

viarnos los rayos del Sol, y cómo se ha reconocido que la luz de los núcleos cometarios es en parte la misma del astro solar, puesto que varios observadores han visto indicios de polarización en un plano que pasaba por el Sol y por el núcleo.

La luz del arco iris se polariza en un plano vertical al arco y que pasa por el ojo del observador; y en efecto, más adelante tendremos ocasión de ver que el arco está formado de luz reflejada por las gotitas esféricas de la lluvia. Arago se valió de la polarización por reflexión para averiguar la naturaleza de ciertas piedras preciosas, y habiendo hecho tallar una pequeña faceta en la superficie de una de ellas, determinó el ángulo de polarización y reconoció que era exactamente el del diamante. La polarización cromática es de gran auxilio para el estudio de los cristales, pues merced á ella se puede reconocer si cualquier cristal tiene uno ó dos ejes de simetría, la posición de estos ejes en el cristal, etc.

Por último, el cuarzo y gran número de líquidos, como el agua azucarada, las soluciones de ácido tártrico, la albúmina, gozan de cierta propiedad que los físicos han caracterizado con el nombre de *poder rotatorio*; una placa de cuarzo, tallada perpendicularmente al eje, desvía cierto ángulo el plano de polarización de los rayos que la atraviesan, desviación que es diferente para los rayos de los colores simples. Si la luz polarizada que ha atravesado el cuarzo es luz blanca, los colores que la componen se dispararán en proporciones diferentes, resultando cierta tinta procedente de la mezcla de los rayos que no se han disipado. Este es el fenómeno de la *polarización rotatoria*, descubierto por Arago en 1811 y cuyas leyes ha estudiado Biot experimentalmente.

Estas leyes han proporcionado á la industria un precioso método, la *sacarimetría*, mediante el cual se puede reconocer la cantidad de azúcar puro que contiene una disolución azucarada.

Vese por esto que los fenómenos que al pronto parece que no han de tener nada de interesante sino su teoría, pueden venir á parar en aplicaciones prácticas de gran importancia.

CAPITULO XV

COLORES DE LOS CUERPOS

I

COLORES DE LOS SÓLIDOS Y DE LOS LÍQUIDOS INCANDESCENTES

El análisis espectral de los focos luminosos nos ha hecho ver que en la composición de la luz hay tantos colores ó matices de colores simples como radiaciones contienen dichos focos. Las ondas luminosas producen así en nuestra retina impresiones que pasan á nuestro cerebro produciendo en él la sensación del color, del propio modo que las vibraciones sonoras, más ó menos rápidas, determinan en nosotros la sensación de los sonidos sucesivos, graves con respecto á las ondas cuya propagación es más lenta, agudos relativamente á las que se propagan con mayor rapidez. La serie de vibraciones luminosas perceptibles por nuestros ojos está comprendida entre el rojo más oscuro del espectro solar y el morado extremo; antes ó después de estos colores hay, según hemos visto, vibraciones más lentas como también vibraciones más rápidas; pero

ni las unas ni las otras causan en nosotros sensación de color. Así también no percibe nuestro oído las vibraciones capaces de engendrar el sonido tan luego como su rapidez no llega á cierto límite ó traspasa otro límite superior. Pero las dos escalas limitadas de los sonidos y de los colores se parecen además en que son continuas, pasándose de un extremo á otro por gradaciones insensibles.

Con todo, se ha hecho notar con razón una diferencia entre los sonidos y los colores, la cual consiste en lo siguiente: Nuestro oído distingue perfectamente cada una de las sensaciones que corresponden á sonidos simultáneos: el conjunto de éstos, aun en el caso de que entre ellos existan las relaciones necesarias para que formen acordes armónicos, no produce una sola sensación, y los oídos menos ejercitados reconocen que hay, no un sonido único, sino simultaneidad de varios. En cambio, cuando la reunión de muchos colores ó sea de las radiaciones de varias longitudes de onda llega á herir á la vez nuestra retina, no producen en ella sino un solo color. Por ejemplo, el conjunto de todas las radiaciones que constituyen la luz solar, la unión de todos los colores del espectro de matices infinitos, produce en nosotros la sensación del color ó de la luz blanca, sin que nada nos haga sospechar que haya simultaneidad y multiplicidad de radiaciones.

