

Según Chevreul, una materia colorada por alguno de los colores del espectro no puede ser modificada sino de cuatro modos diferentes:

- 1.º Por el *blanco*, que aclarándola atenúa su intensidad;
- 2.º Por el *negro*, que obscureciéndola disminuye su intensidad específica;
- 3.º Por *cierto color*, que cambia su propiedad específica sin empañarla;
- 4.º Por *cierto color*, que cambia su propiedad específica empañándola, de suerte que si el efecto llega á su máximum, resulta negro, ó gris normal representado por negro mezclado con blanco en cierta proporción.

Para expresar todas estas modificaciones, M. Chevreul emplea las expresiones siguientes que, una vez definidas, no pueden prestarse á ningún equívoco:

Llama "*tonos* de un color á los diferentes grados de intensidad de que este color es susceptible, según que la materia que la presente sea dura ó esté simplemente mezclada con blanco ó negro; *gama*, al conjunto de tonos del mismo color; *matices* de un color, á las modificaciones que éste experimenta al agregarle otro color que lo cambia sin empañarlo; en fin, *gama rebajada*, á la gama cuyos tonos claros ú oscuros están empañados por el negro.,

Véase ahora cómo ha procedido para formar una escala, suficientemente extensa, de los colores principales, de sus tonos y de sus matices.

Después de dividir un círculo en 72 sectores iguales, colocó á distancia igual tres muestras de lana teñida, la una de rojo, la otra de amarillo y la tercera de azul, tan puras como le fué posible y de la misma intensidad. Luego, entre estos tres sectores y á igual distancia de cada uno de ellos, puso una muestra anaranjada entre la roja y la amarilla, una verde entre esta última y la azul, y una morada entre la azul y la roja. Intercalando sucesivamente y del propio modo colores de matices intermedios obtuvo por fin lo que llama círculo cromático de los colores francos, reproduciendo hasta cierto punto el espectro de la luz solar.

Reunidos ya estos 72 matices, valiéndose de cada uno de ellos para componer una gama completa formada por la agregación de cantidades crecientes de blanco y negro, hasta tener diez tonos rebajados y otros diez del mismo color aclarados hasta el blanco. Cada gama comprende así, desde el blanco puro hasta el negro puro, que son sus extremos, 20 tonos diferentes, el décimo de los cuales á partir del blanco es el color franco.

De esta primera combinación resultan ya 1,440 tonos distintos, deducidos todos ellos del círculo cromático de los colores francos; pero, rebajando sucesivamente los 72 tonos de este círculo con la agregación de 1, 2, 3, etc., décimos de negro, se forman nueve círculos de colores rebajados, y como cada uno de los 72 tonos que comprenden es á su vez tipo de una gama de 20 tonos nuevos que van del blanco al negro, resulta para la serie total una escala de 14,400 tonos, á los cuales hay que añadir los 20 del gris normal, lo cual da, en definitiva, 14,420 tonos diferentes.

Es indudable que tan extensa escala debe bastar para la mayor parte de las aplicaciones científicas é industriales, y que las más de las veces excederá á las necesidades de los artistas. Por desgracia es sumamente difícil la reproducción material rigurosamente exacta de todos estos colores, no siéndolo menos el conservar los tipos una vez obtenidos. Sería preciso reproducir la construcción cromática de M. Chevreul en colores inalterables, por ejemplo en cuadros esmaltados sobre porcelana; las investigaciones científicas no estarán menos interesadas que las artes en poseer tipos fijos, á los cuales podrían referirse los colores naturales, con tanta frecuencia alterados por el tiempo, mediante una numeración de orden, siendo por lo tanto de fácil reproducción.

