

LIBRO 2 GESTIÓN DEL COLOR



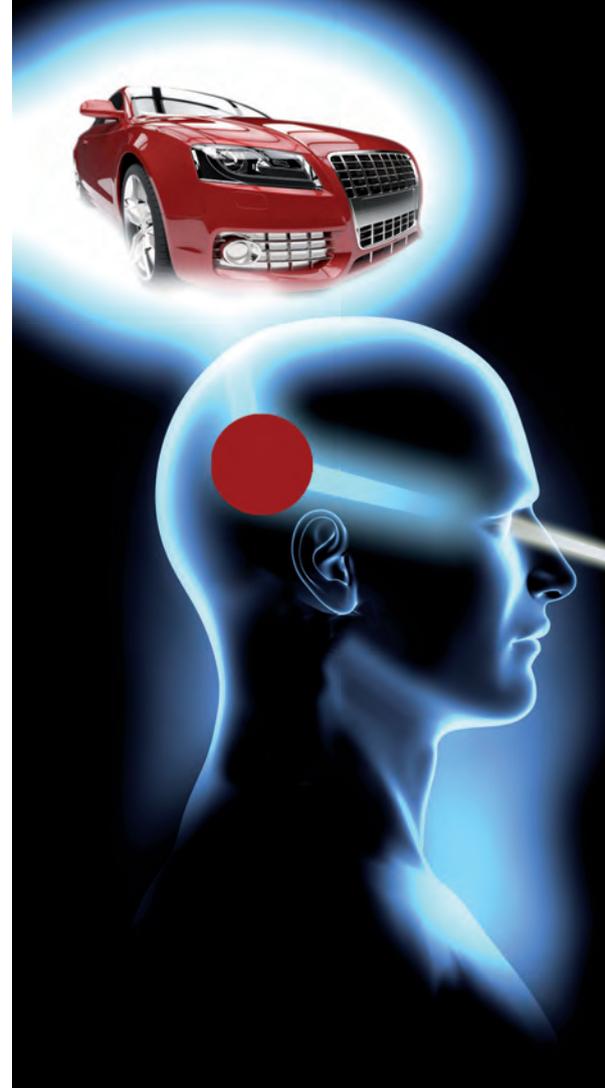
L* 27
a* 50
b* 36

Color y medición del color

UNA INTRODUCCIÓN AL MUNDO DE LA COLORIMETRÍA



...De qué color es el objeto?
El triplete: fuente de luz,
observador, objeto.



Una fuente de luz, un objeto, dos
observadores! Interpretación significa que
cada uno ve en su cabeza y a su modo.

Capítulo 5

El triplete

Los elementos del triplete

Estamos rodeados de colores. Miremos hacia donde miremos, en todas partes percibimos colores. ¿Pero qué es el color exactamente?

El color no es una propiedad física de los objetos, sino una interpretación de la percepción del ojo realizada por la corteza cerebral.

La materia que vemos no tiene color. Sólo posee la propiedad de transmitir o reflejar la radiación electromagnética. El ojo humano sólo puede percibir una pequeña parte de la radiación reflejada o transmitida: la luz.

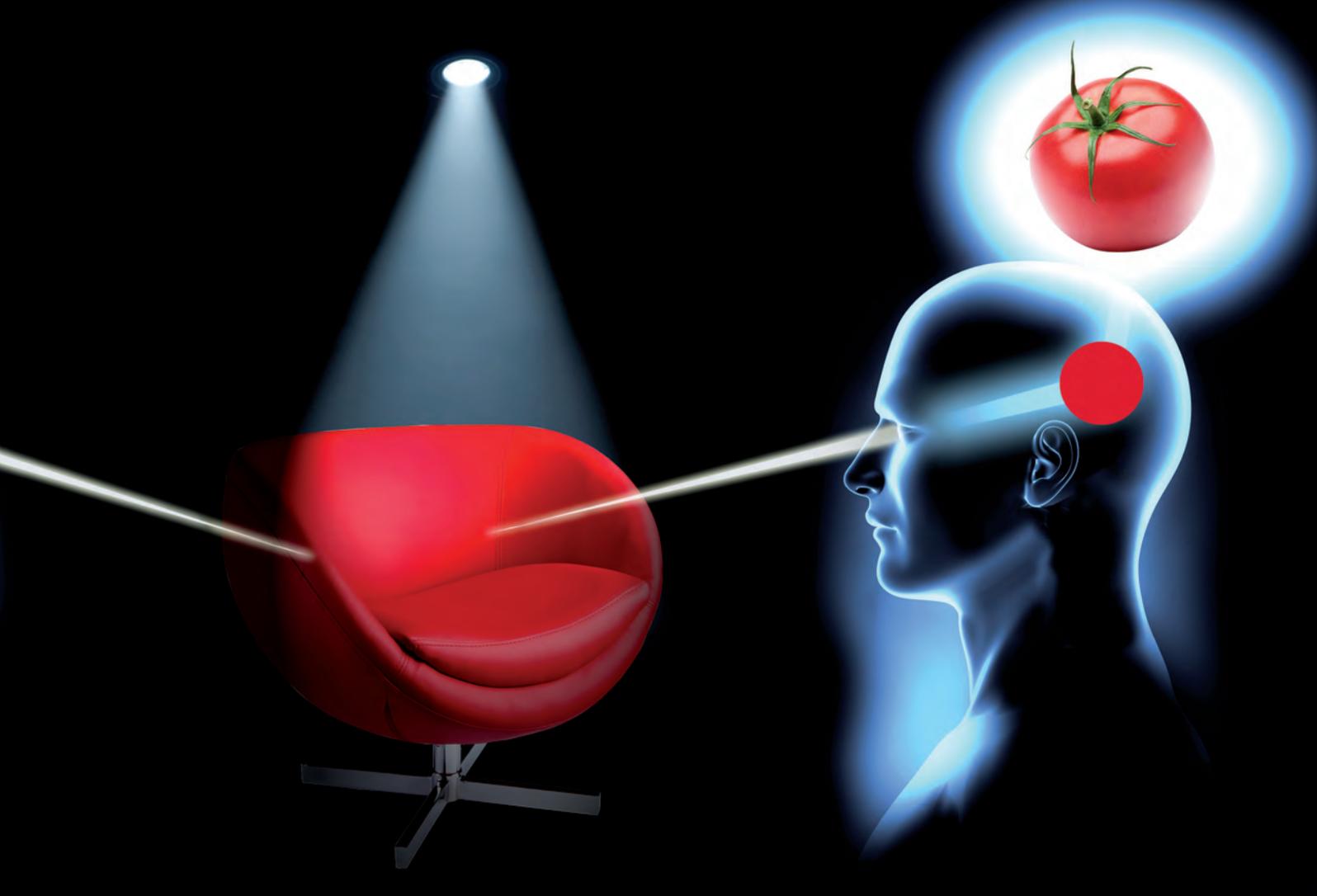
Por tanto, el color es radiación electromagnética (luz) reflejada o transmitida por una materia (objeto) y percibida e interpretada por el hombre (observador).?

Esto significa que cuando surge el color siempre hay presentes tres cosas:

- una fuente de luz
- un objeto
- un observador

Si falta uno solo de los elementos de esta serie, en el caso de los colores no luminosos no es posible obtener una impresión del color.

Las impresiones sensoriales son subjetivas, cada persona percibe el color de forma diferente. Los factores físicos, fisiológicos y psicológicos influyen en la percepción. Así, una persona puede percibir un mismo color de forma diferente dependiendo de, por ejemplo, su estado anímico. De ahí que se plantee la siguiente pregunta: ¿es posible expresar en valores numéricos objetivos la evaluación visual que realiza un observador humano?