Consideremos varios focos de luz, ya sean artificiales ó ya naturales, y comparemos la sensación que en nosotros excitan, en cuanto al color respecta, con la que nos produce la luz blanca del Sol, ó con los matices del espectro ó con sus asociaciones: esta comparación nos inducirá á clasificar estos focos en varias categorías, en luces blancas y de colores, en luces compuestas y simples ú homogéneas. Por otra parte, el análisis espectral de dichos focos nos da á conocer la razón de su coloración particular, fundada en el predominio de tales ó cuales radiaciones, de estas ó de las otras rayas brillantes en el espectro de su luz.

Ciertas luces tienen un parecido más ó menos perfecto con la del sol, como, por ejemplo, la del magnesio, la del arco voltaico y la de los metales en fusión. Ya se comprenderá que al decir esto nos referimos á su parecido general y no á las particularidades que indica el análisis, como las rayas oscuras que surcan el espectro de la luz solar. Pues bien, el carácter común á todas las luces blancas es el de tener por origen la reunión de ondas de todos los grados posibles de refrangibilidad entre los límites de las longitudes de onda que pertenecen á la parte luminosa del espectro; por lo menos no presentan sino algunos espacios vacíos sumamente apiñados.

El color de un sólido incandescente depende de la temperatura, y así lo hemos comprobado ya al hablar de las tintas que toma el platino, desde el rojo oscuro que corresponde á una temperatura de 60°, hasta el blanco deslumbrador que representa la de 1,500°. Pero lo que hay de particular en este aumento del número de radiaciones es que se verifica de un modo continuo, sin solución de continuidad y en una extensión sucesiva de la menor á la mayor refrangibilidad. Por lo regular, no sucede lo mismo con la luz de los vapores ó de los gases incandescentes. Entremos en algunos detalles referentes á ellos.

II

COLORES DE LAS LLAMAS

Un pedazo de metal, de platino por ejemplo, calentado hasta tornarse luminoso, no emite al principio sino rayos muy poco refrangibles correspondientes á la parte roja del espectro, y por consiguiente á las vibraciones luminosas más lentas. Si se eleva la

temperatura, agréganse poco á poco nuevas radiaciones, vibraciones más rápidas, á las primeras, se dilata el espectro de la luz emitida, y cuando llega á abarcar todas las radiaciones posibles entre los límites visibles del espectro solar, la luz es enteramente blanca; llegando entonces la incandescencia al punto que se llama *blanco deslumbrador*. Esto es lo que ocurre con todos los sólidos y líquidos cuya temperatura se eleva hasta la incandescencia, caracterizándose la luz de estos cuerpos por la continuidad del espectro.

Pero no sucede lo propio con los gases incandescentes ó con las llamas luminosas, pues el espectro de su luz es discontinuo. Los metales que en estado sólido ó líquido emiten rayos de todas las longitudes de onda, al ser reducidos á vapor no dan ya sino espectros discontinuos, compuestos de mayor ó menor número de rayas brillantes correspondientes á determinadas regiones del espectro, cada una de las cuales tiene su color propio. Así pues, la llama no es ya blanca; tiene un color particular que resulta de la asociación ó de la mezcla de las partes luminosas ó coloradas del espectro. Este es un punto que el análisis espectral ha puesto en plena evidencia.

Así pues, la mayor parte de las llamas luminosas son de colores, y la experiencia demuestra que esta coloración depende de las sustancias que se hallan en ella en suspensión y que la alta temperatura volatiliza. Mucho antes que el análisis hubiera dado la explicación de estos efectos, se sabía dar á las llamas ciertos colores. En los fuegos artificiales se obtenían llamas encarnadas mezclando nitrato de estronciana con sustancias explosivas; el sulfuro de antimonio daba luces blancas, y la limadura de zinc azules: tales son los efectos luminosos conocidos entre el vulgo con el nombre de *luces de Bengala*.

La luz de las velas y de las bujías, la del gas del alumbrado y la de las lámparas de aceite no es blanca, sino más ó menos mezclada de rayos rojos y sobre todo amarillos. Este último color procede de las partículas de sodio que casi siempre contienen, es el color característico de la llama sódica, estando el espectro del sodio reducido, como hemos visto, á las temperaturas ordinarias de incandescencia, á una raya brillante doble, situada en el amarillo. Se forma una lámpara sensiblemente *monocromática* mezclando con alcohol una disolución acuosa de sal marina (cloruro de sodio).

Introduciendo en la llama de un mechero de Bunsen ó de una simple lámpara de alcohol sales de diferentes especies, se obtienen colores variados. He aquí, según Herschel, algunos resultados.

