

# **1. Color**

## **1.1 Introducción**

La luz entra en el ojo como un espectro de colores, distribuido con una longitud de onda. Esta función de distribución espectral incide en la retina por la parte posterior del ojo y es absorbida por el cono. Los seres humanos tienen tres tipos de conos, que responden a diferentes longitudes de onda de luz. Se les llama cono de larga, mediana y corta longitud de onda, o, respectivamente, conos rojos, verdes y azules. Cada cono absorbe la luz y envía una señal al cerebro. El espectro de la luz se codifica en tres valores que corresponden a la cantidad de luz absorbida por cada tipo de cono. Este es el principio de la visión tricromacia tridimensional (3D).

Debe quedar claro que la distribución real del espectro sólo está indirectamente "vista" por el ojo. La respuesta de cada cono puede ser codificada como una función de longitud de onda (la curva de respuesta espectral para el cono). Multiplicando el espectro de una función de este tipo e integrando produce la señal que se envía desde el ojo hasta el cerebro. Diferentes espectros pueden producir la misma señal, y, como tal, "tienen el mismo aspecto." Este principio se denomina *metamerismo*.

El principio de metamerismo subyace a todas las tecnologías de reproducción del color. En lugar de reproducir el estímulo espectral, crean una respuesta equivalente, mediante la mezcla de los colores primarios de una manera controlada.

La tricromacia y el metamerismo también se pueden aplicar al problema de medir el color. Es importante en muchas industrias ser capaz de medir materiales de color. Si somos capaces de crear un instrumento que responde de la misma manera que el ojo humano, se puede tener un observador imparcial para definir cuándo los colores coinciden. De la discusión anterior, parece obvia la adaptación de un instrumento con filtros y sensores que se comportan como los conos. Sin embargo, la precisión de la respuesta de los conos no se conocía hasta hace muy poco. La ciencia de la medición del color es mucho más antigua, y se basa en experimentos con colores a juego con conjuntos de tres luces primarias. Esto se llama colorimetría.

## **1.2 Colorimetría**

Los experimentos de correlación de colores que hacen referencia a la colorimetría se construyen de la siguiente manera.

Elija tres luces primarias (rojo, verde y azul). Luego, tome un conjunto de referencia de colores, tales como los colores monocromáticos del espectro, o los generados por filtrar una luz blanca. Para cualquier conjunto de tres primarios independientes, lo puedes combinar con cualquier otro color. El único requisito es que debes permitir que los primarios sean negativos. En un experimento físico, esto significa que irradias el primario "negativo" en la muestra para ser emparejado. Este es un resultado muy útil. Esto significa que podemos crear una representación de color en función de tres luces primarias. Cualquier color puede ser definido como un conjunto de tres números que se corresponden con el de los primarios. Estos tres números son llamados los valores triestímulo para el color.

¿Cómo sabemos cuáles son los valores principales que coinciden con un color en particular? Es evidente que no podemos realizar el experimento ajustando el color en todos los espectros posibles. La respuesta es utilizar el hecho de que la luz de color es

aditivo. Un espectro se puede construir mediante la adición de un número de luces monocromáticas juntas. Esto parece obvio, pero lo que es menos obvio es que la cantidad de los primarios necesarios para que coincida con la luz de color también es aditiva. En concreto, vamos a las primarias sean R, G y B. Deje que el espectro sea S. Si RGB1 coincide con S1 y RGB2 coincide con S2, entonces RGB1 + RGB2 coincidirá con S1 + S2. Este principio se formalizó por primera vez por Grassman, al que se le llama Ley de Grassman.

Para definir los primarios para un color arbitrario, usamos la ley de Grassman para construir un conjunto de funciones que lo relacionen con los primarios. Llevamos a cabo el experimento de igualación de color en cada uno de los colores espectrales monocromáticos (muestreada cada 2 nm, por ejemplo). Utilizamos el resultado para crear un conjunto de tres funciones, una para cada primario. Para determinar la cantidad de primarios necesarios para que coincida con un espectro determinado, multiplicamos el espectro por las funciones de igualación de color y se integran. Tres multiplicaciones y tres integraciones, y tenemos la relación. Como todas las funciones descritas se muestrean, este proceso es bastante simple de implementar.

