

Una mirada al círculo cromático

Habrás visto que los colores suelen representarse en un círculo. ¿Sabés por qué?



El círculo cromático.

La luz visible

La luz blanca es una superposición de vibraciones eléctricas y magnéticas, cada una de ellas con su propia longitud de onda. El arcoíris abarca longitudes de onda que van desde unos 380 nanómetros (violeta), hasta unos 740 nanómetros (rojo intenso). También podríamos suponer a la luz como un chorro de balines microscópicos, los *fotones*, donde cada fotón correspondiente a la onda corta (al violeta) tiene más energía –digamos que pega más fuerte– que uno correspondiente a una onda larga (el rojo).

¿Cómo trabaja nuestra visión?

Cuando los fotones entran al ojo son enfocados en la *retina* y detectados por células sensores de color llamadas *conos*. Hay tres tipos de conos en nuestra retina, cada uno sensible a distintas longitudes de onda. Cada cono es un contador de fotones, como esos detectores mecánicos que cuentan los vehículos que circulan por una calle. Los tres tipos de conos son capaces de contar fotones de toda longitud de onda, pero son más sensibles a algunas longitudes más que a otras. Imaginemos un *contador de vehículos* en una autopista, que detecta el 100% de los camiones, pero solo detecta la mitad de los autos o camionetas. Si pasa un contingente de vehículos y el contador indica 50, es imposible saber cuántos autos y camionetas pasaron realmente. Podrían haber pasado 50 camiones, o 100 camionetas, o 25 camiones + 50 automóviles. Análogamente en el ojo, un solo cono es incapaz de discernir el color de



Autor

Alberto Rojo

Doctor en Física (Instituto Balseiro)

Profesor en Oakland University (EE.UU.)

Columnista ocasional en Tv Pública, Diarios La Nación y Clarín

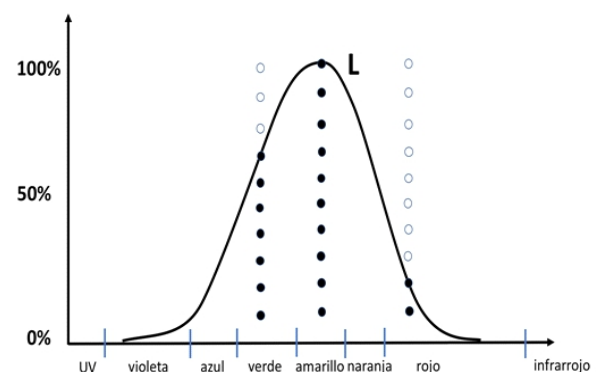
Divulgador científico

Autor de varios libros

Miembro del Roster of Fulbright Specialists in the field of Physics Education

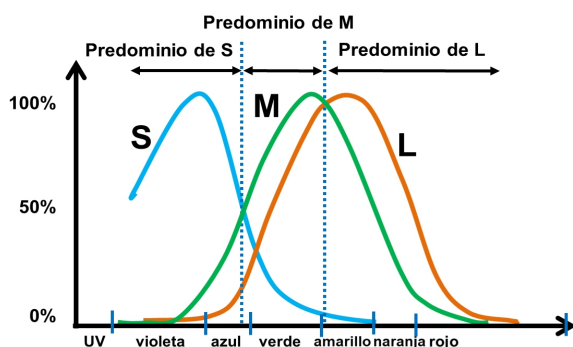
Músico ¹

la luz que absorbió. Los conos “L” (por long, largo en inglés) son más sensibles a las longitudes de onda larga, que es la porción del arcoíris que va del verde al rojo. Lo puedo graficar a modo de ejemplo con un contingente de 30 fotones (30 puntos en total), de tres longitudes de onda distintas (10 fotones con longitud de onda que corresponde al verde, 10 al amarillo y 10 al rojo). La curva de sensibilidad indica que de los 10 fotones verdes, solo 7 (el 70%) son detectados (puntos negros). Por otro lado, son detectados los 10 amarillos y solo 2 (el 20%) de los rojos. Enton-



Curva de sensibilidad a modo de ejemplo.

ces, el cono termina contando 19 fotones de un total de 30. Lo mismo pasa con los otros dos conos, de manera que toda la riqueza cromática de la luz que llega a nuestros ojos queda reducida a tres números, los números de absorción de cada tipo de cono. En ese proceso de absorción, hay información perdida. Detectar las longitudes de onda individuales de los fotones que llegan al ojo sería como inferir la marca de los vehículos que pasan por la autopista, usando como único dato la cantidad de autos por rango de peso que pasaron.



Curvas de sensibilidad de los tres tipos de conos.

¿Cómo trabaja nuestro cerebro?