Las sales de sosa dan á la llama un color *amarillo* homogéneo; las de potasa le comunican un *morado claro*; las de cal, *rojo de ladrillo*; las de estronciana, *carmesi brillante*; las de litina, *rojo*; las de barita, *verde-manzana* bajo; las de cobre, *verde-azulado*; las de cobalto, *azul*, y por fin, los sulfatos de hierro, de antimonio y de arsénico dan una luz ostensiblemente *blanca*.

Es fácil comprender la coloración variada de las llamas teniendo en cuenta las rayas brillantes de los espectros de los elementos que las constituyen. Hemos visto que el espectro del litio se compone de dos rayas, una roja y otra anaranjada; el del estroncio de muchas rayas rojas, entre las cuales hay dos anaranjadas y otra azul; que el del potasio da una raya roja y otra morada, y el del bario muchas verdes y amarillas. Otros espectros son más complicados, siendo la resultante de las diferentes rayas brillantes que los forman la que determina la coloración compuesta de la llama en que su vapor se torna incandescente; el hierro, que da radiaciones numerosísimas en toda la extensión del espectro luminoso, produce una coloración blanca, como si su radiación fuese continua, por decirlo así.

III

COLORES DE LOS CUERPOS OPACOS. - TEORÍA DE NEWTON

Lo que llamamos *color natural* de un cuerpo es el color con que le vemos cuando le alumbramos una luz blanca muy pura, como la de los rayos solares.

Si el cuerpo es apto para reflejar en proporción igual todos los colores de la luz blanca, será blanco á su vez, y de una blancura tanto más brillante cuanto mayor sea dicha proporción. Por el contrario, á medida que ésta disminuye, decrece la intensidad del color blanco, el cual se vuelve poco á poco ceniciento, se oscurece, hasta que por último llega á ser negro cuando la absorción de todos los rayos colorados del espectro es todo lo completa posible. Por lo tanto, los cuerpos *negros* son los de tal composición molecular que su superficie absorbe todos los rayos de la luz, al paso que los cuerpos *blancos* son los que los reflejan todos.

Si la superficie del cuerpo tiene la propiedad de absorber todos los rayos colorados del espectro á excepción de uno, el rojo verbigracia, el cuerpo nos parece rojo, porque no refleja en nuestro ojo más que los rayos encarnados del espectro. Si dicha superficie absorbe tan sólo una porción más restringida de los rayos colorados, el color del cuerpo será el que procede de la mezcla de los rayos no absorbidos, siendo esto lo que explica el número considerable de colores y matices de los cuerpos, colores y matices más variados que los que componen el espectro en sí. Por consiguiente, los cuerpos *colorados* son aquellos que, reflejando ciertos rayos, absorben otros. Si esta explicación es verdadera, se podrá comprobar prácticamente.

Al efecto, hagamos de modo que un cuerpo blanco reciba solamente los rayos amarillos del espectro, lo cual es fácil colocando el cuerpo en la cámara oscura y no dando paso más que á los rayos amarillos del espectro obtenido por un prisma. Dicho cuerpo parecerá amarillo; pero si lo iluminaran solamente los rayos rojos, verdes ó azules, sería respectivamente de estos tres colores. Un cuerpo negro seguirá, por el contrario, siendo negro, cualquiera que sea el color que le ilumine. Por último, un cuerpo rojo parecerá de un rojo intenso si se le ilumina con la luz procedente de los rayos rojos del espectro, al paso que parecerá negro si se expone á los rayos de los otros colores.

La experiencia confirma todos estos resultados. Obsérvase, sin embargo, que los cuerpos colorados adquieren la tinta de los rayos que los alumbran, aun cuando éstos no sean del color de aquéllos; pero dicha tinta es tanto más viva cuanto mayor analogía haya entre el color propio de los cuerpos y el de los rayos que á ellos llegan. Así, por ejemplo, "el bermellón alumbrado por el rojo parece mucho más encendido; en el anaranjado y amarillo parece de estos colores, pero su brillo es menor. Los rayos verdes le comunican también su color, mas á causa de la gran aptitud del rojo á reflejar la luz verde, parece oscuro y empañado; lo es mucho más en el azul, y en el añil y el morado es casi negro. Por otra parte, un pedazo de papel azul oscuro ó azul de Prusia adquiere extraordinario brillo cuando se le expone á los rayos de añil. En el verde se vuelve verde, pero con menor viveza; en el rojo parece casi negro." (Herschel.)