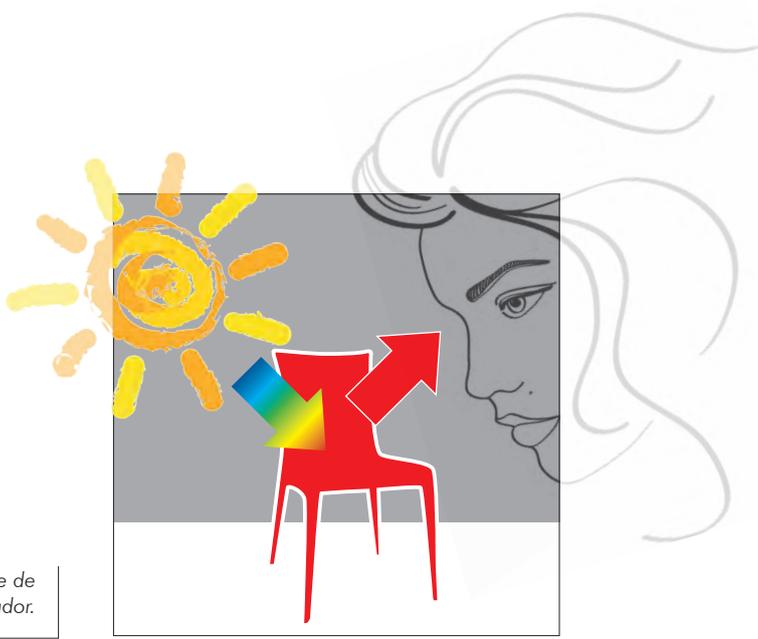


¡Esta es exactamente la meta de la medición del color!

El reto en este caso es estandarizar la interpretación humana del color a partir de los tres elementos implicados: la fuente de luz, el objeto y el observador.

Analicemos primero con más detalle los 3 elementos del denominado triplete.

Los 3 elementos del triplete: fuente de luz, objeto, observador.



Isaac Newton caracterizó siete tonos de color básicos siguiendo el ejemplo de la música.

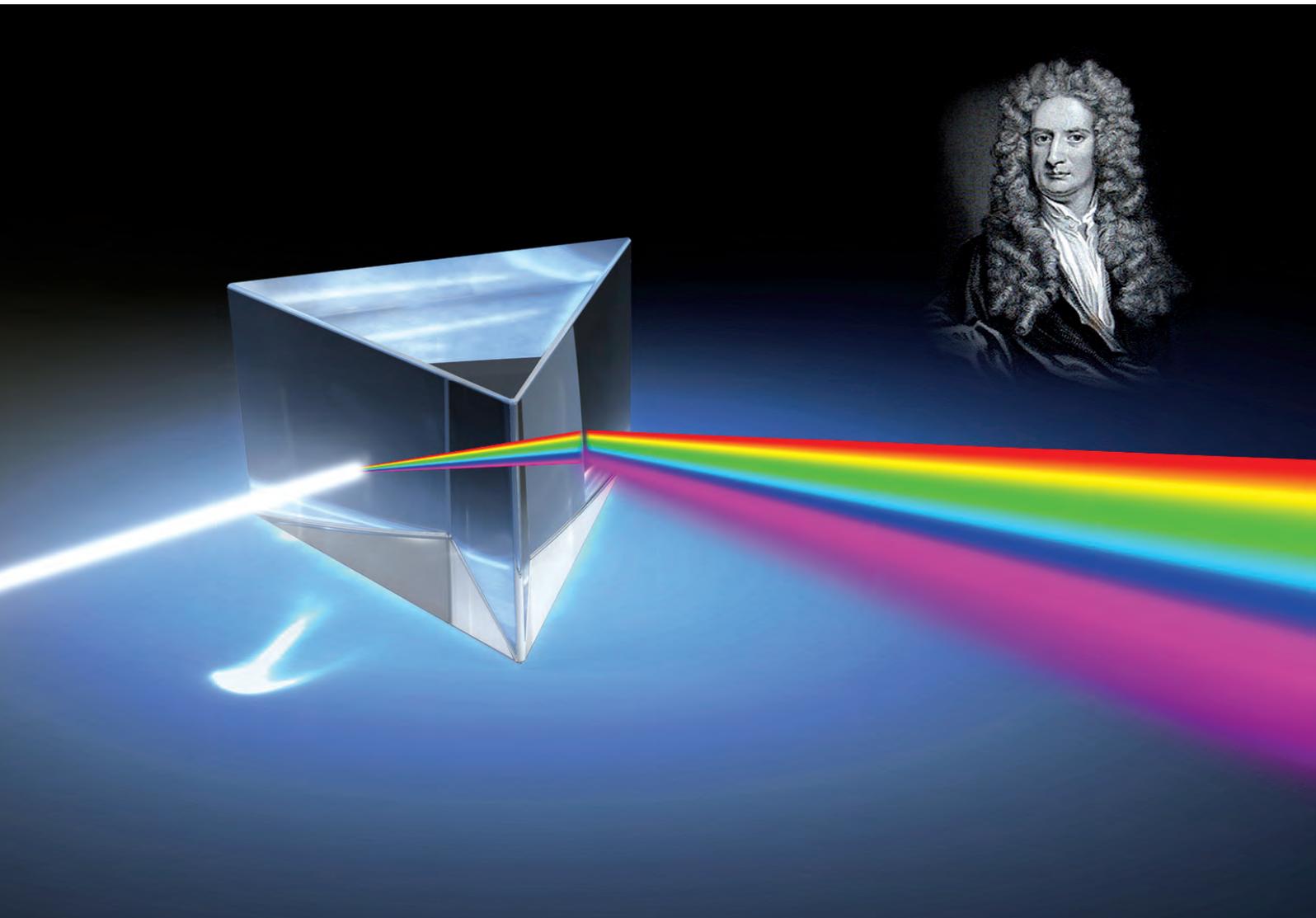
La luz. Las fuentes de luz

La combinación de luz y materia

En 1666 el físico Isaac Newton experimentó con luz blanca solar. Un día soleado hizo pasar un rayo de luz a través de un agujero en un postigo (obturador). Después hizo pasar el rayo de luz a través de un prisma y recogió sobre una pantalla la franja de luz que se generaba. De este modo

observó que la luz se descomponía en diversos colores, los cuales eran idénticos a los del arcoíris. Hasta ese momento se había partido de la base que había que añadir un color a la luz blanca solar para generar un rayo de luz de color. Sin embargo, Newton supuso correctamente que cada uno de los colores debía formar parte de la luz diurna.

Y para descartar que fuera el prisma el que añadía colores al rayo de luz, Newton separó partes individuales del espectro



