguiente,

(1) «Tan poco puede servir el ojo para medir la luz, dice J. Herschel en su *Tratado de la luz*, como la mano para apreciar el peso de un cuerpo cogido al azar. Y esta incertidumbre aumenta á causa de la naturaleza misma del órgano que se halla en un estado de fluctuacion continua motivada por la abertura mayor ó menor de la pupila que se contrae ó dilata por la excitacion de la luz misma, y causada también por la sensibilidad variable de los nervios ópticos. Compárese el brillo deslumbrador de un relámpago en una noche oscura con la sensacion producida en pleno día por el mismo fenómeno; en el primer caso, el ojo sufre una impresion desagradable, y la agitacion violenta que experimentan los nervios ópticos de la retina subsiste algun rato despues, haciéndose ver una sucesion rápida y alternativa de luz y oscuridad. De día no produce este efecto un relámpago, y podemos observar los trazos sinuosos del rayo con mayor facilidad, y sin que nos moleste ese resplandor prodigioso que tan vivamente hace resaltar la oscuridad que precede y sigue al rayo.»

trataron de determinar el brillo relativo de las luces de los astros, por ejemplo, la intensidad de la luz del Sol, comparada con la de la Luna ó con la de las estrellas más brillantes.

El primer principio que formularon fué el siguiente: Cuando varía la distancia de un punto luminoso al objeto alumbrado por él, la intensidad que emana de este punto varía *en razon inversa del cuadrado de la distancia*. Y en

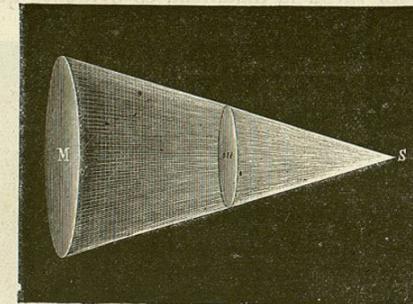


Fig. 171. — Ley del cuadrado de las distancias

efecto, el punto luminoso irradia luz en todos sentidos con igual fuerza; pero estos rayos divergen más y más conforme va aumentando la distancia. Si se detienen en la superficie de una esfera de cierto radio, producirán en un elemento *m* (fig. 171) de esta esfera una iluminacion de determinada intensidad; si, prosiguiendo su camino, se detienen en una esfera de doble radio, los mismos rayos que se difundían por la superficie *m*, se difundirán por la *M* de la nueva esfera. Ahora bien; la geometría nos enseña que *M* es cuatro veces tan extensa como *m*, y siendo la misma la cantidad de luz que se difunde por una superficie cuatro veces mayor, síguese de aquí que su intensidad será igual número de veces menor. A triple distancia, esta será nueve veces menor. Por lo general, disminuye á la par que aumenta el cuadrado de la distancia.

Por lo demás, esta ley sólo es verdadera en cuanto se hace abstraccion de la absorcion de los rayos luminosos por los medios en que se mueven. Pero también es aplicable en el caso de que el foco de luz no sea ya un simple punto luminoso y presente una superficie aparente apreciable, con tal que esté á bastante distancia del objeto alumbrado para que se le pueda considerar situado á distancia igual de todos los puntos del foco.