## V

## COLORES DE LOS CUERPOS TRANSPARENTES. — DICROÍSMO

Los cuerpos ó medios dotados en el más alto grado de transparencia, como el aire, el agua y el cristal, no poseen esta propiedad en absoluto, pues absorben una parte más ó menos considerable de la luz que los atraviesa, como fácilmente se demuestra aumentando su espesor. Cuando la luz que penetra en un medio transparente es la luz blanca, y después de su paso continúa lo mismo, dicese que el medio es incoloro; fenómeno que se explica de un modo muy sencillo, ya admitiendo que no había absorción de ninguno de los rayos colorados que componen la luz blanca, ó bien, si ha tenido efecto esta absorción, que ha sido la misma para todos los rayos. El aire, algunos gases simples ó compuestos y el agua son medios transparentes incoloros; sucediendo lo propio, aun cuando en espesores mucho menores, con el agua, el vidrio y ciertos cristales. En realidad, esta propiedad no es más absoluta que la transparencia: la luz transmitida por capas de aire suficientemente espesas está matizada de diferentes colores que varían del azul más ó menos intenso al azul verdoso, al amarillo y al rojo. Estas últimas tintas son propias de las capas más bajas de la atmósfera vistas un poco antes ó después de la puesta del Sol. El agua adquiere también una tinta que depende de su pureza y de su profundidad en los ríos, en los lagos y en la mar. Por último, todos sabemos que el vidrio, que parece absolutamente incoloro cuando tiene muy poco espesor, se tinte de matices que dependen de su composición cuando se transmite la luz blanca al través de placas más gruesas. Obsérvase también y de un modo más marcado esta coloración de los medios transparentes en los cuerpos ó medios que son simplemente diáfanos.

Así como se explican los colores de los cuerpos opacos por la absorción desigual de los rayos difusos de refrangibilidades distintas, así también se explica la coloración de los cuerpos transparentes por la absorción desigual de los rayos transmitidos. En el primer caso, la luz que hace visibles los cuerpos y que suponemos blanca se descompone por reflexión difusa; en el segundo, se descompone por transmisión. Al expresarnos así, no hacemos más que consignar un hecho, una propiedad evidente de los cuerpos, sin prejuzgar nada acerca de la naturaleza íntima del fenómeno; la verdadera causa de esta descomposición, que depende sin duda de la ordenación molecular, de la composición física y química de los cuerpos, es todavía desconocida, ó por lo menos sólo ha dado lugar á hipótesis que tienen divididos á los físicos.

Las placas de vidrio de color puestas sobre un fondo negro son casi invisibles; lo propio sucede con los líquidos transparentes colorados contenidos en vasijas de paredes oscuras ó ennegrecidas; por consiguiente es la luz transmitida, y no la reflejada, la que nos hace ver estos cuerpos. Así por ejemplo, un vidrio rojo es el que, dando paso á los rayos rojos, absorbe ó extingue los demás rayos del espectro de la luz blanca, ó que, por lo menos, absorbe estos rayos en mucha mayor proporción que los rojos. Los vidrios, los líquidos amarillos, verdes, azules y morados son los que no dejan pasar sino los rayos de los mismos colores absorbiendo los demás, ya en su totalidad, lo que rara vez sucede, ó ya en bastante proporción para que los rayos que pasan compongan la tinta indicada por estos colores. La reflexión especular, en sus superficies lisas, de un objeto blanco da una imagen blanca, mientras que el objeto visto por transmisión se colora de la misma tinta que el medio.

Un experimento muy sencillo, descrito ya en el capítulo en que hemos tratado de la absorción de la luz, demuestra la desigual absorción de los rayos de varias refrangibilidades por un mismo medio colorado. Si se interpone una lámina de vidrio encarnado en el paso de un haz de luz solar, antes ó después de su descomposición por el prisma, el espectro obtenido sólo contiene ya la parte menos refrangible y se reduce al rojo si la tinta del vidrio de color es bien homogénea. Con un vidrio de azul cobalto de cierto espesor, el espectro se reduce al morado, y en el otro extremo, á una delgada banda roja, y si dicho vidrio está tallado en forma de prisma ó de bisel agudo, y se examina el espectro solar interponiendo partes cada vez más gruesas del vidrio azul entre el espectro y el ojo, se verá que la absorción de los rayos intermedios entre el morado y el rojo extremo va creciendo con dicho espesor. A partir de un milímetro, la parte central del rojo es la que se extingue primero, y conforme crece el grueso ó espesor del vidrio desaparecen sucesivamente el rojo anaranjado, el amarillo, el verde y por fin el azul.