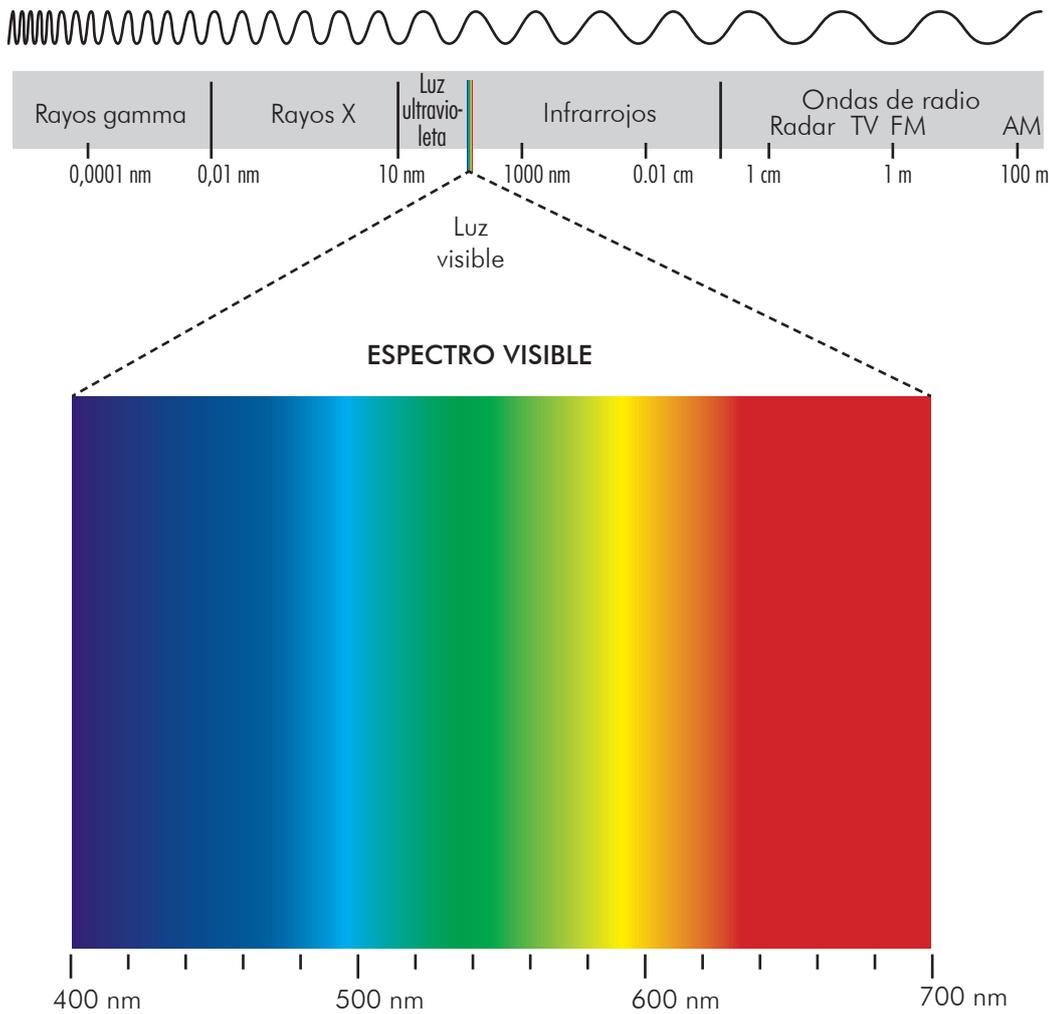
En 1666 el físico Isaac Newton hizo pasar luz blanca solar a través de un prisma. La radiación luminosa se descompuso en sus componentes y surgió un espectro cromático.

cromático y las hizo pasar por otro prisma. Estos rayos de luz fueron divididos por el prisma, pero el color no se modificó. Por tanto, su experimento demostró que los colores del espectro están contenidos en la luz blanca solar.

Después de innumerables experimentos, Newton caracterizó los tonos de color básicos violeta, índigo, azul, verde, amarillo, naranja y rojo.

En lo sucesivo, una gran cantidad de científicos pudo probar

que los rayos de luz son ondas electromagnéticas, como por ejemplo los rayos X y las ondas de radio. Por tanto, pueden definirse a partir del número de oscilaciones por segundo, es decir, la frecuencia en hercios, o a partir de la longitud de onda. En la actualidad se ha impuesto la caracterización a través de la longitud de onda. La unidad de medida para la medición e identificación de la radiación luminosa es el nanómetro (1 nanómetro = 1 milmillonésima parte de un metro = 10^{-9} m).



Teoría de la oscilación electromagnética. Incluye todos los tipos de radiación usuales en la civilización moderna.

El espectro de luz visible para el ojo humano se encuentra entre los 400 y los 700 nm.

Las fuentes de luz

El primer elemento de nuestro triplete es la fuente de luz.

La luz se puede generar de diferentes formas. Una de ellas es, por ejemplo, calentando una materia hasta su punto de incandescencia (como los filamentos de una bombilla).
 ○ estimulando átomos o moléculas con un arco voltaico.
 ○ mediante una descarga eléctrica en un gas (como por ejemplo en el caso de una bombilla para flash de xenón).

Las diferentes fuentes de luz tienen un color de luz diferente. Este color de luz repercute en el color de los objetos que está iluminando. La medida para la impresión del color de una fuente de luz es la temperatura de color. Ésta se expresa en Kelvins (K). Los denominados "cuerpos negros" (radiador de Planck) sirven como referencia para la temperatura de color.

[Texto de la imagen (del gráfico adicional de un cuerpo negro): La temperatura de color del iluminante A (bombilla) se corresponde con el color de luz de un radiador de Planck (cuerpo negro), calentado a 2.856° Kelvin (2.856 K).

En la realidad los "cuerpos negros" no existen. Son sólo un objeto teórico en la física y sirven como base para los enfoques teóricos y como referencia para las investigaciones prácticas de la radiación electromagnética.

Un cuerpo negro tiene dos propiedades muy importantes:

- Absorbe por completo la radiación electromagnética de cualquier longitud de onda que incide sobre él y
- en cualquier rango espectral emite una potencia radiada mayor que cualquier otro cuerpo a la misma temperatura.

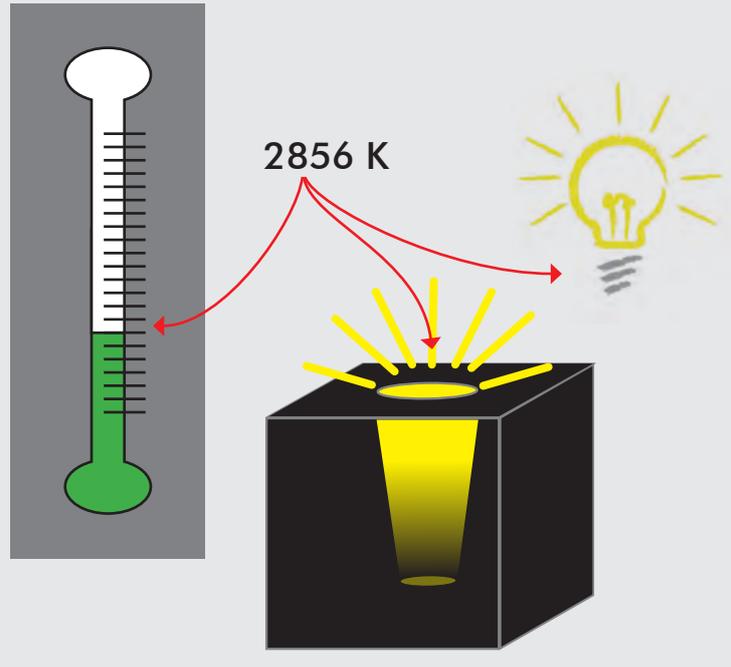
Para identificar la temperatura de color de una fuente de luz, se calienta un cuerpo negro hasta que emite una luz del mismo color que el de la fuente de luz real.

La fuente de luz natural más importante es el sol

Normalmente observamos los colores de día. La luz diurna se compone de luz solar directa y luz irradiada por la atmósfera. El rango espectral de la luz solar va desde los 200 hasta los 4000 K. Se puede comparar con la radiación de un cuerpo negro calentado a 5.800 K. Sin embargo, la calidad y energía de esta fuente de luz no es constante y varía. La ubicación, la estación, las condiciones meteorológicas, la contaminación del aire y la hora del día influyen sobre la luz solar, la cual se modifica conforme lo hacen estas condiciones. Por causa de esto, la temperatura de color de la iluminación diurna varía entre los 4.000 y los 6.500 K.

