

Fenómeno de Bezold-Brücke – Bezold–Brücke phenomenon

Authored by
memjavad

November 7, 2025

RECOMMENDED CITATION

memjavad (2025). *Fenómeno de Bezold-Brücke – Bezold–Brücke phenomenon*. Spanish Psychological Databases. Retrieved from <https://spanish.arabpsychology.com/?p=3182>

Fenómeno de Bezold-Brücke

Primary Disciplinary Field(s): Psicofísica, Fisiología Sensorial, Óptica

1. Definición Central

El fenómeno de **Bezold-Brücke** es un efecto psicofísico fundamental en la percepción del color, que describe cómo la tonalidad percibida (el matiz o *hue*) de una luz espectral pura cambia a medida que su luminancia o intensidad se incrementa o disminuye, incluso cuando la longitud de onda física de la luz permanece constante. Este efecto demuestra que la tonalidad no es una función simple y lineal de la longitud de onda, sino que está intrínsecamente ligada al nivel de activación de los mecanismos sensoriales que median la visión del color en la retina y en las vías visuales centrales. En términos sencillos, si se observa una luz de color (por ejemplo, verde) y se aumenta su brillo, el observador percibe un cambio sutil pero medible en la tonalidad, generalmente hacia el amarillo o el azul, dependiendo de la longitud de onda inicial.

La importancia de esta definición radica en su contradicción directa con una visión simplista de la visión del color, donde se podría esperar que una longitud de onda específica siempre evoque el mismo matiz, independientemente de su intensidad. El fenómeno de **Bezold-Brücke** revela la naturaleza altamente no lineal y adaptativa del sistema visual humano. Este cambio perceptivo es más pronunciado para las longitudes de onda que se encuentran en el rango intermedio del espectro visible, como el rojo-anaranjado y el verde-azulado, mientras que existen puntos específicos de invarianza donde el matiz percibido permanece estable a través de las variaciones de intensidad.

Este concepto es crucial para la comprensión de la codificación del color, ya que proporciona evidencia empírica de que la respuesta de los tres tipos de fotorreceptores cónicos (L, M y S) a la luz no escala proporcionalmente con la intensidad, y que la posterior decodificación por los canales oponentes (rojo-verde y amarillo-azul) es sensible a la energía total que incide en la retina. El estudio de este fenómeno requiere condiciones experimentales rigurosas para aislar el cambio de matiz de otros efectos visuales, como la adaptación retiniana o el deslumbramiento, asegurando que el cambio de percepción sea atribuible únicamente a la variación de luminancia espectral.

2. Etimología e Historia

El fenómeno lleva el nombre de dos científicos europeos que realizaron observaciones clave en el siglo XIX. El primero fue el meteorólogo y físico alemán [Johann von Bezold](#), quien en 1874 describió un efecto relacionado, aunque a menudo malinterpretado, que involucraba la mezcla de colores. Bezold notó que la tonalidad de un color, especialmente en patrones o diseños complejos, podía cambiar drásticamente dependiendo de los colores adyacentes y, crucialmente, de su

intensidad relativa. Aunque su principal contribución se conoce como el "efecto Bezold" (relacionado con el contraste), sus experimentos iniciales sentaron las bases para observar la dependencia de la tonalidad con la brillantez.

La contribución más directa y específica al fenómeno tal como se define hoy en día provino del fisiólogo austríaco [Ernst Brücke](#). En 1878, Brücke llevó a cabo experimentos sistemáticos utilizando luces espectrales puras, en lugar de pigmentos o mezclas. Observó y documentó meticulosamente que, al aumentar la intensidad de una luz de longitud de onda constante, el matiz percibido se desplazaba. Brücke fue quien estableció la observación fundamental de que, por ejemplo, los rojos y los verdes tendían a parecer más amarillentos a altas intensidades, mientras que los azules se inclinaban menos hacia el verde. Es por esta razón que el fenómeno se atribuye conjuntamente, reconociendo la descripción inicial de la dependencia de la intensidad de Bezold y la confirmación rigurosa de Brücke utilizando estímulos espectrales puros.

El reconocimiento formal del fenómeno como una ley psicofísica fue consolidado a principios del siglo XX, cuando investigadores como D. B. Judd y K. L. Kelly continuaron refinando las mediciones y estableciendo las curvas de desplazamiento de matiz. Estos trabajos posteriores fueron esenciales para integrar el fenómeno de **Bezold-Brücke** en los modelos matemáticos de la colorimetría moderna, demostrando que cualquier sistema predictivo de color debe tener en cuenta la luminancia como una variable crítica, más allá de la simple longitud de onda.