El bisel de vidrio azul cobalto, unido á un prisma de vidrio blanco que forma con él una lámina de caras paralelas, parece en efecto azul oscureciéndose más y más, desde su parte más tenue hasta cierto espesor, pasado el cual, como predomina el rojo, el vidrio parece de este color, cambiando así de matiz al propio tiempo que varía la proporción de los rayos absorbidos. Esta tinta roja procede indudablemente de los rayos rojos extremos, más vivos que los morados.

Ya hemos tenido ocasión de mencionar este singular fenómeno de cambio de color que los físicos llaman *dicroísmo*, ó más generalmente *policroísmo*, porque variando los espesores de ciertas substancias transparentes, se obtienen tintas ó colores múltiples. Las más de las veces, el matiz del color es el único que cambia por efecto del espesor, y por esto los vidrios rojos se vuelven más oscuros y su color es más puro. Los verdes y las soluciones de sales de cobre ó níquel, que absorben principalmente los rayos de los colores extremos, rojo y morado, tienen una tinta verde tanto más marcada cuanto mayor es su espesor. El percloruro de hierro, el cloruro de oro, el infuso de azafrán y el vino de Oporto que absorben los rayos más refrangibles y casi dan paso del mismo modo á los rayos rojos y á los amarillos, parecen de este último color si tienen poco espesor, pero se oscurecen si éste aumenta hasta que por fin llegan al rojo. Hay varias substancias dicroicas, entre ellas las soluciones de cloruro de cromo, de manganato de potasa, y el agua celeste ó solución saturada de sulfato de cobre en el carbonato de amoníaco. Las primeras parecen verdes y luego rojas: la última parece azul cuando está en láminas tenues, y morada cuando el espesor llega á diez ó doce centímetros.

Dos líquidos, el uno rojo y el otro verde ó azul, forman mezclados un medio dicroico, con tal que su mezcla no dé lugar á una combinación química.

Según acabamos de ver, un vidrio azul cobalto parece rojo cuando su espesor es tal que absorbe todos los rayos amarillos, verdes y azules de la parte media del espectro. Por el contrario, una lámina tenue de sulfato de cobre absorbe los rayos extremos, morados y rojos. ¿Qué sucederá, pues, sobreponiendo dos láminas de estas substancias? Que quedarán absorbidos los rayos de todos los colores del espectro: y en efecto, el conjunto de las dos láminas forma un medio opaco.

Bréwster ha reconocido que el calor modifica las propiedades absorbentes de un medio colorado: tan pronto las disminuye como las aumenta. Remitimos sobre esto al lector á lo que hemos consignado en la página 688 acerca de los experimentos del físico inglés.

Todos los hechos que acabamos de describir se refieren á los medios colorados transparentes. Los simplemente diáfanos ó translúcidos presentan fenómenos análogos, sólo que son visibles á la vez por transmisión y por reflexión, de suerte que su color es visible aun cuando se los coloque delante de un fondo negro. Un líquido perfectamente límpido, como el bicromato de potasa, pierde su transparencia y se vuelve diáfano si se le echa un poco de sulfato de barita; pero sigue conservando su tinta amarilla, que aun en este caso se ve lo mismo por transmisión que por reflexión.

Sin duda deben de ser diminutas partículas en suspensión en el agua las que dan á este líquido varias tintas azules, amarillas ó rojizas, según la naturaleza de las partículas. Pero no hay que confundir esta causa de coloración ni con la tinta propia del agua ni con la que adquiere al transmitir por reflexión el color del fondo en que descansa.

