



A todo

color

Todo cuanto nos rodea tiene color.

Sin embargo, el color no existe como sustancia material, existe la luz. Sin ella no hay color. El color es pues la sensación visual que se origina por la estimulación de la retina del ojo. A lo largo de los siglos, físicos, químicos, médicos y artistas han ofrecido su particular punto de vista sobre qué es el color. Todos con un mismo objetivo: profundizar en el desarrollo de las técnicas y el conocimiento del color. Hoy, la ciencia de la medida del color se ha extendido por numerosos sectores industriales como garante de un cuidadoso control de calidad.

TEXTO: MANUEL C. RUBIO FOTOGRAFÍA: ALBERTO G. IBÁÑEZ

El mundo es de color. Todo cuanto nos rodea, desde los más pequeños objetos hasta las mayores magnitudes, tiene color. Incluso los sentimientos y las emociones: el rojo es excitante y puede expresar alegría, emoción, peligro... El azul, que parece que se aleja del observador, da sensación de frescura, pero también es reservado y sedante, utilizándose desde épocas remotas para evocar conceptos como la espiritualidad, la castidad, la sabiduría o la contemplación. El verde es esperanza, pero también naturaleza, deseo, descanso y equilibrio. El amarillo es el color de la luz y puede reflejar sentimientos tan encontrados como el egoísmo, los celos y la envidia o la risa y el placer...

Estamos tan acostumbrados a vivir con ellos que incluso ya forman parte del acervo popular. Las cosas se ven negras cuando tienen difícil solución; estamos verdes si nos falta experiencia; los números son rojos si expresan balances económicos negativos; el gris lo asociamos a la falta de brillantez en la realización de una tarea; nos quedamos en blanco cuando nos falla la memoria o nos falta la palabra, nos ponemos morados si comemos en abundancia...

Sin luz no hay color

Lo más curioso de todo es que el color no existe como sustancia material, existe la luz. Sin ella, no hay color. ¿Qué es pues el color? La definición internacionalmente adoptada es la dada por el Comité de Colorimetría de la Optical Society of

America, que expresó que "el color consiste en las características de la luz distintas de sus inhomogeneidades espaciales y temporales, siendo la luz el aspecto de la energía radiante que el observador humano es capaz de percibir por la estimulación que produce en su retina". O, dicho de otro modo, la sensación visual que se origina por la estimulación de la retina del ojo. Esta respuesta psicológica a un estímulo físico puede, sin embargo, tener un significado diferente según quién la analice. Para un químico podrá ser un compuesto químico, un colorante o un pigmento. Un fisiólogo lo definirá como un complejo proceso en el cerebro que interpreta la señal del nervio. Para un artista será el medio para crear una sensación en la mente del observador. ¿Y para un físico?

La longitud de onda

En física, lo que distingue una sensación de color de otra es la longitud de onda de la radiación luminosa que impresiona nuestro sentido de la vista y, si como generalmente sucede, la radiación es compuesta y no monocromática, el ojo no puede analizar las distintas radiaciones o longitudes de onda que recibe y aprecia sólo el tinte o color resultante.

Lo que habitualmente se define como luz visible es una radiación electromagnética cuya longitud de onda se extiende desde los 700 nanómetros, en el límite entre la luz roja y la radiación infrarroja, hasta los 400 nanómetros, en el límite entre la luz violeta y la radiación ultra-

violeta. Estas radiaciones son registradas por minúsculas células receptoras (conos y bastoncillos) ubicadas en la retina del ojo, que captan la energía que incide sobre ella transformándola en impulsos eléctricos para, a través del sistema nervioso, enviarlas al cerebro donde tiene lugar la sensación de color propiamente dicha. La percepción del color no es pues otra cosa que el resultado que proporciona la medida que lleva a cabo el ojo y la interpretación que realiza el cerebro de la longitud de onda, la frecuencia o la energía dominante de una onda luminosa.

En la actualidad, los colores se analizan a partir de dos atributos inherentes a toda radiación luminosa. De un lado, por su intensidad, entendida como la cantidad de energía que llega a una determinada sección por unidad de tiempo y, de otro, por su cromaticidad, definida por el tono o matiz y la pureza o saturación del color. De este modo, por ejemplo, cuando se dice que una radiación es roja se refiere a su matiz –o longitud de onda dominante–, pero dentro del mismo tono o clase de color se distingue entre un rojo intenso o un rojo pálido por su distinta pureza o saturación.

