

Teoría del color

Dr. Luis Miguel de la Cruz Salas



¿Qué vemos?



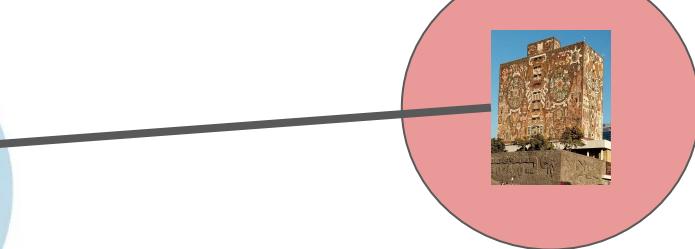
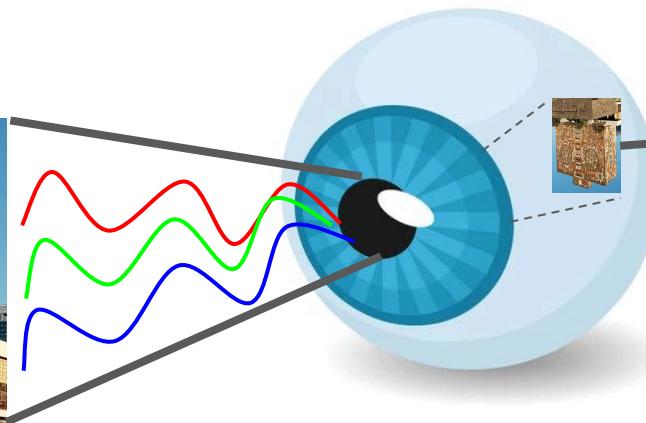
¿Qué vemos?

- El sistema visual reacciona a la luz que llega a él.
 - Convierte la luz en un conjunto de valores discretos que se interpretan como “color”.
 - El color es un atributo que percibimos de los objetos cuando hay luz.
 - La luz está constituida por ondas electromagnéticas que viajan a 3×10^5 km/s.
 - Experimento de Galileo para medir velocidad de la luz y sonido.



¿Qué vemos?

- Nuestros ojos reaccionan a la energía luminosa
 - Frecuencia y longitud de onda: $\nu = c / \lambda$
 - Energía: $E = \hbar \nu$