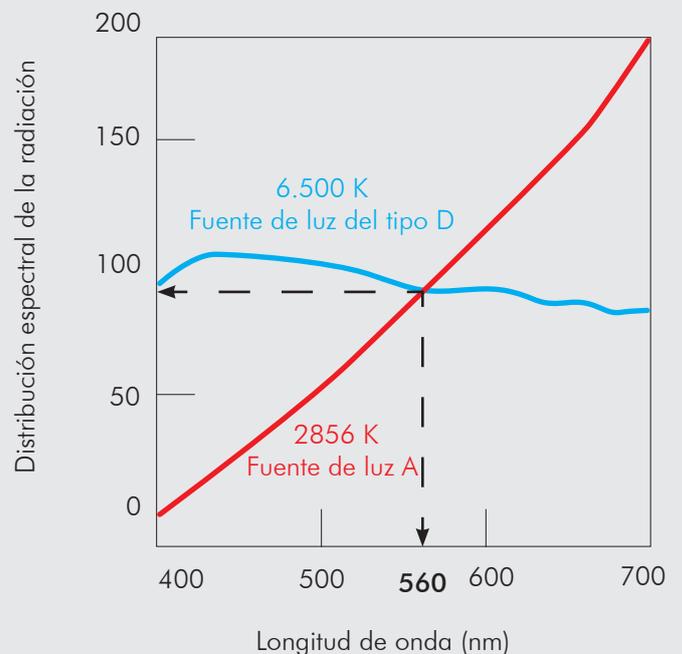
Una fuente de luz como esta no es adecuada para realizar cálculos colorimétricos. Para las mediciones del color debía normalizarse la fuente de luz denominada luz diurna, de forma que pudiera reproducirse y fuera constante.

Bloco Negro



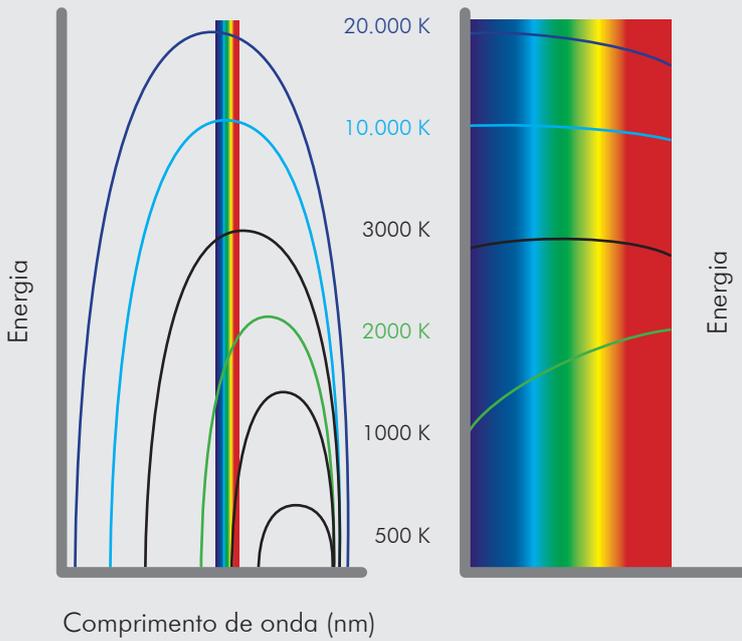
A temperatura do iluminante A (lâmpada) é equivalente à luz da cor do radiador Planckiano (corpo negro) que é aquecido a 2856 Kelvin (2856K).

Distribución espectral de la radiación de 2 fuentes de luz



A 560 nm la energía de radiación de ambas fuentes de luz es igual. Para la normalización se define la energía de radiación a 560 nm como del 100% o idéntica.

A cor da temperatura



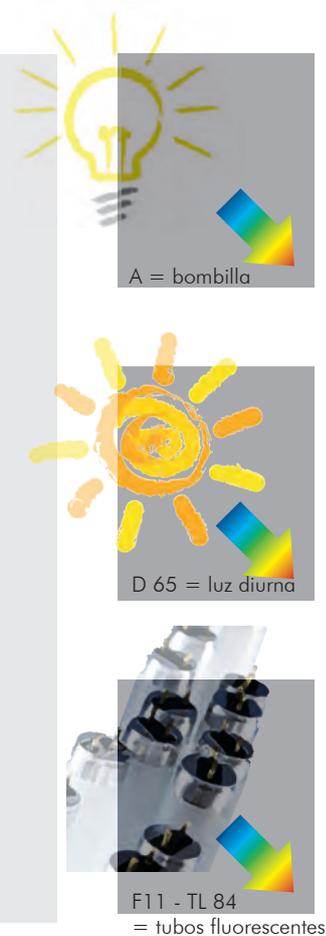
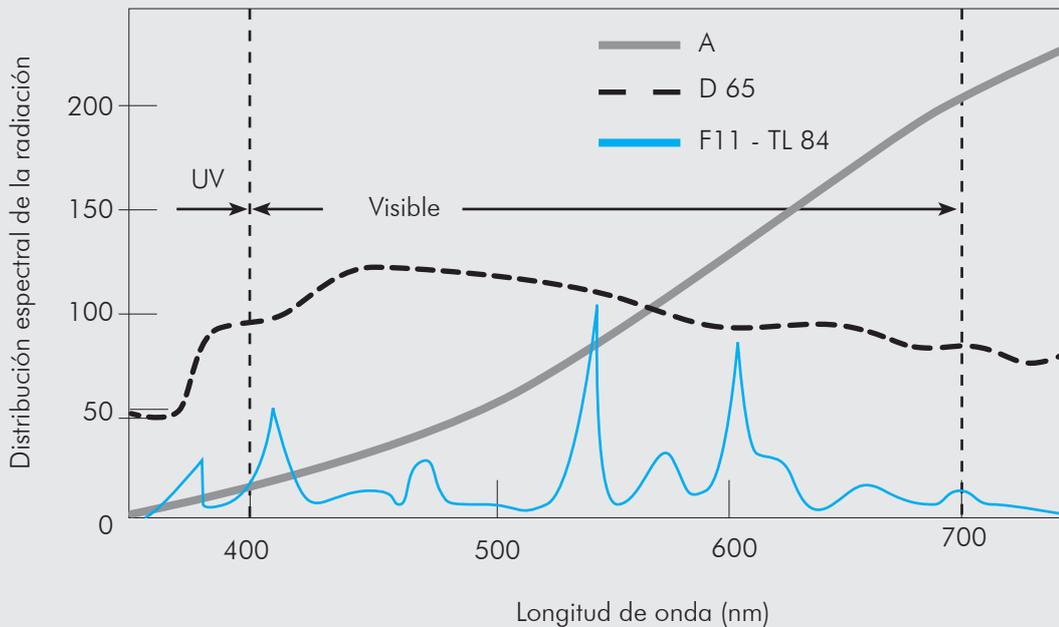
Los iluminantes

La percepción del color de los objetos es diferente si se observan dichos objetos con fuentes de luz diferentes, por lo que la situación lumínica debe definirse siempre.

Para describir de forma reproducible y constante un tipo de fuente de luz, la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE*) ha evaluado y caracterizado diversas fuentes de luz, para a partir de ahí crear estándares industriales fiables. Estas fuentes de luz definidas se denominan "iluminantes". Los iluminantes no son fuentes de luz físicas. Los iluminantes se definieron de tal modo que su distribución espectral de la radiación se asemeja a la de las fuentes de luz naturales. Los iluminantes más importantes normalizados por la CIE son la D65 (daylight, luz diurna a 6.504 K), la A (luz de bombilla) y la F11 (p. ej. tubos fluorescentes).

(*) CIE: Commission Internationale de l'Éclairage = Comisión Internacional de la Iluminación, única organización internacional para la recomendación y normalización de la iluminación, el color y la medición del color. Se fundó en 1913.

Iluminantes A, D65, F11 - TL 84



Los iluminantes estándar más importantes: D65, A y F11

El objeto. La materia

La combinación de luz y materia

El segundo elemento de nuestro triplete es el objeto.