Mezclas de colores

Pero además, y ya que en la retina no existe un fotoconversor específico para cada color y que éstos, como ya se ha dicho, raramente son producidos por radiaciones espectrales monocromáticas, parece lógico que para reproducir toda

la gama de colores se acuda a procedimientos de síntesis o mezclas en las que, mediante una proporción adecuada de tres estrechas franjas de longitudes de onda, la sensación de color que tiene el observador sea idéntica a la que tendría si observara directamente todos los colores del espectro.

Así, cuando sobre una pantalla se proyectan tres haces de luces de colores (rojo, verde y azul), sus mezclas dos a dos dan amarillo, cian y magenta, y cuando se solapan los tres sale blanco. Esta mezcla de luces y colores se califica de aditiva, ya que cada haz aporta sus características propias y la conjunción de los tres restituye la luz blanca. Por el contrario, si las superposiciones dos a dos de tres filtros transparentes coloreados con los primarios de artistas y serigrafos (amarillo, cian y magenta) da uno de los tres colores secundarios (verde, naranja y violeta) y la superposición de los tres primarios produce en un principio el negro, o en la práctica más bien un gris, entonces hablamos de mezcla sustractiva de materiales cromáticos (pigmentos o filtros coloreados), pues en este caso cada color actúa como un filtro que sustrae a la luz una parte de sus radiaciones; además, cuando los tres se superponen toda

la luz es, por decirlo de algún modo, susstraída y sólo queda el negro.

La colorimetría

Por otro lado, los métodos que hoy en día se utilizan para la especificación del color se encuadran dentro de la denominada colorimetría, ciencia de la medida del color que permite establecer un sistema numérico capaz de describir, dentro de los límites de la visión humana, aquellos aspectos psicofísicos que atribuimos al color.

El origen de la colorimetría se remonta a la reunión general que la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) celebró en Cambridge en 1931, en la que se dieron unas tablas con los coeficientes colorimétricos que constituyen la definición del observador patrón CIE. Desde entonces, la utilización de las coordenadas de cromaticidad se ha ido extendiendo por muchos campos de la ciencia y sobre todo de la industria. En aquella reunión, se dieron dos conjuntos de datos; de un lado los coeficientes r , g y b , referidos a tres primarios especiales y, de otro, los coeficientes x , y , z , propuestos como transformación lineal de los primeros y que resultaban más adecuados para la colorimetría práctica.

De acuerdo con este sistema, el color de un objeto puede ser descrito cuantitativamente mediante tres números matemáticos denominados valores triestímulos del color. La determinación de estos valores, además de otros parámetros del color, requiere a su vez medir la reflectancia de la muestra en diferentes longitudes de onda de la región visible. Los valores de reflectancia serán finalmente, junto con los datos del observador estándar CIE y los iluminantes, los que permitan describir el color en términos objetivos.

En la actualidad, la medida del color desarrollada con instrumentos como los espectrofotómetros, colorímetros o densímetros se utiliza para la igualación del color y el control de calidad de la producción en numerosos sectores industriales, que van desde el de pinturas y tintas de imprimir, tejidos, plásticos, cerámica, papel, fotografía, televisión y aparatos de video, donde lo que se persigue es destacar la cualidad visual del color, hasta los de productos agrícolas, químicos, cosmética y farmacia y especialmente alimentación, donde el color del producto es un fiel indicador de sus propiedades.

Como señaló en el VI Congreso Nacional del Color celebrado reciente-

PINTURAS Y TINTAS DE IMPRIMIR

Las pinturas y las tintas han acompañado al hombre desde tiempos inmemorables. En su afán por hacer uso del color, el hombre pintó primero animales, escenas de caza o los acontecimientos más relevantes de su entorno; después, decoró también las paredes de sus viviendas. Pero la verdadera revolución de la pintura no llegaría hasta el siglo XIX, con la aparición de las resinas sintéticas. El primer éster polimerizado fue descubierto accidentalmente por Berzelius en 1847, al calentar glicerina y ácido tártico. Siete años después, Berthelot preparó glicerina con ácido canfórico y, ya a principios del siglo pasado, Smith formó el ftalato de glicerilo que dio paso a las primeras resinas alquídicas. Con todo, la primera resina sintética producida a gran escala y comercializada en el mundo fue la fabricada por la General Electric Company en 1917, con el nombre de gliptal.