Es preciso, pues, comprender la teoría de Newton en el sentido de que las superficies de los cuerpos colorados son por lo general aptas para reflejar los rayos de cierto color en cantidad mucho mayor que los de los otros rayos, siendo esto lo que les comunica su color predominante. Sin embargo, dichas superficies no absorben enteramente

los otros rayos, y esto es lo que les impide ser completamente negros cuando se los ilumina con una luz cuyo color difiere del que les es propio.

La coloración de los cuerpos opacos parece debida sobre todo á los rayos reflejados difusamente, no á los reflejados especularmente.

Y en efecto, los cuerpos de superficie pulimentada son, por decirlo así, incoloros, ó mejor dicho, no parecen colorados sino de las tintas de los objetos cuyas imágenes reflejan. Esto no obstante, por perfecta que sea la tersura de un espejo, altera los colores de las imágenes, que parecen amarillentas en los espejos de superficie plateada ó dorada y rojizas en los de superficie cobrizá. A veces es difícil de comprobar por simple reflexión la tinta propia de un espejo; pero poniendo dos de éstos iguales y paralelos á corta distancia, los rayos que llegan al ojo después de muchas reflexiones tienen una coloración marcada.

Rara vez son los colores de los cuerpos idénticos á los colores simples de que se compone el espectro solar; en su mayoría son compuestos, de lo cual es fácil cerciorarse sometiéndolos aisladamente al análisis del prisma. Este análisis da un espectro formado de varios colores simples, siendo su mezcla la que produce el color particular observado. Basta mirar un objeto de color, como una flor ó un pedazo de tela, al través de un prisma, para observar que los bordes de la imagen paralela á la arista son irisados.

Si en lugar de iluminar un cuerpo colorado con la luz blanca del Sol ó con alguno de los colores simples que forman esta luz, se le alumbrá valiéndose de otros focos luminosos, como la luz de una lámpara ó ciertas llamas artificiales, su color se altera. Nadie ignora que el verde parece azul visto de noche á la luz de una lámpara ó de una bujía, lo cual consiste en que esta luz contiene menos rayos amarillos que la del día: pues siendo el verde un color que se obtiene mezclando el amarillo con el azul, si el primero falta en parte ó en todo, el matiz que resulta tira más ó menos á azul. Esta última observación nos lleva á hablar de los colores que se obtienen mezclando colores simples. Pero antes terminemos lo que nos proponíamos decir acerca de la teoría de Newton sobre los colores de los cuerpos no luminosos por sí mismos.

Procurando Newton investigar más profundamente las causas del fenómeno, supone que la luz incidente se descompone en la superficie. Una parte de ella queda absorbida, extinguida en los cuerpos opacos, al paso que los transparentes la transmiten. Otra es reflejada por las moléculas superficiales, á poca profundidad en los cuerpos opacos, y á varias profundidades en los transparentes. Esto es lo que explica por qué el color de la luz transmitida es por lo común en los segundos diferente de la reflejada. Hemos visto, por ejemplo, que el oro reducido á hojas sumamente tenues da paso á una luz azul-verdosa, y que su color reflejado es amarillo ó amarillo-rojizo. "Habiéndose sumergido Halley en el agua á muchas brazas de profundidad en una campana de buzo, vió que tomaba un color carmesi el dorso de su mano sobre el cual caían los rayos solares al pasar por una abertura cerrada con un cristal, mientras que la palma, iluminada por la luz que reflejaban las partes profundas del agua, parecía verde; de esto dedujo Newton que el agua da paso á los rayos rojos y refleja los morados y azules." (Daguin.)

¿Qué modificación sufre la luz reflejada difusamente? ¿Cómo obra la estructura de los cuerpos en los diferentes rayos de colores para despedir los unos y apagar los otros? Lo que produce el fenómeno de las varias coloraciones ¿es la forma, la densidad, el poder refringente de las moléculas, ó bien todos estos elementos reunidos? Preguntas sumamente delicadas son estas, á las cuales no se puede responder con exactitud en el estado actual de la ciencia.

IV

CLASIFICACIÓN DE LOS COLORES

La luz blanca del Sol, descompuesta por el prisma, produce una serie de colores que corresponden á varios grados de refrangibilidad. Estos colores son en número infinito, por decirlo así, puesto que se pasa de un extremo á otro del espectro por matices insensibles; pero es costumbre distinguir siete colores principales, cuyos nombres, tomados en su orden natural, son los siguientes:

Morado, añil, azul, verde, amarillo, anaranjado, rojo.