Este desarrollo histórico subraya la transición de una comprensión puramente óptica del color a una visión fisiológica y psicofísica, donde la percepción es un resultado activo y complejo de la interacción entre el estímulo físico y la respuesta biológica del ojo y el cerebro.

3. Mecanismo Fisiológico Subyacente

El fenómeno de **Bezold-Brücke** se explica primariamente por las diferencias en las curvas de respuesta de sensibilidad espectral y la cinética de saturación de los tres tipos de conos retinianos (S de onda corta, M de onda media y L de onda larga). Cuando la intensidad de la luz aumenta, los conos no responden linealmente. Específicamente, los conos S (sensibles al azul) tienden a saturarse a niveles de luminancia más bajos en comparación con los conos M y L (sensibles al verde y al rojo, respectivamente). Esta saturación diferencial es la clave del desplazamiento del matiz.

A medida que la luz se vuelve más brillante, la contribución relativa de los conos S a la señal neural total disminuye más rápidamente que la de los conos M y L. Por ejemplo, una luz verde pura activa predominantemente los conos M y L. Cuando la intensidad aumenta, la señal de los conos M y L sigue creciendo (aunque de forma no lineal), mientras que la señal de los conos S se estanca. Este cambio en el equilibrio de activación sesga la señal post-receptoral. Dado que el color amarillo es percibido cuando los conos L y M se activan aproximadamente en igual medida,

el aumento desproporcionado de la activación de L y M a altas intensidades, en relación con S, provoca que muchos matices (incluyendo el rojo y el verde) se desplacen perceptualmente hacia el amarillo.

El mecanismo también debe considerarse en el contexto de la Teoría del Proceso Oponente de Hering, que postula que las señales de los conos se combinan en canales oponentes (rojo/verde, amarillo/azul y acromático/brillo). El desplazamiento de **Bezold-Brücke** es, en esencia, una manifestación de la no linealidad en la entrada a estos canales. Por ejemplo, si una luz verde se vuelve más brillante, el canal rojo/verde se ve afectado, pero el canal amarillo/azul también se activa de manera desequilibrada, favoreciendo la señal de "amarillo" debido a la mayor respuesta de L y M frente a S.

Además de la saturación diferencial de los fotorreceptores, estudios recientes sugieren que el procesamiento neural a nivel post-retiniano también juega un papel. Los circuitos neuronales que integran las señales de color y brillo en el núcleo geniculado lateral y la corteza visual pueden aplicar diferentes ganancias o filtros a las señales de los canales oponentes dependiendo del nivel de luminancia general. Este ajuste adaptativo puede exagerar o mitigar el desplazamiento de matiz observado a nivel receptor, lo que contribuye a la variabilidad interindividual del fenómeno.

La complejidad del mecanismo reside en que no es un simple fenómeno de fatiga retiniana, sino una característica intrínseca del diseño evolutivo del sistema visual para codificar la información de color de manera eficiente a través de un vasto rango de intensidades luminosas, priorizando la estabilidad del matiz solo en ciertos puntos críticos del espectro.

4. Características Clave del Fenómeno

El fenómeno de **Bezold-Brücke** se caracteriza por patrones de desplazamiento de matiz altamente predecibles, aunque no uniformes, a lo largo del espectro visible. La característica principal es que el desplazamiento siempre ocurre en la dimensión del matiz, sin alterar significativamente la saturación o la brillantez aparente (aunque estas últimas también cambian, el foco del fenómeno es el matiz).

Desplazamiento Hacia el Amarillo: La mayoría de las longitudes de onda, incluyendo las que se perciben como rojo-anaranjado (aproximadamente 600-700 nm) y las que se perciben como verde-amarillento (aproximadamente 500-550 nm), experimentan un desplazamiento perceptible hacia el amarillo a medida que aumenta la luminancia. Esto significa que un verde brillante se verá más amarillento que un verde tenue de la misma longitud de onda.

Desplazamiento Hacia el Azul (Menos Común): Las longitudes de onda cortas, percibidas como azul-verdoso (aproximadamente 480-490 nm), tienden a desplazarse hacia el azul puro (longitudes de onda más cortas) con el aumento de la luminancia. Sin embargo, a intensidades muy altas, incluso estas longitudes de onda pueden mostrar una ligera tendencia hacia el amarillo

debido a la saturación extrema de los conos S.

Dependencia de la Intensidad: El grado de desplazamiento no es lineal con la intensidad. El cambio de matiz es más pronunciado en el rango de luminancia media a alta, donde la diferencia de saturación entre los conos S y los conos M/L se maximiza. A intensidades muy bajas (rango escotópico), el fenómeno es irrelevante, ya que la visión del color es mínima.