Por su parte, la historia de las tintas ha venido marcada por el nacimiento en el siglo XV de la imprenta. El genio de Gutenberg llevó al hombre a experimentar con las pinturas al óleo de la época, preparadas a base de mezclar materias colorantes previamente molidas con aceite de linaza y secante de plomo (litargirio). Esta receta de calentar el aceite de linaza, ya conocida en la época romana y que fuera perfeccionada por los impresores del siglo XVI, fue el embrión de las formulaciones de tinta que han llegado a nuestros días, con modificaciones

y mejoras al compás de la evolución de las materias primas y de las técnicas de mezcla, molienda y dispersión. El descubrimiento en 1826 de la anilina, que permitió una nueva formulación de tinta de naturaleza no grasa, junto a la paulatina sustitución que se generalizaría ya a principios del siglo XX del procedimiento litográfico por el moderno offset, han marcado el desarrollo de esta industria que hoy es capaz de fabricar tintas de alta tecnología, a nivel de los sofisticados sistemas actuales de impresión.

Así, en la actualidad, las pinturas y tintas de imprimir son utilizadas por multitud de industrias. En España, este sector está representado por la Asociación Española de Fabricación de Pinturas y Tintas de Imprimir (Asefapi), que aglutina a 160 empresas que suponen más del 80% de total de la facturación nacional.

Según los datos de esta asociación, tras las pinturas para la decoración y la construcción, que representan más del 60% de las toneladas consumidas anualmente y cerca de la mitad de las ventas del sector, la producción de pinturas y tintas de imprimir se dirige principalmente a subsectores como el del automóvil, tanto para el primer pintado y accesorios como el repintado; la madera, las pinturas en polvo, la marina, la industria gráfica –ya sea en el campo de la edición y el impreso comercial o en el envase y embalaje– y la industria en general.



A PESAR DE ESTAR
PRESENTE EN TODAS
LAS COSAS, EL COLOR
NO EXISTE COMO
SUSTANCIA MATERIAL,
LO QUE EXISTE ES LA LUZ.
SIN ELLA, NO HAY COLOR.

mente en Sevilla el investigador del Instituto de Óptica del CSIC, Antonio de la Cruz, en muchas industrias, "lo que les interesa es conseguir igualar el color de una muestra obtenida durante los ensayos con otra muestra conservada como patrón o facilitada por el cliente. Una medida de la diferencia de color entre ambas puede ser decisiva para aceptar o rechazar el trabajo. Al margen de las muchas discusiones que ha habido sobre si las diferencias de color deberían de ser las justamente perceptibles o las aceptables, para De la Cruz "en un problema industrial la diferencia aceptable depende de la aplicación que se vaya a hacer del color pudiéndose fijar, en función de ella, las tolerancias por acuerdo entre el fabricante y el consumidor. Porque, obviamente, no es lo mismo pintar dos piezas que en el montaje han de ir juntas que pintar dos vehículos que nunca volverán a verse juntos".

El color de los alimentos

En el sector de la alimentación, los consumidores consideran el mantenimiento del mismo color en productos como las golosinas, las mermeladas, galletas, zumos de fruta o refrescos como un indicio de un cuidadoso control de calidad. Pero la consistencia del color no siempre es posible y el fabricante debe ajustar el color añadiendo colorantes autorizados. Por ejemplo, el zumo de naranja puede ser claro, o el ketchup amarillento, pero la escala del cliente para juzgar su calidad seguramente será la del color de las pieles de la naranja o del tomate. El color es, además, el parámetro más importante a la hora de analizar si una fruta está o no madura. Así, algunos países han establecido sus estándares de color en diversas frutas para su calificación a la hora de la exportación, de tal modo que sus productos gocen de prestigio. El

empleo de la colorimetría se ha hecho tan usual en productos como los tomates, que se han desarrollado varias escalas colorimétricas para evaluar su calidad, estableciéndose una escala de madurez que mide desde que el tomate está verde hasta cuando está demasiado maduro.

Los análisis colorimétricos se utilizan igualmente para controlar la contaminación de los productos alimenticios envasados (el plomo de la cerveza, el cobre de diversas bebidas y la leche, a partir de los recipientes de procesado, o el cadmio de las pinturas aplicadas a los envases).