Para que el ojo pueda percibir un objeto, éste debe interactuar con la luz. La percepción, y con ella la impresión visual que nos causa este objeto, viene determinada por el modo en que las propiedades del objeto o de su superficie modifican la luz que incide sobre ella.

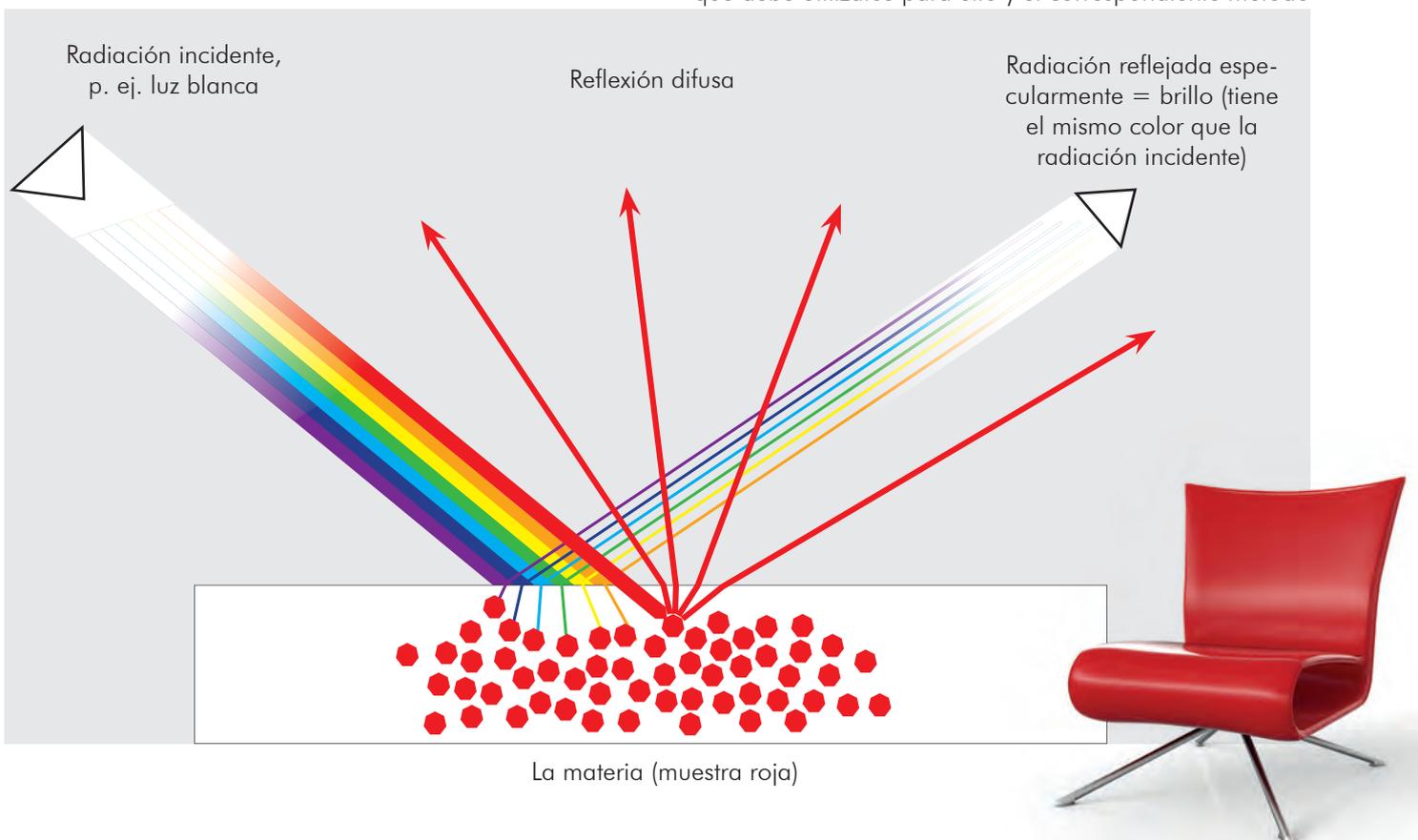
Todo objeto o toda superficie tienen propiedades determinadas individuales. Éstas influyen en el modo en que se refleja o absorbe la luz irradiada. Se diferencia entre

- objetos opacos: la luz es parcialmente absorbida y parcialmente reflejada
- objetos transparentes: la luz es parcialmente absorbida, parcialmente reflejada y pasa parcialmente a través del objeto sin dispersarse
- objetos translúcidos: la luz es parcialmente reflejada,

parcialmente absorbida y pasa parcialmente a través del objeto dispersándose

Por tanto, la materia tiene la propiedad de reflejar la radiación electromagnética con más o menos potencia.

La impresión visual de los diferentes materiales se determina mediante los más diversos factores, entre otros también las propiedades del material en sí. De este modo el color de una muestra brillante parece mucho más intenso y fuerte que el mismo color en una superficie mate. Mediante el análisis por separado de las características cromáticas (color) y los rasgos geométricos (brillo, forma, textura) se puede simplificar este problema separando la radiación que irradia la materia (color) de la radiación reflejada especularmente (brillo). La separación de estos dos tipos de radiación permite determinar cada uno de los componentes individuales. Sobre el aparato de medición que debe utilizarse para ello y el correspondiente método



combinación de luz y materia. Ejemplo: una muestra roja.

de análisis se hablará en el capítulo 12 (Técnica científica de medición del color).

La respuesta generada por la radiación reflejada especularmente es la responsable de que un objeto sea brillante, semi-mate o mate. En general, los metales se caracterizan por tener una radiación más especular que otros productos, mientras que las superficies lisas normalmente son más brillantes que las rugosas.

La radiación difusa es un rasgo de la materia, su color y su composición.

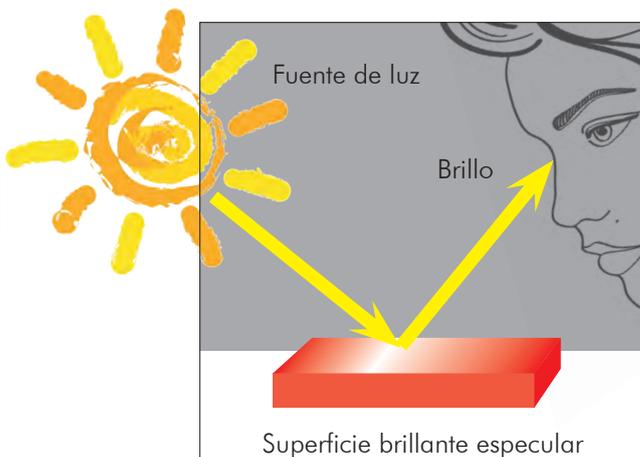
El color se genera cuando la luz incide sobre un objeto, una parte de la luz se refleja y llega al ojo humano. Por tanto, la absorción selectiva de luz determina nuestra percepción del color. Cuanta más luz se absorbe, menos intensos son los colores que se originan. Si se absorbe toda la luz, percibimos el color negro. Si se refleja toda la luz (100%), vemos el color blanco.

Así pues, la radiación o absorción de la luz (radiación reflejada especularmente, radiación reflejada difusamente, radiación normal transmitida o radiación difusa transmitida) son las responsables del color y el aspecto de la mayoría de objetos. Los componentes de estos fenómenos pueden analizarse físicamente con ayuda de mediciones espectrofotométricas (en algunos casos excepcionales también mediciones goniofotométricas). El resultado de estas mediciones espectrofotométricas son las denominadas distribuciones de energía espectral de la radiación o curvas espectrales. Representan la radiación luminosa reflejada o transmitida por un objeto, sea cual sea su longitud de onda. Las curvas espectrales describen el color y el aspecto de un objeto.