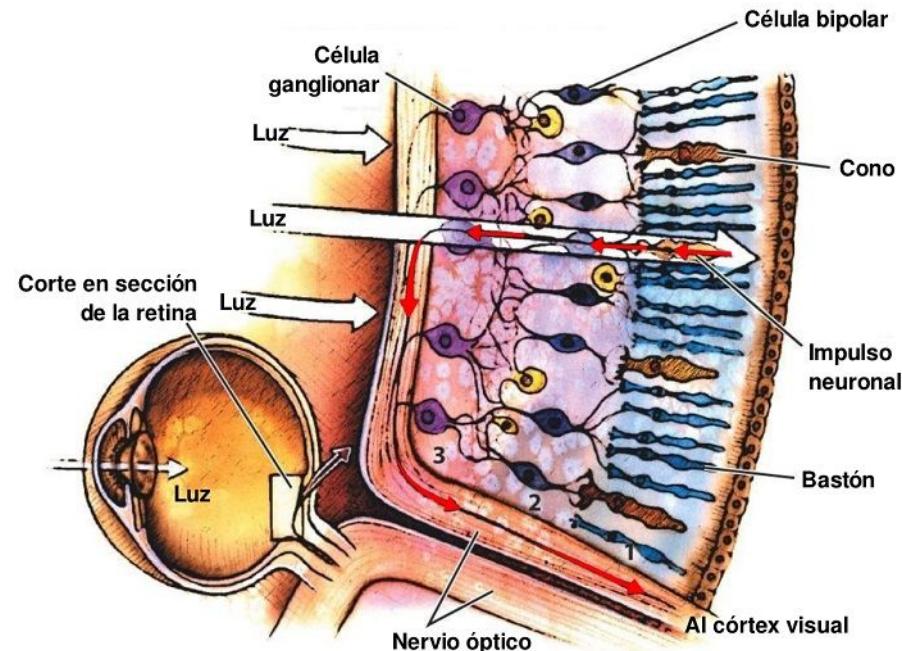


Cerebro

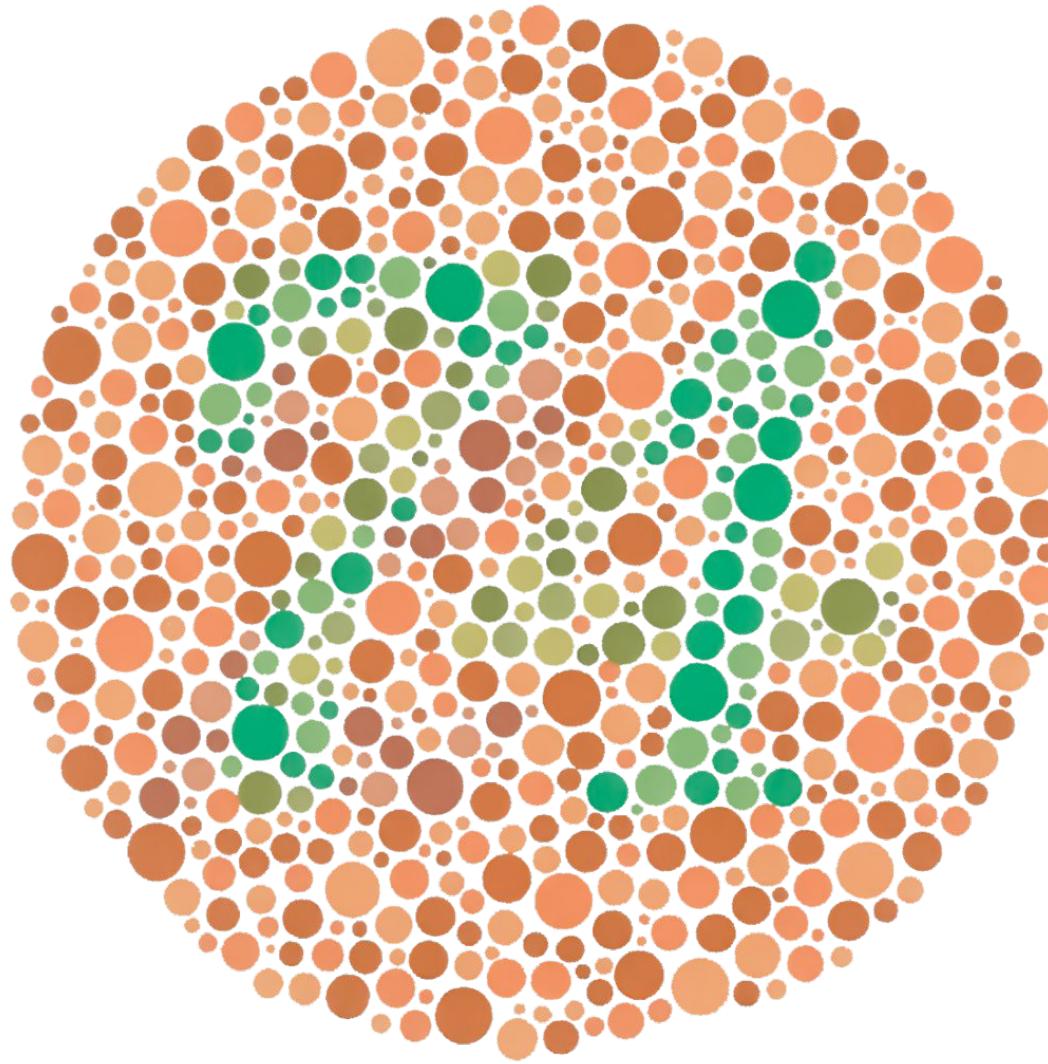


Células fotorreceptoras

- Dos tipos:
 - Bastones
 - Muy sensibles a la luz débil, no distinguen color.
 - Conos
 - Perciben el color