Hay cuerpos gaseosos de coloración particular, por ejemplo el vapor de yodo, cuya magnífica tinta morada ha dado su nombre al metaloide; el ácido nítrico desprende vapores blancos al aire libre, y el hiponítrico densos vapores rojizos. Citemos, finalmente, el cloro, cuyo nombre proviene del matiz amarillo-verdoso de este gas.

El aire, que, como nadie ignora, es una mezcla de dos gases, oxígeno y nitrógeno, y que además contiene cierta proporción de gas ácido carbónico y también vapor de agua, posee el color azul de todos conocido y que se modifica, se oscurece ó aclara según las circunstancias atmosféricas. ¿Dicho color es propio de la mezcla gaseosa misma, que absorbe los vapores azules de la luz blanca del Sol transmitiendo únicamente los rojos, de modo que el color azul se ve por reflexión, ya en las moléculas del mismo aire ó bien en las del vapor de agua en suspensión? Cuestión es esta que aún no se ha podido resolver, ó por lo menos cuyas varias soluciones tienen muy divididos á los físicos. Entremos en algunos detalles acerca de este punto.

## VI

## COLOR AZUL DE LA ATMÓSFERA

Leonardo de Vinci creía, como Goethe algún tiempo después, que el color azul de un cielo despejado tenía por causa el paso de la luz blanca al través de la atmósfera que contiene partículas tenuísimamente divididas. Newton atribuía dicho color azul á haber en la atmósfera esferillas de agua huecas y diminutas en las cuales son perceptibles los colores como en la pompa de jabón; añadiendo que cuando el espesor de las paredes de estas esferillas aumentaba, el color pasaba del azul al amarillo, al anaranjado y al rojo, pudiéndose por lo tanto explicar, en virtud de las continuas reflexiones, las diferentes tintas desde el azul celeste hasta el encendido color de las puestas de Sol. Basándose Clavius en esta teoría, ha calculado las intensidades relativas de la luz directa del Sol y de la luz difusa del cielo con respecto á las varias alturas del Sol.

„Algunos físicos, dice M. Roscoe, han asegurado que el aire mismo es azul, al paso que otros pretenden que si el aire adquiere un tono azulado por la influencia de la luz *reflejada*, debe parecer rojo por la luz *transmitida*.

„Otros, para esquivar la dificultad de explicar la gran variedad de tintas que se ven en los ocasos del Sol, pretenden que estas tintas son una ilusión óptica ó que reconocen por causa la presencia de nubes que reciben y reflejan el color.

„Muchos físicos han sugerido la idea de que, estando la atmósfera llena de pequeñas partículas de materias sólidas flotantes, obra como un medio opalescente y no trans-

mite más que luz roja; pero á Brucke somos deudores de una exposición completa y un examen profundo de esta teoría. Forbes explica el fenómeno de muy distinto modo; pues, observando que en ciertas circunstancias el vapor acuoso, ó mejor dicho, el agua en partículas muy divididas, puede absorber los rayos azules, y que el Sol parece rojo cuando se le ve al través de alguna porción de un chorro de vapor, atribuye la tinta roja que se extiende por el cielo en el momento de la puesta del Sol á la sola presencia del agua en dicho estado particular de división.,,

Después de hacer estas breves consideraciones históricas sobre el asunto, el sabio inglés de quien hablamos describe las observaciones y experimentos en que se basa su propia opinión. En su concepto, la atmósfera ejerce una absorción de especial naturaleza en los rayos de gran refrangibilidad; es decir, en los rayos del espectro que tienen gran actividad química; y habiéndole demostrado un crecidísimo número de observaciones que la luz difusa del cielo posee una actividad química mucho mayor en proporción que la luz directa del Sol, ha llegado á considerar que esta absorción, á la cual da el nombre de *opalescencia*, reconoce por causa una multitud de partículas finamente divididas que reflejan los rayos azules y sólo transmiten los rojos. ¿Y qué son estas partículas? Los espóculos que causan la fermentación y la putrefacción; las moléculas minerales, como el sodio, cuya presencia casi constante en el aire nos la revela el análisis espectral; quizá también el polvillo molecular extra-terrestre que en sentir de ciertos físicos atraviesa en todo tiempo nuestra atmósfera, y por último las sutiles partículas acuosas de que ésta está llena.