Fundándose algunos físicos en la posibilidad de reproducir algunos de ellos mezclando al efecto los otros, obteniendo, por ejemplo, el verde con la mezcla del amarillo y del azul, el morado con la del azul y del rojo, etc., han tratado de demostrar que el espectro sólo está formado de *tres* colores elementales ó primitivos. Según Bréwster, estos colores son el rojo, el amarillo y el azul; según Young, el rojo, el verde y el morado. Las proporciones en que se mezclan estos colores en las distintas partes del espectro explican la variedad de los matices que lo componen.

Hoy nadie acepta estas últimas teorías, por haberse demostrado que eran inexactos los experimentos en que las basaban sus autores. Así, pues, todos los colores del espectro son simples, pudiendo considerarse ilimitado su número aun cuando en la práctica se los reduzca á siete principales.

El *blanco* no es un color simple; al contrario, es el más complejo de todos los colores compuestos. El *negro* no es un color, sino la carencia completa de toda luz. Los colores compuestos, tal cual nos los presentan los cuerpos, son mezclas, en distintas proporciones, de todos los colores elementales.

Un experimento muy sencillo demuestra que se requiere el concurso de todos los rayos del espectro para producir el blanco perfecto. Este experimento consiste en interceptar cualquier parte del espectro antes de que se proyecte en la lente que sirve para la recomposición de la luz. "Por ejemplo, cuando se intercepta el morado, el blanco adquiere un tono amarillo; si en seguida se suprime sucesivamente el azul y el verde, el amarillo se va poniendo más rojo y pasa por el anaranjado al rojo escarlata y al punzó. Si se empieza por suprimir el extremo rojo del espectro, se hará pasar el blanco al verde bajo, luego al verde brillante, al azul, y por último al morado, interceptando sucesivamente los rayos menos refrangibles. Si la parte media del espectro es la interceptada, la concentración del resto de los rayos producirá varias tintas purpúreas, carmesíes, etc., según la parte que se haya suprimido. Interceptando ciertos rayos se puede obtener el color que se quiera, no habiendo matices en la Naturaleza que no se puedan imitar así perfectamente, con un brillo y una riqueza á los que jamás pueden llegar los colores artificiales." (J. Herschel, *Tratado de la luz.*)

El número de colores compuestos, resultantes de la mezcla de los colores simples ó de los diferentes rayos colorados del espectro, aumenta, pues, de un modo, por decirlo así, indefinido. En breve veremos que es posible aumentarlo más, ya añadiendo cierta cantidad de luz blanca, ó bien mezclando negro en variables proporciones.

Llámanse *colores complementarios* á dos colores que con su mezcla producen el blanco.

Hay un medio muy sencillo para determinar los grupos de colores que tienen esta propiedad: consiste en interceptar al salir de la lente una parte del haz convergente que iba á formar luz blanca en el foco. Esta porción, recibida por un segundo prisma, se desviará y dará un color que será á no dudarlo complementario del producido en el foco de la lente, puesto que antes de su separación formaban el blanco.

Recurriendo Helmholtz á un procedimiento distinto que consiste en recibir dos colores del espectro al través de las hendeduras de una pantalla y concentrándolos por medio de una lente, ha reconocido que hay un número indefinido de grupos de dos colores á propósito para formar con su mezcla blanco perfecto. He aquí algunos de los resultados obtenidos por este físico:

Colores complementarios	Intensidades de los dos colores	
Morado—amarillo verdoso.	5	10
Añil—amarillo.	3	4
Azul—anaranjado.	1	1
Azul verdoso—rojo.	0,44	0,44

Las cifras que hay á continuación de los grupos representan las intensidades relativas de cada color; las de la segunda columna corresponden á una luz viva, y varían cuando la luz incidente varía á su vez de intensidad.