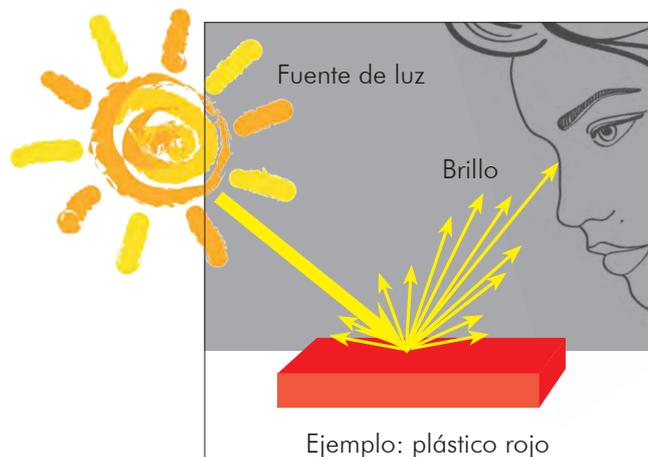


La absorción, dispersión y brillo son los responsables del aspecto de un producto.

Brillo en una superficie especular



Brillo en una superficie estructurada



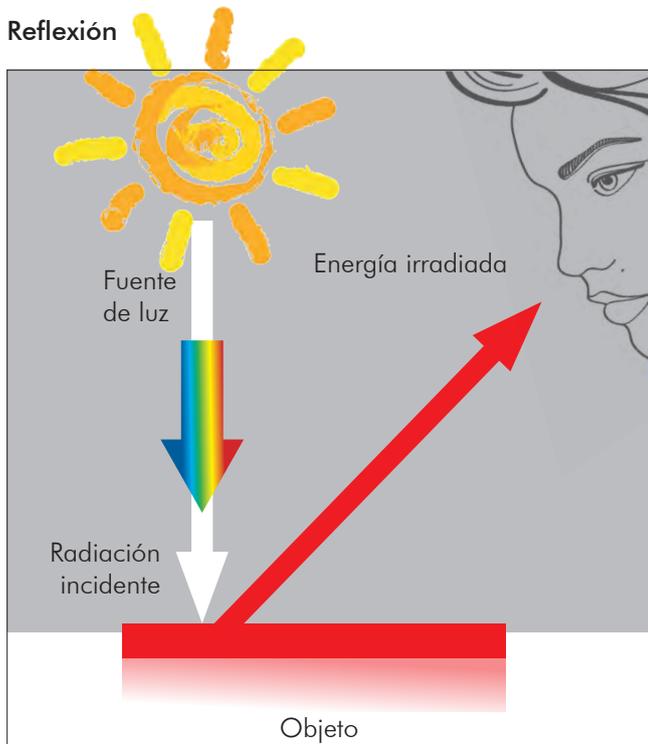
Las características cromáticas de la materia. La física de los colores

Como ya sabemos, el color se basa en ondas electromagnéticas y en su distribución de la radiación en el rango espectral visible.

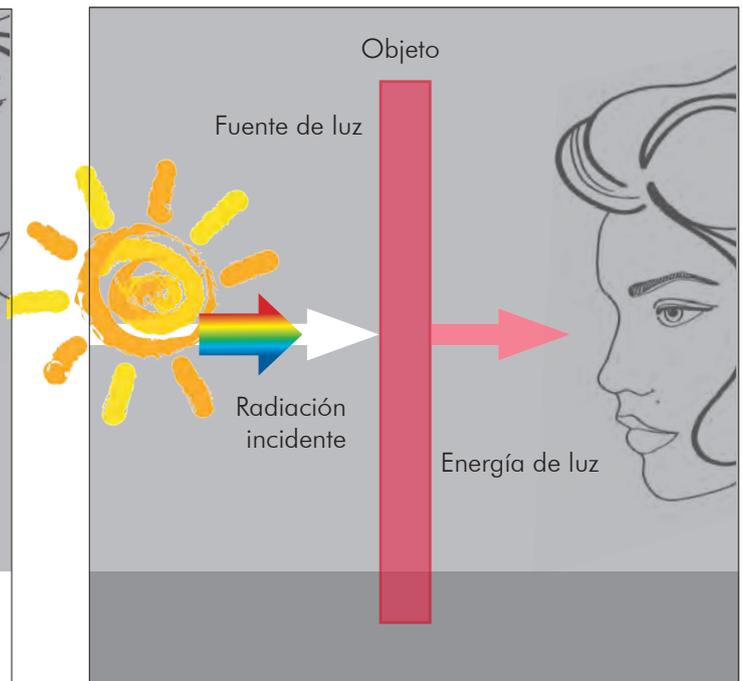
Las longitudes de onda de las radiaciones en el espectro visible se encuentran entre los 400 y los 700 nm. El color de un objeto se genera a partir de la incidencia de la luz sobre la superficie de dicho objeto. Una parte de la luz es absorbida y otra parte es reflejada o transmitida. El ojo humano puede percibir la parte reflejada o transmitida de la radiación, la cual se procesa en el cerebro para formar una impresión del color.

Un objeto amarillo absorbe luz en la gama de azules. Los objetos rojos absorben la luz de la gama de azules, verdes y amarillos. En física se habla de la distribución espectrofotométrica de la luz por parte de un objeto. Mediante esta propiedad se determina y representa el color de un objeto. La gráfica representa la proporción de la radiación luminosa incidente reflejada o transmitida, en función de la longitud de onda, para un rango espectral visible de 400-700 nm.

Reflexión



Transmisión



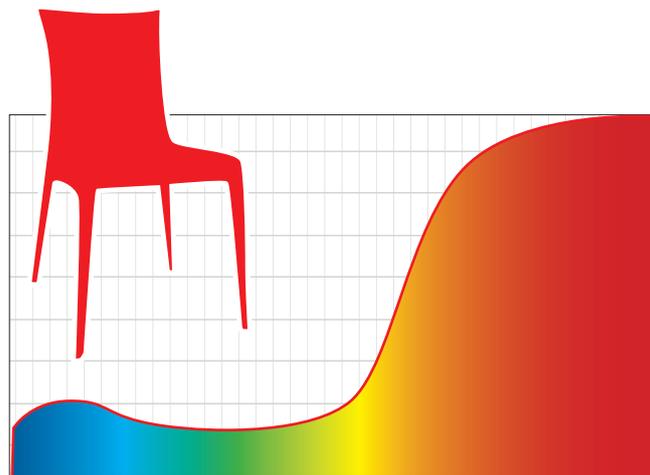
$$\text{Relación R\%} = \frac{\text{energía de luz reflejada por long}}{\text{ondaenergía de luz incidente por long}} \times 100$$

$$\text{Relación T\%} = \frac{\text{energía de luz transmitida por long}}{\text{ondaenergía de luz incidente por long}} \times 100$$

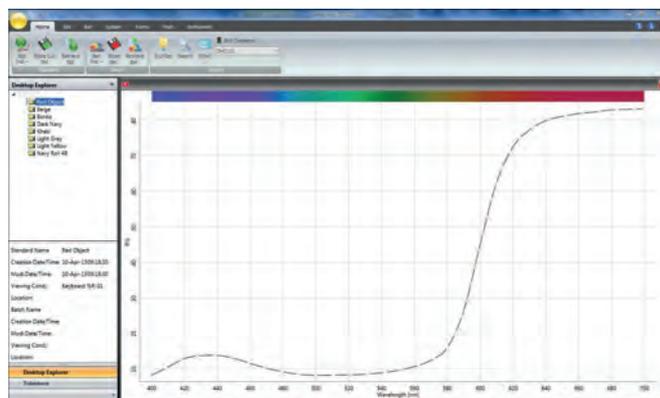
Los valores de reflectancia R% resultan de la relación de energía lumínica incidente a energía lumínica reflejada por longitud de onda. Esto se aplica de igual forma a la transmisión, en la que la radiación incidente y la emitida son las que describen la curva de transmisión. Las curva de reflexión o de transmisión son propiedades del material y no depende de la fuente de luz utilizada. La condición es que la fuente de luz utilizada emita energía en todos los campos de la luz visible.