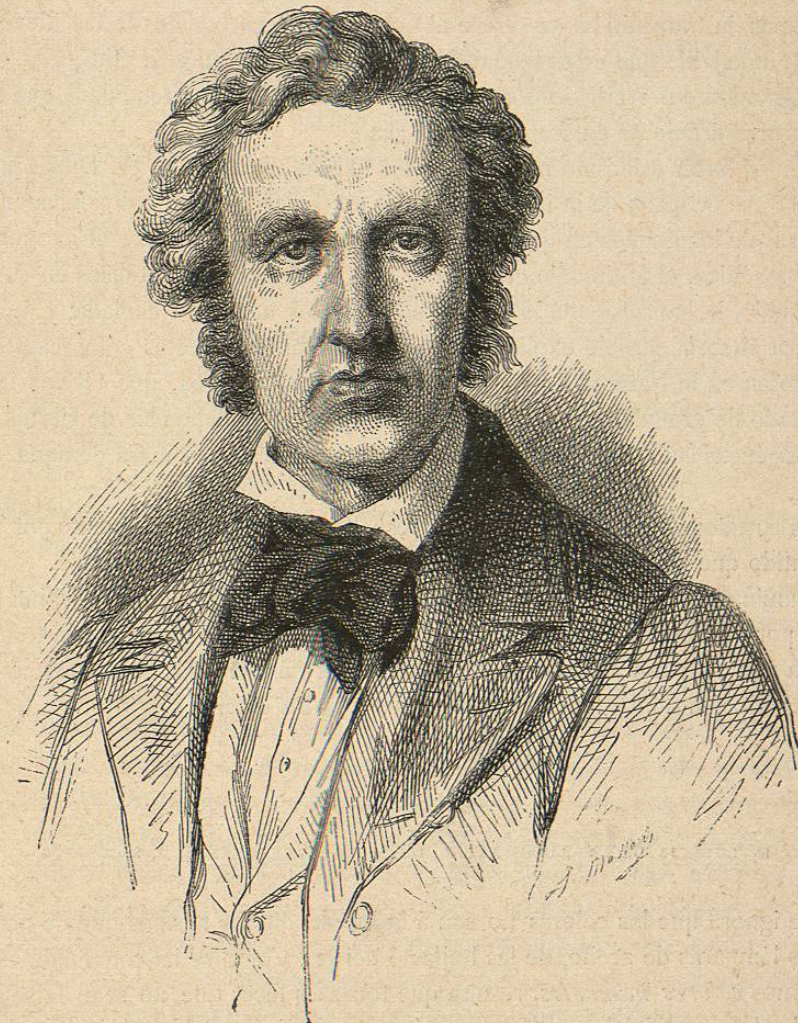
Roscoe compara la opalescencia de la atmósfera á la de los líquidos que contienen cierta cantidad de materia tenuemente dividida, por ejemplo al agua ligeramente azufrada, ó á la del vidrio en cuya masa hay diseminadas partículas de fosfato de calcio ó de trióxido de arsénico. “Si se hace pasar, dice, la luz blanca de una lámpara eléctrica por un tubo de tres pies de largo, cerrado en sus extremos con placas de vidrio y lleno de un líquido apenas opalescente, todos los rayos azules, verdes y amarillos quedan interceptados, y el rayo que sale es rojo obscuro. Esto viene á ser una puesta de sol artificial. El azufre finamente dividido refleja la luz azul y transmite 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 obscuro al amarillo y hasta al azul, según 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 substancia 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 por igual; no las escoge, lo cual puede proceder de que sus partículas son tan grandes con

relación á las ondas del éter, que las reflejan 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 recomendemos



SIR JOHN HERSCHEL

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 conte-