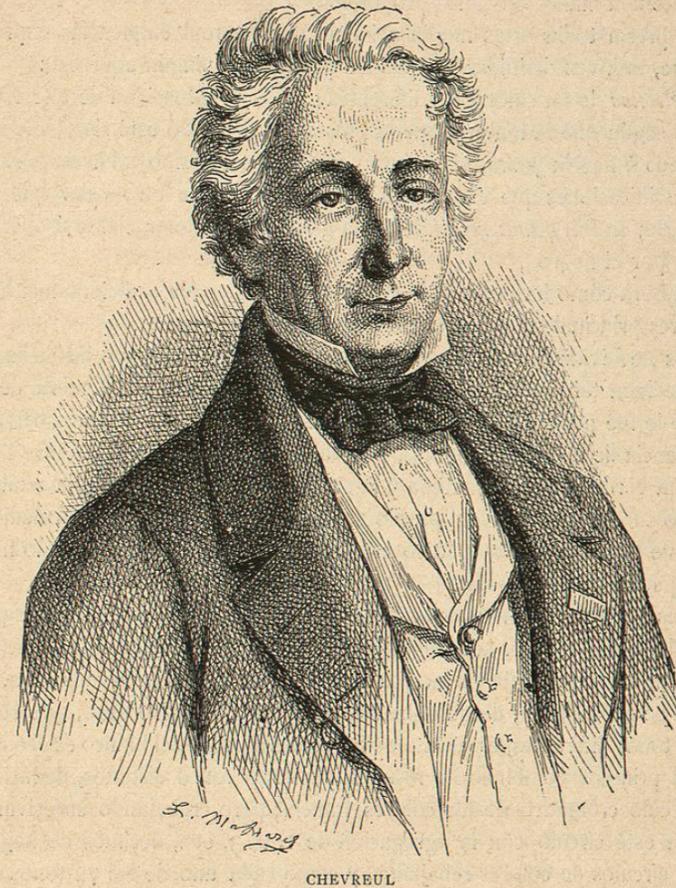
Helmholtz ha dado además á conocer un medio sumamente sencillo para estudiar el resultado de la mezcla de dos colores. Sobre una mesa negra se ponen dos discos colorados, uno del primer color y otro del segundo: en seguida se coloca verticalmente entre los dos una Luna sin azogar. Uno de los discos se ve directamente; el otro se percibe al través del cristal transparente, viéndose además otra vez el primero por reflexión. Si entonces se le pone de modo que su imagen parezca superpuesta al disco visto al través de la luna, los dos colores resultarán naturalmente mezclados, y será fácil juzgar del matiz producido por su composición. De esta suerte dos discos teñidos de amarillo cromo y de azul cobalto respectivamente, dan blanco puro, lo que prueba que estos colores son complementarios.

En resumen, todo color simple ó compuesto tiene siempre su color complementario; más aún, tiene una infinidad de ellos, porque si al color complementario se añaden proporciones variables de luz blanca, el resultado no puede ser más que blanco. Pero no se debe aplicar esta regla sino á los colores francos, es decir, á los que no están alterados por alguna proporción de negro, pues en este caso; en lugar de un blanco perfecto, resultará un ceniciento más ó menos obscuro.

Por último, la mezcla de los colores complementarios no produce blanco sino cuando dicha mezcla no es material; si se hace uso de colores materiales diluidos de cualquier modo, ó aun en estado pulverulento, la mezcla no dará más que un gris más ó menos obscuro.

Si los colores, así simples como compuestos, son en número indefinido, si la mezcla en diversas proporciones de blanco ó negro multiplica todavía su número, es también positivo que la vista no puede apreciar distintamente más que una corta cantidad de ellos. Con todo, si fuese posible reunir en una misma escala todos los matices de colores que nos presenta la Naturaleza y que nos es dado distinguir unos de otros, nos cau-

ría asombró su riqueza y magnificencia; las hojas y las flores en las plantas, las pieles de los animales, los brillantes colores de que están teñidas las plumas de las aves, las alas de las mariposas y de otros insectos, los matices de varios minerales, los reflejos de las conchas, etc., proporcionarían los elementos de la innumerable serie de colores naturales, y permitirían pasar de un matiz á otro por grados insensibles, con lo cual se tendría una clasificación de los colores sacada de los objetos naturales.



CHEVREUL

Los colores empleados en las artes son probablemente más limitados; sin embargo, es fácil formarse una idea de su número recordando que los romanos aplicaban, según se dice, á sus mosaicos más de 30.000 tintas. Pero, precisamente por ser muy considerable este número, se ha sentido la necesidad de hacer una clasificación razonada de los colores y de sus matices que permita definirlos, refiriendo cualquiera de ellos á un tipo fijo determinado de una vez para siempre. Nadie ignora que, en la industria y en las artes, la nomenclatura de los colores es muy arbitraria, ó por lo menos que varía de un arte ó una industria á otra: los nombres, tomados de objetos naturales, minerales, flores, frutos ó animales, no tienen conexión alguna de gradación. Para obviar los inconvenientes que de semejante confusión resultan, ha propuesto M. Chevreul una clasificación de colores y matices cuya base y principios vamos á indicar.