El ojo humano es sensible a la radiación electromagnética con longitudes de onda entre aproximadamente 380 y 700 nanómetros. Esta radiación se conoce como luz. El espectro visible se ilustra a la derecha. El ojo tiene tres clases de colores sensibles a la luz llamados conos, que responden más o menos a la luz roja, azul y verde (alrededor de 650, 530 y 460 nm, respectivamente). Una gama de colores puede ser reproducida por uno de los dos enfoques complementarios:

- **Color aditivo:** los sistemas de colores aditivos se reproducen las partes rojas, verdes y azules de la imagen mediante la adición de luces juntas rojas, verdes y azules, a partir de la oscuridad (Negro). Dichos sistemas incluyen monitores, pantallas de cristal líquido (LCD) y proyectores digitales. La industria de la reproducción del color aditivo tradicional es la televisión, aunque los gráficos escaneados que muestran en una pantalla pueden estar más familiarizados con esta audiencia. Adición de R y G de luz hace que salga el amarillo (Y). Del mismo modo,  $G + B = \text{cian (C)}$  y  $R + B = \text{magenta (M)}$ . La combinación de los tres colores primarios aditivos hace blanco.

- **Color sustractivo:** Los sistemas de colores sustractivos filtran el rojo, verde y azul de la imagen de la luz blanca. Para ello, se utilizan filtros de colores que en teoría modulan sólo los componentes rojo, verde y azul del espectro. El filtro que deja pasar verde y azul pero modula el rojo, hace que aparezca cian. Del mismo modo la que modula el verde hace aparecer un color púrpura - rojo llamado magenta y el que modula el azul hace aparecer el color amarillo. Por lo tanto, los primarios en un sistema de color sustractivo son cian, magenta y amarillo. En la impresión, se añade la tinta negra para así mejorar el contraste. La ventaja de los sistemas de color sustractivos es que utilizan una única fuente de luz blanca en vez de tres colores. Además, para impresiones de reflexión, esta luz es simplemente la luz de la habitación.

Por desgracia, no existen tintas ideales C, Y y M; la mezcla de los primarios sustractivos los consiguen (R, B y G). Esto no es un problema para el cine, donde la luz es transmitida a través de tres capas de tinte separadas, pero tiene consecuencias importantes para impresiones realizadas con tinta en los medios de comunicación reflexiva (es decir, papel). Combinando C, Y y M generalmente produce un marrón

oscuro. El tinte negro (K) debe ser añadido a la mezcla para obtener negro. El color CMYK es altamente dependiente del dispositivo. Hay muchos algoritmos para convertir RGB a CMYK. La edición fotográfica se debe hacer en RGB (o relacionados). La conversión a CMYK (generalmente con colores añadidos para ampliar la gama de colores de la impresora) debe dejarse al software del controlador de la impresora. Puedes obtener una amplia gama de colores, pero el ojo no puede ver todos los colores, por la combinación de la luz del RGB. La gama de colores que un dispositivo puede reproducir depende del espectro de los primarios, que puede estar lejos de ser el ideal. Para complicar las cosas, la respuesta del ojo no corresponde exactamente a R, G y B.

### **1.3 Profundidad del color**

Cuando representamos un color, obtenemos una precisión mayor cuanto mayor sea el número de bits que dedicamos a su representación. El número de bits por píxel que se pueden mostrar en una pantalla del ordenador se denomina profundidad de color y en realidad es 24 bits por píxel. Inicialmente, las pantallas de ordenador tienen solamente un solo bit por píxel, y por lo tanto sólo son representables dos colores.

Aunque ya hace bastante tiempo que hemos conseguido un **color real**, es decir, 8 bits por canal de color (16 millones de colores diferentes representables), muchos dispositivos móviles no tienen esta resolución debido a muchos factores, tales como las tecnologías o los costos de pantalla.

Los colores reales que pueden ser representados pueden variar debido a las representaciones con poca profundidad en las paletas de colores, es decir, un cierto código representa un color tomado a partir de un libro de códigos.

Puesto que cada bit representa 2 colores, es fácil calcular el número de colores para las diferentes profundidades de color. El número de posibles colores sería 2 a la potencia de la profundidad de bits por píxel: profundidad de color de 4 bits sería el 2, 4 veces:  $2^4 = 16$  colores, una profundidad de color de 8 bits sería el 2, 8 veces:  $2^8 = 256$  colores, una profundidad de color de 24 bits sería 2, 24 veces:  $2^{24} = 16.777.216$  colores.

## **2. Modelos de color**

Si queremos aclarar u oscurecer las imágenes en color es necesario comprender cómo se representa el color.

Por desgracia, hay varios modelos para representar el color.

### **2.1 RGB**

El modelo RGB forma su gama a partir de los colores aditivos primarios rojo, verde y azul. Cuando se combina la luz roja, verde y azul se forma el blanco. Los ordenadores muestran RGB utilizando 24 - bits de color. En el modelo de 24 bits RGB existen 256 variaciones para cada uno de los colores aditivos de rojo, verde y azul, por lo tanto, hay 16.777.216 posibles colores (256 rojos x 256 verdes x 256 azules).

