

¿Pueden dos luces distintas parecer del mismo color?

Juan Segurola · Todos los derechos reservados

QUE · Artículo 035 · Preguntas sencillas, respuestas profundas · Versión 0.1 ES

Una lámpara y una pantalla pueden producir una coincidencia de color sin producir la misma luz. Un espectrómetro podría distinguirlas mientras que una persona que compara dos zonas adyacentes no podría hacerlo. No es necesariamente un fallo de atención. La visión humana del color conserva algunas diferencias entre espectros y pierde otras. Una coincidencia entre estímulos espectralmente distintos se denomina metamerismo. [1]

Por tanto, la palabra «mismo» necesita una condición. Un mismo espectro, una misma respuesta en un experimento especificado de igualación de color y una misma apariencia en dos habitaciones distintas son tres afirmaciones diferentes. Entender esa distinción explica tanto por qué una pantalla puede reproducir muchos colores como por qué una coincidencia satisfactoria puede fallar al cambiar las condiciones de observación.

1. ¿Qué contaría como dos luces diferentes?

Describamos una luz por cómo se distribuye su potencia entre longitudes de onda. Una fuente podría concentrar su emisión en unas pocas bandas estrechas; otra podría distribuirla en un intervalo mucho más amplio. Tener igual potencia total no haría idénticas esas distribuciones. Tampoco una potencia igual haría necesariamente que parecieran igual de brillantes. Una medición espectral pregunta cuánta radiación hay en cada longitud de onda, mientras una igualación de color pregunta qué diferencias puede detectar un observador concreto en condiciones especificadas.

Un experimento útil presenta dos zonas uniformes una junto a otra manteniendo fijos su tamaño, el fondo circundante, la dirección de observación y las condiciones de adaptación. El observador ajusta una mezcla hasta que las zonas coinciden. Las mediciones espectrales pueden entonces comprobar si la coincidencia requería espectros idénticos. Este procedimiento separa un juicio empírico de un supuesto sobre lo que el ojo debe estar midiendo.

2. Tres sensibilidades que se solapan

Para la igualación tricromática ordinaria del color en visión fotópica, un modelo parte de las tres clases de conos fotorreceptores. Sus sensibilidades espectrales se solapan. Una clase de conos no informa de una sola longitud de onda, y su respuesta no es una etiqueta que diga rojo, verde o azul. El Colour and Vision Research Laboratory proporciona funciones de sensibilidad de los conos utilizadas para cuantificar estas respuestas solapadas. [2]

En un modelo lineal de excitación, la señal de la clase de conos i es proporcional a la integral de $P(\lambda)$ multiplicada por $s_i(\lambda)$, donde P describe el espectro incidente y s_i la sensibilidad pertinente. Espectros distintos pueden dar las mismas tres integrales. La precisión «modelo lineal de excitación» importa: es un modelo de excitación de receptores para la igualación, no una teoría completa de la apariencia visual, la adaptación o el procesamiento neural.

La pérdida de información puede entenderse sin calcular una respuesta real de conos. Supongamos que un instrumento deliberadamente simplificado tiene tres sensores y cuatro canales espectrales estrechos. Su matriz de respuesta tiene tres filas y cuatro

columnas. El álgebra lineal garantiza un cambio no nulo en las cuatro intensidades de los canales que deja inalteradas las tres salidas, siempre que ese cambio pertenezca al núcleo de la matriz. Partiendo de intensidades de canal suficientemente positivas, un cambio lo bastante pequeño puede mantener todas las intensidades no negativas. Dos espectros físicamente admisibles comparten entonces un vector de salida.

Esta construcción es una ilustración matemática, no una afirmación de que cuatro lámparas cualesquiera produzcan una coincidencia perfecta para todos los observadores humanos. Identifica la razón estructural por la que unas pocas mediciones ponderadas no pueden reconstruir de forma única un espectro sin restricciones.

3. Un ejemplo calculado de información perdida

Tomemos salidas hipotéticas de sensores $x_1 + x_4$, $x_2 + x_4$ y $x_3 + x_4$. El espectro representado por intensidades de canal (2, 2, 2, 1) da (3, 3, 3). El espectro diferente (1, 1, 1, 2) también da (3, 3, 3). Incluso sus intensidades totales difieren: siete unidades frente a cinco. Los sensores no son medidores de potencia total, por lo que esa diferencia no contradice la igualdad de salidas.

Estas sensibilidades inventadas no son las funciones fundamentales de los conos humanos. Su finalidad es permitir examinar el problema inverso. Conocer las tres salidas no nos dice qué cuatro entradas las generaron. Un espectrómetro calibrado con más mediciones espectrales independientes podría distinguir la pareja, aunque este instrumento de tres canales no pueda.

La igualación real del color añade restricciones fisiológicas y experimentales. Una coincidencia numérica para un observador estándar es una predicción para un modelo definido de observador. No es una garantía para cada persona. La CIE trata explícitamente las diferencias de color causadas por sustituir al observador estándar por otro observador con visión normal del color. [3]

4. Por qué igualar pinturas es una prueba diferente

Para una superficie no fluorescente en un modelo sencillo de reflexión, el espectro que llega al ojo depende tanto de la iluminación como de la reflectancia espectral. Multiplicar dos curvas de reflectancia diferentes por un iluminante puede producir una coincidencia; multiplicarlas por otro no tiene por qué conservarla. Cambiar la luz modifica el estímulo antes de que el ojo realice ningún procesamiento.

Esto es distinto de decir que dos espectros emitidos fijos deban dejar de coincidir cada vez que cambien las luces de la habitación. Si los espectros que llegan de ambas zonas y las condiciones pertinentes de observación permanecieran realmente fijos, la comparación original seguiría siendo la pertinente. En la práctica pueden cambiar la iluminación, los reflejos deslumbrantes, el contraste del entorno y la adaptación. Hay que separarlos para diagnosticar una coincidencia fallida.

Los materiales fluorescentes requieren una explicación más elaborada porque la radiación absorbida a una longitud de onda puede contribuir a la emisión en otra. El producto sencillo del iluminante y la reflectancia resulta entonces insuficiente. Aplicar un modelo fuera de su dominio declarado no lo hace más científico.

5. Qué establece y qué no establece la coincidencia

El metamerismo establece que la identidad espectral es más exigente que la identidad colorimétrica. No establece que el color sea arbitrario, que los instrumentos sean innecesarios o que las personas inventen colores sin restricciones. Las coincidencias son suficientemente reproducibles para medirse, pero su reproducibilidad depende de un observador y de una disposición experimental.

La respuesta equivocada más rápida al título es que cada color corresponde a una longitud de onda. Algunos colores pueden provocarse con luz de banda estrecha, pero las mezclas amplían mucho el problema. La mejor respuesta es condicional y útil experimentalmente: distintos espectros pueden producir una coincidencia de color porque las respuestas pertinentes del sistema visual no conservan todos los detalles del espectro entrante. Una coincidencia informa de esas respuestas en esas condiciones, no de que las dos luces se hayan vuelto físicamente idénticas.

Referencias

[1] CIE. International Lighting Vocabulary, término 17-23-006: metamerism.
<https://cie.co.at/eilvterm/17-23-006>

[2] Colour and Vision Research Laboratory. Human cone spectral sensitivities or cone fundamentals.
<https://www.cvrl.org/cones.htm>

[3] CIE. Special metamerism index: Change in observer.
<https://www.cie.co.at/publications/special-metamerism-index-change-observer>

Lectura relacionada

Artículo 036: ¿Por qué un olor puede evocar un recuerdo?