Asimismo y en el caso de los productos cosméticos, la colorimetría se ha convertido en un instrumento casi indispensable para controlar tanto los posibles cambio de color que se puedan producir durante el proceso de fabricación, como conocer la resistencia a la transpiración y al calor de los cosméticos. Por

su parte, en el sector farmacéutico, los métodos colorimétricos permiten que no existan variaciones en el color de sus productos –los consumidores identifican generalmente las medicinas por su color, y muchas industrias fabrican un mismo fármaco en fábricas distintas–.

Del mismo modo, la colorimetría se ha destacado como una herramienta eficaz para examinar la fidelidad de reproducción de una imagen en una pantalla de televisión o vídeo. Cuando un observador no aprecia ninguna diferencia entre la escena original y su imagen, se puede decir que se ha conseguido una reproducción exacta del color original.

En las televisiones a color los colores se reproducen mediante una mezcla aditiva en la que éstos se producen al pasar la luz blanca a través de tres filtros de color o mediante la utilización de fósforos apropiados. En ambos casos, debe controlarse la luminancia de cada primario elegido (rojo, verde y azul) para que la cantidad de cada uno de ellos en las mezclas pueda ser ajustada y producir así la gama de colores. La pantalla del tubo



de imagen corresponde de este modo a una cara del colorímetro sobre la que se proyectan los tres colores primarios.

El color de los tejidos

Por último, en la producción del sector textil la coloración de los tejidos y su igualación son dos de las fases más importantes. Si bien tradicionalmente la fórmula de color venía determinada por el técnico de color mediante la selección empírica de los tintes y el examen visual de las muestras, la aparición de nuevas fibras y el número casi infinito de tintes disponibles en el mercado ha complicado enormemente esta tarea hasta hacerla casi imposible. Hoy, las investigaciones sobre la ciencia del color, el avance de la tecnología óptica y los logros en el campo de la informática permiten ya al maestro de tintes calcular varias fórmulas de color y seleccionar la más apropiada. Con todo, la introducción de la igualación del color asistida por ordenador (*computer aided colour matching*) no debe considerarse como la sustitución de los expertos, sino más bien como un elemento complementario que contribuya a mejorar la calidad de los productos y reducir el coste de producción.

Pero es claro que en el desarrollo de las técnicas y conocimiento del color no sólo ha importado la física, sino también la química.

Los tintes naturales

Desde la antigüedad, pueblos de todas las civilizaciones colorearon sus tejidos y pintado sus murales con tintes naturales disponibles en su propio entorno. Aunque el reino mineral ofrecía, con excepción de algunas arcillas, pocas sus-



EL USO DE LA COLORIMETRÍA, CIENCIA DE LA MEDIDA DEL COLOR QUE TIENE SUS ORÍGENES EN 1931, SE HA IDO EXTENDIENDO POR MUCHOS CAMPOS DE LA CIENCIA Y PRÁCTICAMENTE TODOS LOS DE LA INDUSTRIA

tancias tintóreas, el hombre se sirvió del mundo vegetal y animal para colorear sus textiles. Durante siglos, los moluscos, las hierbas, las flores, las raíces, los arbustos, los líquenes, las algas y los hongos fueron fuentes de una infinidad y fascinante variedad de colores. Cultivos de granza, cochinillas, índigo, el palo campeche o la bija se extendían por todo el mundo, pagándose por ellos cantidades

más propias de metales preciosos. Así fue hasta mediados del siglo XIX, en que la expansión de la industria textil, insaciable consumidora de colorantes, obligó a buscar nuevas fuentes tintóreas.

Los colorantes sintéticos

Corría el año de 1856 cuando el joven inglés, William Henry Perkin, discípulo del químico alemán Hofmann, hacía mezclas con el alquitran de hulla para obtener nuevos medicamentos contra la malaria. En una de esas mezcolanzas propias de la química, Perkin trató la anilina derivada del alquitran con dicromato potásico. Enseguida pudo observar que un poso de color púrpura relucía en el fondo del recipiente. Era la anilina púrpura o malveína, sustancia que marcaría el inicio de la industria de los colorantes sintéticos que terminarían por sustituir a los naturales.

El descubrimiento de Perkin estimuló muy pronto a otros químicos a conseguir la síntesis de colorantes naturales, en especial en Alemania, país que en pocos años se convirtió en el centro indiscutible de la industria del tinte. A la malveína le siguieron así la alizarina, el índigo y otros muchos cientos de colorantes, con su enorme variedad de tonos y matices



INTERNET

ligada a la estructura de sus moléculas, tiñendo de colores a un mundo un tanto descolorido que hasta entonces sólo había dispuesto de los tintes naturales que, por culpa de su alto precio, habían estado reservados casi exclusivamente para uso de nobles, reinas y emperatrices.