Asimetría del Desplazamiento: El efecto es asimétrico respecto a los matices puros. Por ejemplo, el rojo espectral se desplaza hacia el amarillo, pero nunca hacia el azul, independientemente de la intensidad. De manera similar, el verde se desplaza hacia el amarillo, nunca hacia el azul. Esta asimetría es una prueba contundente de la organización de los canales oponentes.

Estas características confirman que el sistema visual opera para mantener la constancia del matiz solo en los matices puros (los puntos de invarianza), utilizando estos como anclas perceptuales, mientras que los matices intermedios son inherentemente inestables frente a los cambios de brillo. Este comportamiento es vital para la colorimetría aplicada, especialmente en el diseño de pantallas y la iluminación.

5. Puntos de Invarianza (Matices Únicos)

Una de las observaciones más importantes derivadas del fenómeno de **Bezold-Brücke** es la existencia de longitudes de onda específicas para las cuales el matiz percibido permanece notablemente constante a través de grandes variaciones de luminancia. Estos puntos se conocen como los **matices únicos** o **matices invariantes**.

Los matices únicos son aquellos que no contienen trazas perceptuales de otros matices oponentes. Clásicamente, se identifican cuatro matices únicos: el amarillo único, el azul único, el verde único y el rojo único (aunque el rojo único no se encuentra en el espectro puro y se obtiene mediante la mezcla de longitudes de onda larga y corta). El fenómeno de **Bezold-Brücke** demuestra que solo el amarillo único y el azul único, y en menor medida el verde único, son verdaderamente invariantes a la luminancia.

Para el **Amarillo Único**, la longitud de onda de invarianza se sitúa típicamente alrededor de 578 nm. En este punto, el matiz percibido es un amarillo puro, sin componentes rojizos ni verdosos. La invarianza en este punto se debe a que, a esta longitud de onda, las señales de los conos L y M, que son las principales responsables de la señal amarillo/azul, se activan de tal manera que el canal oponente amarillo/azul permanece en equilibrio, independientemente de la intensidad, siempre y cuando la saturación no sea total.

Para el **Azul Único**, la longitud de onda de invarianza se encuentra aproximadamente entre 475 nm y 478 nm. A esta longitud de onda, el matiz se percibe como un azul puro sin componente verdoso o rojizo. Este punto es crucial porque las longitudes de onda más cortas que 478 nm

tienden a parecer más rojizas a medida que la intensidad disminuye (un desplazamiento hacia el rojo), mientras que las longitudes de onda más largas se desplazan hacia el verde. La invarianza en este punto es un testimonio de la calibración fina del sistema visual.

El concepto de invarianza de **Bezold-Brücke** es una de las evidencias psicofísicas más sólidas que respaldan la Teoría del Proceso Oponente de Hering. Si la visión del color se explicara únicamente por la tricromacia de Young-Helmholtz, sería muy difícil justificar por qué solo tres puntos espectrales (los matices únicos) mantienen su identidad a través de las variaciones de brillo, mientras que todos los demás matices se desplazan sistemáticamente hacia estos puntos invariantes (generalmente hacia el amarillo y el azul).

6. Implicaciones Teóricas para la Visión del Color

El fenómeno de **Bezold-Brücke** tiene profundas implicaciones para la modelización de la visión del color, sirviendo como un requisito fundamental para cualquier teoría que aspire a describir con precisión la percepción humana. Su existencia obliga a los modelos a ir más allá de la simple linealidad de la mezcla de luces y a incorporar la no linealidad en la transducción de la señal luminosa.

En primer lugar, el fenómeno apoya firmemente la necesidad de un procesamiento de color en etapas, tal como lo describe la teoría de la **visión del color por etapas**. La primera etapa es la tricromacia, donde los conos capturan la luz. La segunda etapa, el procesamiento oponente, transforma estas señales primarias en canales de diferencia de color. El hecho de que el desplazamiento de matiz sea organizado y sistemático (hacia el amarillo o el azul) sugiere que la no linealidad ocurre en la interfaz entre la etapa receptoral y la etapa oponente. Si el sistema fuera puramente tricromático y lineal, el matiz debería permanecer constante.

En segundo lugar, el fenómeno es una herramienta esencial para la colorimetría y la ingeniería visual. Los estándares colorimétricos, como los desarrollados por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE), deben tener en cuenta el efecto de **Bezold-Brücke** cuando se trata de predecir cómo se percibirán los colores en diferentes niveles de brillo. Por ejemplo, al diseñar sistemas de iluminación de alto rendimiento o pantallas de alto rango dinámico (HDR), los ingenieros deben compensar activamente el desplazamiento del matiz que ocurriría si se aumentara la luminancia sin ajustar las coordenadas cromáticas.