En el modelo de color RGB, los colores se representan con diferentes intensidades de rojo, verde y azul. La intensidad de cada uno de los componentes rojo, verde y azul se representan en una escala de 0 a 255, siendo 0 la menor intensidad (sin luz emitida) y 255 (máxima intensidad). Por ejemplo, en el gráfico RGB el color magenta sería de R = 255, G = 0, B = 255. Negro sería R = 0, G = 0, B = 0 (ausencia total de luz).

A veces, el espacio de color RGB está representado por un cubo.

## **2.2 CMY(K)**

CMYK es un modelo de color sustractivo utilizado en la impresión en color. El método de impresión CMYK es también conocido como "proceso de 4 colores" o simplemente el "proceso" de color. Todos los colores en la porción imprimible del espectro de color se puede lograr mediante la superposición de "tintes" de cian, magenta, amarillo y negro. Un tinte es una pantalla de pequeños puntos que aparecen como un porcentaje de un color sólido. Cuando diversos matices de los cuatro colores se imprimen en patrones superpuestos, queda una ilusión de tonos continuos (como en una fotografía). En teoría, el negro puede ser producido mezclando el magenta, cian, amarillo (los primarios sustractivos). Pero esto no es adecuado si se requiere una alta calidad de impresión. Para lograr mayor calidad, CMYK, además, utiliza tinta negra para colorear la impresión.

Sin embargo, debido a las impurezas en la tinta, cuando las tintas cian, magenta y amarillo son combinadas se produce un color marrón oscuro. El negro de la tinta se añade a este sistema para compensar estas impurezas.

En el modelo de color CMYK, los colores se representan como porcentajes de cian, magenta, amarillo y negro. Por ejemplo, el blanco sería 0% cian, 0% magenta, 0% de amarillo y 0% negro (ausencia total de tinta sobre papel blanco).

## **3. Conversiones de color**

Para muchas aplicaciones, puede ser útil para transformar de un modelo de color a otro. Por lo general, estas transformaciones tienen problemas, porque los modelos de color no coinciden con total exactitud. Como consecuencia de ello, a veces hay colores que no podemos obtener, o hay varios colores que van a caer en el mismo color en otro modelo. Este problema es inherente a las definiciones de modelo de color y no podemos evitarlo.

Para CMY y modelos de color CMYK, tenemos otro problema añadido: los colores que están tratando de generar pueden no ser reproducibles desde nuestros dispositivos de impresión, porque quizás tienen limitaciones, así como las pantallas que usamos para definir el color deseado.

### **3.1 RGB a CMY y CMYK**

La transformación entre los modelos RGB y CMY o CMYK es bastante simple:

$$\begin{aligned}C &= 1-R; \\M &= 1-G; \\Y &= 1-B;\end{aligned}$$

Si queremos utilizar el negro, la transformación de RGB a CMYK, con un porcentaje "s" de negro es el siguiente:

$$\begin{aligned}K &= \min(1-r, 1-g, 1-b) * s / 100; \\C &= 1-r-K; \\M &= 1-g-K; \\Y &= 1-b-K;\end{aligned}$$

### **3.2 CMY y CMYK a RGB**

Las transformaciones inversas son sencillas. Desde CMY a RGB:

$$R = 1 - c;$$

$$G = 1 - m;$$

$$B = 1 - y;$$

CMYK a RGB:

$$R := \max(1 - c - k, 0);$$

$$G := \max(1 - m - k, 0);$$

$$B := \max(1 - y - k, 0);$$

## **4. Percepción de los colores y diseño de color**

### **4.1 Introducción**

La percepción de los colores depende de muchos factores. En particular, el aspecto final de colores depende de una combinación de efectos perceptivos y cognitivos. Los efectos perceptuales son generados por el procesamiento en el cerebro de las señales de la retina originales. Los efectos cognitivos están basados en nuestro conocimiento de cómo se comportan los objetos y las luces en el mundo.

Obviamente, los seres humanos no describen los colores en términos de contribuciones de color rojo, verde y azul.

La gente por lo general describe los colores en términos de un color, como el rojo, morado, naranja o rosa.

A continuación, se describe además el color de ser claro, oscuro, vivo, y así sucesivamente... Los modelos de color que imitan esta organización perceptual se dice que son más "intuitivos".

Además de color, tamaño o frecuencia espacial tienen también un fuerte impacto en la percepción de un color. Por ejemplo, cuanto mayor es la frecuencia espacial menos saturado está el color.