En el siguiente ejemplo aparece la curva de reflexión de una muestra roja. Esta curva de reflexión describe la materia y el color de la muestra, es la "huella digital de este color".

Por long (in nm)	Radiación incidente (R in %)
400	8,17
410	10,47
420	12,87
430	13,67
440	13,76
450	12,92
460	11,46
470	10,11
480	9,10
490	8,40
500	8,12
510	8,14
520	8,25
530	8,45
540	8,84
550	9,50
560	10,63
570	12,36
580	15,97
590	26,40
600	45,11
610	62,43
620	72,43
630	77,21
640	79,64
650	81,01
660	81,81
670	82,30
680	82,64
690	83,01
700	83,19



Curva de reflexión de la muestra roja: "La huella digital de este color"



Muestra roja brillante: medición con una geometría de medición de d/8° con luz reflejada especularmente (brillo)



El ojo. El observador

El hombre como observador. La visión del color

El tercer elemento de nuestro triplete es el observador o el sistema de percepción del hombre (ojo y corteza cerebral).

El ojo capta la luz reflejada por un objeto o emitida directamente por una fuente de luz y las células ópticas de la retina la transforman. Nuestro cerebro interpreta esta información y genera una impresión del color.

Dependiendo de la longitud de onda, el ojo demuestra sensibilidades diferentes a la luminosidad de la luz en el rango espectral visible (véase capítulo 9). Percibimos la luz en diversos grados de luminosidad (visión en clarooscuro), pero también vemos las características cromáticas (tono y saturación) y clasificamos los colores en un sistema tridimensional.

La condición para esta tridimensionalidad de la visión del color es la existencia de 3 tipos de receptores diferentes en el ojo humano. La ciencia hace mucho que lo sabe. La comprensión del proceso de percepción del color por parte de los humanos comenzó cuando en 1666 Newton publicó sus trabajos sobre la distribución de la luz blanca con un prisma de cristal. Sin embargo, los descubrimientos y avances más importantes no se realizaron hasta que no fue posible medir la sensibilidad de los receptores del color en el ojo humano.

En el año 1801 el oftalmólogo y físico inglés Thomas Young formuló la denominada teoría tricromática. Ésta afirma que la percepción del color por parte de los humanos sólo se basa en tres tipos diferentes de receptores (percepción tricromática del estímulo de color). 50 años después, el científico alemán Hermann von Helmholtz ayudó a consagrar la teoría aditiva de Thomas Young sobre la visión del color. Demostró que basta con tres colores primarios (rojo, verde y azul) para generar el resto de colores.



Thomas Young

Hermann von Helmholtz

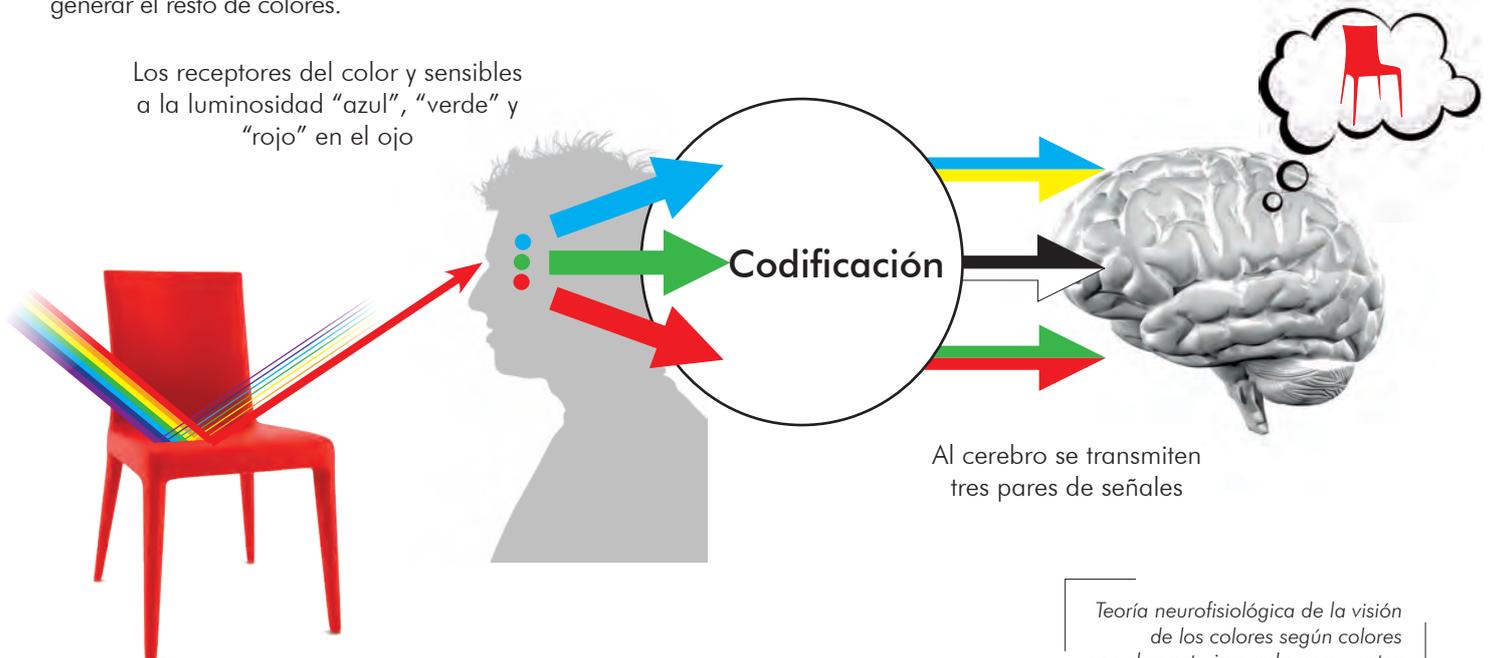
Ewald Hering

En 1878 Ewald Hering publicó su teoría de los procesos opuestos como propuesta alternativa a la teoría tricromática de Helmholtz y Young. Hering partió de la observación que no es posible imaginarse impresiones del color como “azul amarillento” o “verde rojizo” (exclusión recíproca de amarillo y azul o de verde y rojo). Por ello supuso que en la retina tenían lugar tres procesos químicos independientes, cada uno de ellos con dos colores opuestos y con cada uno una relación inhibitoria y otra excitante que tienden al equilibrio. Los pares de colores opuestos son azul-amarillo, rojo-verde y negro-blanco.

Muchos experimentos realizados en lo sucesivo con 3 proyectores de luz colorida (rojo, azul, verde) demostraron que la modificación de la intensidad lumínica de estos 3 proyectores permitía generar una gran diversidad de colores. Los resultados permitieron valorar estas percepciones tricromáticas del estímulo de color, entre otros también los experimentos sobre la mezcla aditiva de estímulos de color llevados a cabo en 1928 por W. D. Wright y en 1931 por J. D. Guild.

Hasta principios del siglo XX diversos científicos realizaron incontables experimentos con el fin de investigar nuestro sistema de percepción del color. Hasta los años 30 las teorías de Young-Helmholtz y Hering competían entre sí, hasta que E. Müller confirmó por fin la teoría de los procesos opuestos.

Sobre la teoría de los procesos opuestos se basan por ejemplo el Sistema De Color Natural (NCS) y el modelo cromático $L^*a^*b^*$.