Y ahora viene un punto crucial: la sensación de color se produce cuando el cerebro compara simultáneamente las respuestas que le llegan de los distintos conos. Para ilustrar el mecanismo, agregamos las curvas de sensibilidad de los conos "M" (por medium, mediano en inglés) y "S" (por short, corto). Fíjense que la sensibilidad de los conos M y L son parecidas. Las curvas se cruzan en un amarillo muy particular, un amarillo "puro" de unos 650 nanómetros (línea de puntos de la derecha). Para fotones "hacia la derecha" de ese amarillo, es decir para colores rojizos (naranja hacia el rojo) los L son más sensibles que los M. Para colores "a la izquierda" de ese amarillo (los verdes), los M son más sensibles que los L. A través de un mecanismo preciso, las neuronas del ojo calculan la diferencia entre los fotones detectados por L y por M, y envían esa información al cerebro. Si la diferencia es positiva, el cerebro "sabe" que el color es rojizo. Cuánto más grande sea esa diferencia, más rojizo es el color. Si la diferencia es negativa (ganan los M) el color es verdoso. El tercer cono, el "S" (por short, corto en inglés) es sensible preferencialmente a las longitudes de onda más cortas. Las curvas S y M se cruzan en una especie de azul verdoso (la otra línea de puntos): a la izquierda ganan los S (azulados) y a la derecha ganan los L y M. Usando los conos S, las neuronas hacen un nuevo cómputo: calculan cuánto reciben de L y M combinados, cuánto reciben de S y calculan la diferencia; algo así como $(L+M) - S$. Y envían una segunda señal al cerebro: si la diferencia es positiva el cerebro "sabe" que se trata de un color amarillento. Cuánto más grande sea esa diferencia, más amarillo es el color. Si la diferencia es negativa (ganan los S), el color es azulado. Resumiendo: los tres conos reciben luz, luego las neuronas del ojo comparan las respuestas de cada cono, y mandan dos señales separadas al cerebro.

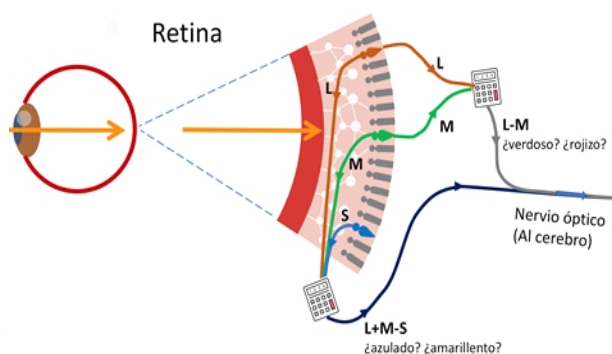
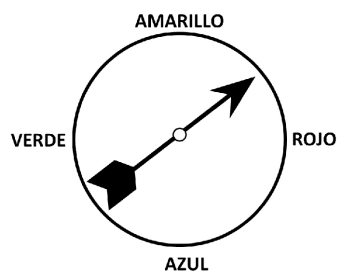


Diagrama que representa simplificado cómo hace nuestro cerebro para reconocer los colores.

Una señal dice si el color es amarillento o azulado; la otra dice si el color es rojizo o verdoso. Al recibir dos señales, el cerebro identifica colores con una especie de "veleta cromática". La dirección Norte-Sur corresponde al amarillo-azul, y la dirección Este-Oeste corresponde al verde-rojo. Las posibles "orientaciones" de esa "veleta" corresponden a los colores que percibimos. Esta descripción explica que no veamos verdes rojizos ni rojos verdosos, como la flecha de una veleta puede apuntar hacia un solo lado a la vez. Las cuatro orientaciones cardinales corresponden a los así llamados colores primarios psicológicos: rojo, amarillo, verde y azul. Sin embargo, los colores primarios psicológicos suelen ignorarse en la mayoría de los tratamientos tradicionales de la teoría del color para artistas.



La "veleta cromática".

Conclusión

Respondiendo a la pregunta inicial, los colores se suelen representar en un círculo de acuerdo con la teoría de colores oponentes, que explica el pasaje continuo de tonos, del amarillo al rojo, del rojo al azul, del azul al verde, y del verde al amarillo, regresando así a un cromático punto de partida.

REFERENCIA

1 Fotografía del Dr. Rojo: Gentileza Alejandra López.



Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable

Comisión Nacional de Energía Atómica

Tel: 011-4704-1485 www.cnea.gov.ar/ieds

Av. del Libertador 8250 (C1429BNP) C. A. de Buenos Aires - República Argentina

Año de edición: 2020/2° ISBN: 978-987-1323-12-8