La *adaptación cromática* describe la capacidad del sistema visual para adaptarse al color de la luz que ilumina la escena. La mayor parte del color se crea por la luz que brilla en los objetos. Mientras que el espectro reflejado se puede medir con instrumentos colorimétricos, el cambio de la luz cambia el color medido, a veces de manera espectacular. Pero, como vemos en el mundo, lo que hacemos generalmente no percibimos los objetos que cambian de color a medida que cambia la luz. Es similar a una función de equilibrio automático de blanco para el sistema visual. Es decir, los controles de ganancia para los tres conos se ajustan por separado. La modelización de la adaptación cromática es muy importante para la reproducción precisa de imágenes. Estos y otros efectos afectan a cómo los usuarios perciben interfaces. Por ejemplo, las formas con una gran cantidad de líneas negras separadas pueden aparecer mucho más desordenadas que si se eliminan esas líneas.

### **4.2 Daltonismo**

Cuando se trata de color en el diseño de la interfaz, hay que tener en cuenta las deficiencias de visión del color. Algunas personas son incapaces de percibir las diferencias entre algunos de los colores, mientras que los usuarios sin esta discapacidad si pueden. Estos problemas son causados generalmente porque uno de los conos de la retina falta o está débil. Los problemas más comunes son anomalías en el canal rojo-verde, donde, ya sea la capacidad de ver rojo o verde se ve afectada. Este tipo de deficiencia se llama daltonismo.

Los problemas con rojo-verde aparecen en aproximadamente de un 5 a un 10% de los hombres. Un porcentaje mucho más pequeño (1-2%) tienen esta debilidad en el canal azul-amarillo. Hay muy pocas personas que en realidad sean "daltónicas", o incapaces de ver cualquier matiz en absoluto. Mientras que los problemas de visión de más colores son genética, también pueden aparecer como un efecto secundario de una medicación o enfermedad. Por otro lado, las mujeres se ven menos afectadas por esta deficiencia, ya que sólo afecta a menos del 1% de las mujeres.

#### **4.3 Detección**

La ceguera de color es relativamente fácil de detectar. Hay algunas pruebas, como la prueba de Ishihara que incluso se puede llevar a cabo en una pantalla de ordenador. La Prueba de Color Ishihara fue nombrada después de su diseñador, el Dr. Shinobu Ishihara, profesor de la Universidad de Tokio, que fue el primero en publicar sus pruebas en 1917.

La prueba consiste en una serie de placas de color, llamadas placas de Ishihara, cada una de las cuales contiene un círculo de puntos que aparecen al azar en color y tamaño. Dentro del patrón son puntos que forman un número visible para aquellos con visión normal e invisible, o difícil de ver, para los que tienen algún defecto en la visión de los colores rojo-verde. La prueba completa consta de 38 placas, pero la existencia de una deficiencia es por lo general clara después de unas pocas placas, y la mayoría de las pruebas que encontrarás mostrará sólo 6 u 8 láminas en color.

#### **4.4 Diseño de color amigable**

Son muchos los beneficios que tiene diseñar teniendo en cuenta las deficiencias de color. Un sitio Web, por ejemplo, además de ser más accesible, también puede obtener un mejor ranking en el motor de búsqueda.

Si tenemos en cuenta que el daltonismo podría implicar hasta 1 de cada 20 usuarios, si la interfaz gráfica de usuario que diseñamos es para un grupo grande de personas, descartando un diseño de color apropiado, puede dejar a muchos usuarios descolocados. Aunque no es fácil diseñar para la ceguera de color, debido a que es difícil determinar qué color no pueden ver los usuarios, ya que hay diferentes deficiencias, podemos tomar algún camino seguro.

Algunos consejos para un correcto diseño de color son:

- Exagerar las diferencias de luminosidad entre el primer plano y colores de fondo, y evitar el uso de colores de luminosidad similares adyacentes entre sí, incluso si difieren en la saturación o el tono.
- Contraste de los colores oscuros contra los colores de luz. Usar colores distanciados del círculo de colores.
- Las áreas de contenido deben ser monocromáticas con el color de fuente y fondo en los extremos opuestos de saturación de color (es decir, el texto negro sobre un fondo blanco).
- Si tenemos elementos de navegación, tales como menús, encabezados y subencabezados, deben tener un poco de realce visual adicional ya que los usuarios rara vez dedican largos períodos de tiempo para dichos elementos.

El contraste de colores o colores en extremos opuestos del espectro de color, por lo general trabajan mejor para usuarios con deficiencias para los colores (el blanco y el negro es el mejor ejemplo).

Cada elemento debe tener más de una señal. Las imágenes, enlaces, botones, y otros elementos similares deben ser mejorados con una imagen, forma, posición o texto. Por ejemplo, un enlace debe ser resaltado en color, o un subrayado, con esto los visitantes con daltonismo saben que es un enlace.