Wilhelm von Bezold

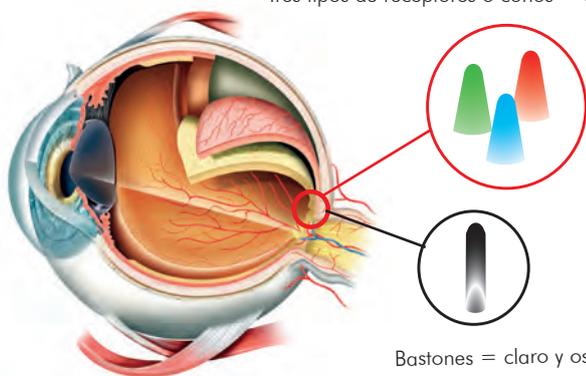
Bezold-Farbtafel 1874

Ernst von Brücke

El ojo humano

Los colores que vemos son ondas de luz de diferente longitud que inciden sobre nuestro ojo. La luz reflejada por un objeto activa un impulso en las células ópticas de nuestra retina. Estas células ópticas están formadas por bastones y conos. Los bastones sólo son responsables de la visión en clarooscuro y de la visión nocturna (visión escotópica). Gracias a ellos podemos ver en condiciones de poca luz y diferenciar los tonos grises. Con los bastones no es posible diferenciar los

Tres tipos de receptores o conos = color



Bastones = claro y oscuro

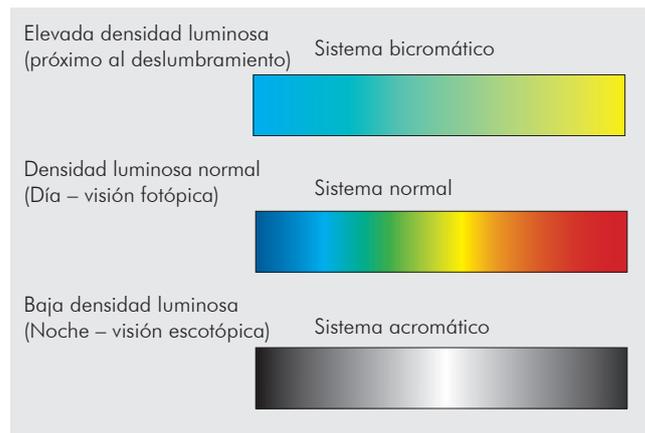
colores. En condiciones de luz diurna los bastones están completamente saturados y son incapaces de procesar la información. Con una buena iluminación, p. ej. con una luz diurna normal, vemos únicamente gracias a los conos (vista fotópica). Éstos son precisamente los responsable de diferenciar los colores.

En la retina encontramos unos 7 millones de conos y unos 120 millones de bastones. Todas las células ópticas son igual de sensibles, aunque los conos se agrupan alrededor de salidas comunes, lo cual los hace más sensibles a la visión lateral. En el ojo hay tres tipos de receptores del color (azules, rojos y verdes). Se encuentran en su mayoría en la denominada mancha amarilla, en el centro de la retina. En el centro de la mancha amarilla, es decir, de la fovea, sólo hay conos. La distribución media para verde : rojo : azul es de 40 : 20 : 1. La sensibilidad al azul se encuentra a un máximo de 477 nm, al verde a un máximo de 540 nm y al rojo a un máximo de 577 nm. Los conos azules también se denominan conos-S (S de short, longitud de onda corta), los conos verdes son los conos-M (M de medium, longitud de onda media) y los conos rojos se denominan conos-L (L de long, longitud de onda larga).

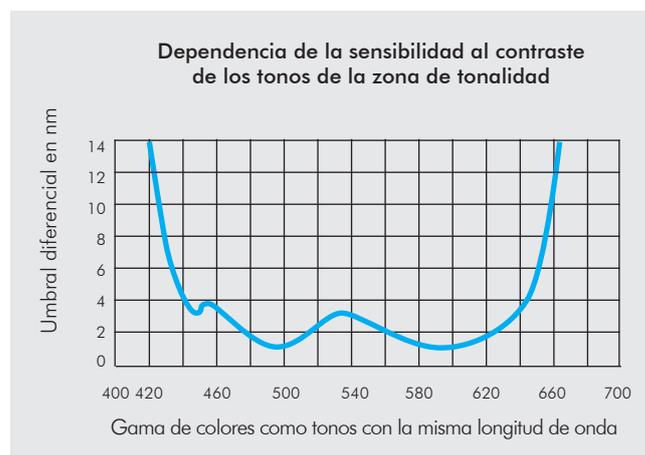
En el ojo humano la diferenciación del color, o más exactamente la diferenciación de los tonos, depende de la densidad luminosa. Si la densidad luminosa es baja, un estímulo de color entre 400 nm y 480 nm causa una especificación azul-violeta, con un estímulo de color entre



El efecto BEZOLD-BRÜCKE: modificación de la apariencia y del color de acuerdo con la densidad luminosa



480 nm y 570 nm se percibe el verde y desde 570 nm hasta el límite de visibilidad de onda larga de 700 nm se percibe el rojo. Este efecto se denomina el fenómeno de Bezold-Brücke (descubierto en 1873 y nombrado así por el físico alemán Wilhelm von Bezold y el fisiólogo alemán austríaco Ernst Wilhelm von Brücke). Cuanto mayor es la densidad luminosa, mejor es la diferenciación, pero si la densidad llega a ser muy elevada, la diferenciación vuelve a reducirse. Por tanto, un aumento fuerte de la iluminación provoca una modificación de los tonos rojos y verdes en dirección al amarillo, y de los tonos violeta y azul-verde en dirección al azul. Cuando se produce un deslumbramiento el ojo humano sólo puede percibir un amarillo blanquecino y un azul-violeta blanquecino. Por tanto, se pasa a un sistema bicromático con casi sólo 2 colores: amarillo y azul. Al medir colores de forma visual e instrumental se asegura que las condiciones de iluminación sean normales (unos 1500 lux), es decir, que las condiciones sean las mismas que las que existen para la visión fotópica.



Lista de referencias

- Farbe sehen, Corinna Watschke, 01.2009 [www.planet-wissen.de],
- Farbmanagement in der Digitalfotografie (ISBN 3-8266-1645-6), 2006, Redline GmbH, Heidelberg
- Beschreibung und Ordnung von Farben, Farbmeterik, Farbmodelle, DMA Digital Media for Artists – Archiv 2006-2011, Kunstuniversität Linz, Gerhard Funk
- Messen – Kontrollieren – Rezeptieren, Dr. Ludwig Gall [www.farbmeterik-gall.de]
- Farbabstandsformeln, 2012, Fogra Forschungsgesellschaft Druck e.V. [www.fogra.org]
- Wikipedia, various articles about color and color measurement [<http://de.wikipedia.org/wiki/Farbe>]
- Various representations of color models and color spaces [http://www.chemie-schule.de/chemieWiki_120]
- Praktische Farbmessung, Anni Berger-Schunn, 2. überarbeitete Auflage, 1994, Muster-Schmidt Verlag, Göttingen – Zürich
- Farbabstandsformeln in der Praxis, SIP 01.2011
- Schläpfer, K.: Farbmeterik in der grafischen Industrie, 3. Aufl. St. Gallen; UGRA 2002 (Tabelle S. 48)

Datos de publicación

Editor:

Datacolor, Inc. 5 Princess Road, Lawrenceville, NJ 08648, USA

Teléfono: 1-800-982-6497 | Fax: 609-895-7472 | marketing@datacolor.com | www.datacolor.com

Texto:

Gabriele Hiller, Hiller Direct Marketing, Stühren 41, 27211 Bassum, Alemania

www.hiller-direct-marketing.de

© Copyright Datacolor. Todos los derechos reservados

EUROPE

Datacolor AG Europe

6343 Rotkreuz

Teléfono: +41 44.835.3800

AMERICA

Datacolor Headquarters

Lawrenceville, NJ

Teléfono: +1 609.924.2189

ASIA

Datacolor Asia Pacific Limited

Hong Kong

Teléfono: +852 24208283