El triunfo de los colorantes sintéticos, gracias entre otras cosas a que podían fabricarse a bastante menor coste, resolvió el problema mundial de abastecimiento, pero también acarreó el abandono de numerosos colorantes naturales y, con ello, el hundimiento de una economía basada en su producción, transformación, transporte y comercialización.

El futuro pasa por el pasado

Esta situación se mantuvo hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XX, en el que la aparición del movimiento hippie y el ecologismo, fascinados como estaban por lo natural y lo exótico, inició de nuevo el interés por los colorantes naturales. Hoy, la industria de las pinturas, cosmética, textil y papelera, así como artistas, artesanos y diseñadores de alta costura han fijado de nuevo su atención en los colorantes naturales. La agricultura, además, ve en ellos un esperanzador futuro. Para algunos expertos, la recuperación del cultivo intensivo de plantas tintóreas asequibles podría evitar el barbecho de los campos de labor. Experiencias como las que ya se están llevando a cabo en Italia, Francia o la puesta en marcha distintos programas de investigación europeos sobre el cultivo y la extracción de tintes naturales demuestran este creciente interés por los colorantes naturales.

Esta realidad, asociada al mayor conocimiento que cada día se tiene de la química de algunas plantas tintóreas con propiedades medicinales y, por tanto, con potenciales aplicaciones en el campo la farmacia y la medicina, hacen que los colorantes naturales lleven camino de convertirse en una de las principales materias primas del futuro.

Este florecimiento de las tinturas naturales no significa, ni con mucho, su preeminencia sobre las sintéticas. Antes al contrario. Ambas fuentes de color están llamadas a coexistir intentando dar respuesta a unas demandas bien diferenciadas: unas, las sintéticas, la de una industria textil obligada a satisfacer las exigencias de ropa y tejidos de una población mundial creciente, y las otras, las naturales, llamadas a satisfacer la sensibilidad de, sin duda, menos consumidores, pero deseosos de apreciar la belleza única de los colores.

Comité del Color de la Sociedad Española de Óptica

<http://sedo.optica.csic.es/color>

El objetivo fundamental de este comité es estimular el desarrollo del conocimiento en el campo del color, en particular en los ámbitos de la investigación científica, la enseñanza y las aplicaciones industriales, técnicas y comerciales, que son los ámbitos de actuación de la Sociedad Española de Óptica. Ofrece asimismo conexiones con los principales grupos de investigación que trabajan en el campo del color en España.



Asociación Industrial de Óptica, Color e Imagen

<http://www.aido.es>

La unidad de Color Óptica-oftálmica de esta asociación canaliza sus actuaciones tanto a través de actividades de ensayo y calibración como de desarrollo de proyectos de I+D+I. Para ello cuenta con los laboratorios de color acreditados por Enac para la realización de ensayos colorimétricos, de pinturas y de Óptica-oftálmica.



Comisión Internacional de Iluminación (CIE)

<http://nml.csir.co.za/~cie1>

Esta organización mundial para el intercambio de información de ingeniería de la iluminación, radiometría, fotometría y colorimetría, cuenta entre sus ocho campo de interés científico-técnico con una división dedicada a la visión y color. Esta división estudia las respuestas visuales a la luz y establece patrones de las funciones de respuesta, modelos y procedimientos de especificación importantes para la fotometría, la colorimetría, el rendimiento en color, el comportamiento y la apreciación visual de la luz y la iluminación.

Otros sitios de interés

<http://www.metrologia.csic.es>

Página del departamento de Metrología del Instituto de Física Aplicada del CSIC en el que, entre otras, se desarrollan actividades de colorimetría, patrones de medida y espectrofotometría.

<http://www.AIC-Color.org>

Página de la Asociación internacional del Color.

<http://www.6congresocolor.us.es>

Ofrece información sobre el VI Congreso Nacional de Color celebrado en septiembre en Sevilla, organizado por la Universidad de Sevilla y el Comité Español del Color de la Sociedad Española de Óptica.

<http://www.feique.org>

Web de la Federación Empresarial de la Industria Química Española.

<http://www.asefapi.es>

Asociación Española de Fabricantes de Pinturas y Tintas de Imprimir.

<http://www.aetepa.com>

Dirección de la Asociación Española de Técnica de Pintura y Afines.