Finalmente, el estudio de las variaciones individuales en el fenómeno de **Bezold-Brücke** ha ayudado a identificar anomalías en la respuesta de los conos o en el cableado de los canales oponentes. Las diferencias en el punto exacto de invarianza (por ejemplo, si el amarillo único de un individuo está en 576 nm o 580 nm) pueden reflejar variaciones genéticas menores en los pigmentos de los conos, proporcionando una ventana a la biología subyacente de la percepción del color en diferentes poblaciones.

7. Metodología Experimental y Medición

La medición precisa del fenómeno de **Bezold-Brücke** es un desafío psicofísico que requiere el control riguroso de la luminancia y la adaptación retiniana del observador. El método experimental estándar implica la presentación de dos estímulos de prueba de la misma longitud de onda espectral, pero con intensidades luminosas significativamente diferentes (típicamente separadas por varios órdenes de magnitud).

El procedimiento más común es el de **igualación de matiz**. El observador se sienta en un entorno oscuro y se le presenta un estímulo de referencia (por ejemplo, una luz verde de baja intensidad) y un estímulo de prueba (la misma luz verde a alta intensidad). Luego, al observador se le pide que ajuste la longitud de onda del estímulo de prueba hasta que su matiz percibido coincida con el matiz del estímulo de referencia. La diferencia entre la longitud de onda original del estímulo de prueba y la longitud de onda ajustada representa la magnitud del desplazamiento de **Bezold-Brücke**.

Las dificultades metodológicas incluyen la necesidad de mantener un estado de adaptación constante. Si el campo de visión es grande o si la exposición es prolongada, la adaptación cromática o la adaptación a la luz pueden modificar la respuesta de los conos, enmascarando el efecto puro de la luminancia. Por lo tanto, los experimentos suelen utilizar campos visuales pequeños (generalmente de 1 a 2 grados) y periodos de presentación breves o pulsados para minimizar la adaptación.

Otra técnica importante es la utilización de la **fotometría de parpadeo**, que puede ayudar a disociar los efectos de la luminancia de los efectos del color. Sin embargo, la clave para cualquier medición exitosa del fenómeno de **Bezold-Brücke** es la capacidad de variar la intensidad de la luz sin introducir ruido espectral o artefactos de luz dispersa, lo que generalmente requiere el uso de monocromadores de alta calidad y filtros ópticos precisos.

8. Críticas y Variaciones Interindividuales

A pesar de ser un fenómeno robusto y bien establecido, el **Bezold-Brücke** no está exento de críticas y presenta una variabilidad significativa. Una crítica importante se centra en la dificultad de aislar el efecto puro de la luminancia de otros fenómenos visuales que dependen del nivel de luz. Por ejemplo, a intensidades muy bajas, el cambio en la percepción del color se ve influenciado por el **efecto Purkinje** (el cambio en la sensibilidad máxima del ojo de los conos a los bastones), que puede complicar la interpretación del desplazamiento de matiz.

La **variación interindividual** es notable. El punto exacto de invarianza para el amarillo y el azul puede variar en unos pocos nanómetros entre diferentes observadores con visión normal. Estas diferencias se atribuyen a variaciones en la densidad de los pigmentos maculares, la proporción

relativa de conos L y M, y la eficiencia de los pigmentos de los conos. Esta variabilidad demuestra que, si bien el mecanismo subyacente es universal (la saturación diferencial), su manifestación precisa es idiosincrásica.

Además, se ha observado que el **tamaño del campo visual** afecta la magnitud del desplazamiento. Los campos visuales grandes tienden a mostrar un desplazamiento de **Bezold-Brücke** menor que los campos pequeños. Esto se debe a que los campos grandes involucran una mayor área de la retina y pueden activar mecanismos de adaptación lateral que estabilizan la percepción del matiz. Estas complejidades metodológicas y fisiológicas requieren que los modelos de colorimetría incorporen parámetros ajustables para predecir con precisión la percepción del color en condiciones variables.

9. Lecturas Adicionales

[Bezold-Brücke shift \(Wikipedia\)](#)

[Commission Internationale de l'Éclairage \(CIE\) Official Website](#)

[Judd, D. B. \(1951\). Basic Correlates of the Visual Stimulus. Handbook of Experimental Psychology.](#)

[Hurvich, L. M., & Jameson, D. \(1953\). A case of color constancy. Journal of the Optical Society of America.](#)