<http://invsaludocular.blogspot.com/2015/09/fotorreceptores.html>



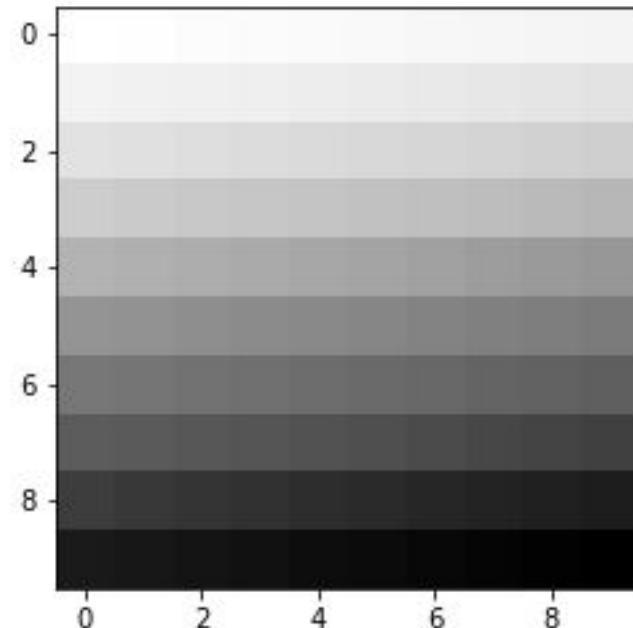
Ishihara color test





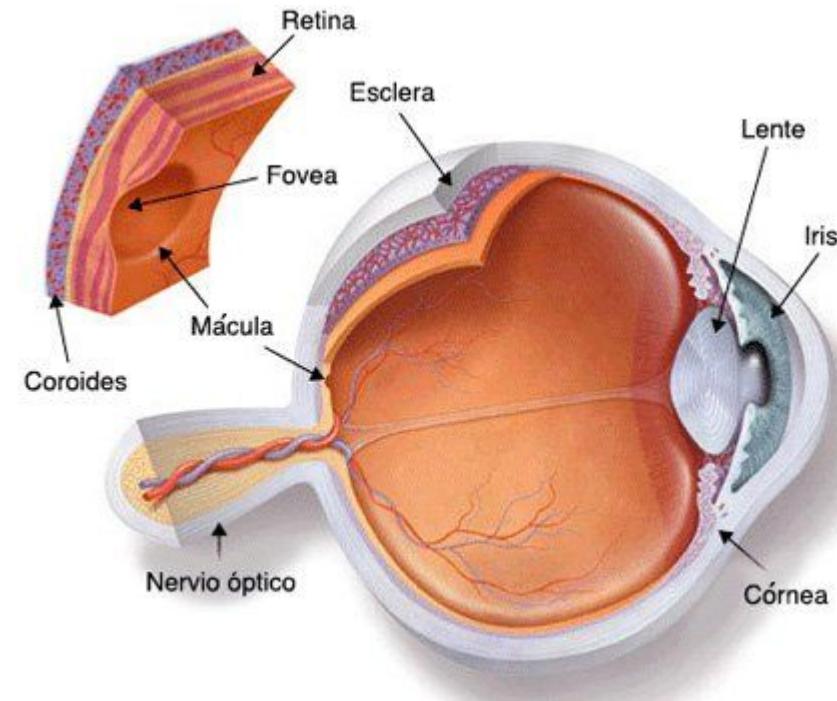
Células fotorreceptoras: luz acromática

- Intensidad luminosa.
 - Los bastones reaccionan a este tipo de luz.
 - Mide la energía de la luz o brillo.
 - El nivel de intensidad varía entre 0 y 1.
 - Los humanos distinguen aprox. 100 niveles de grises

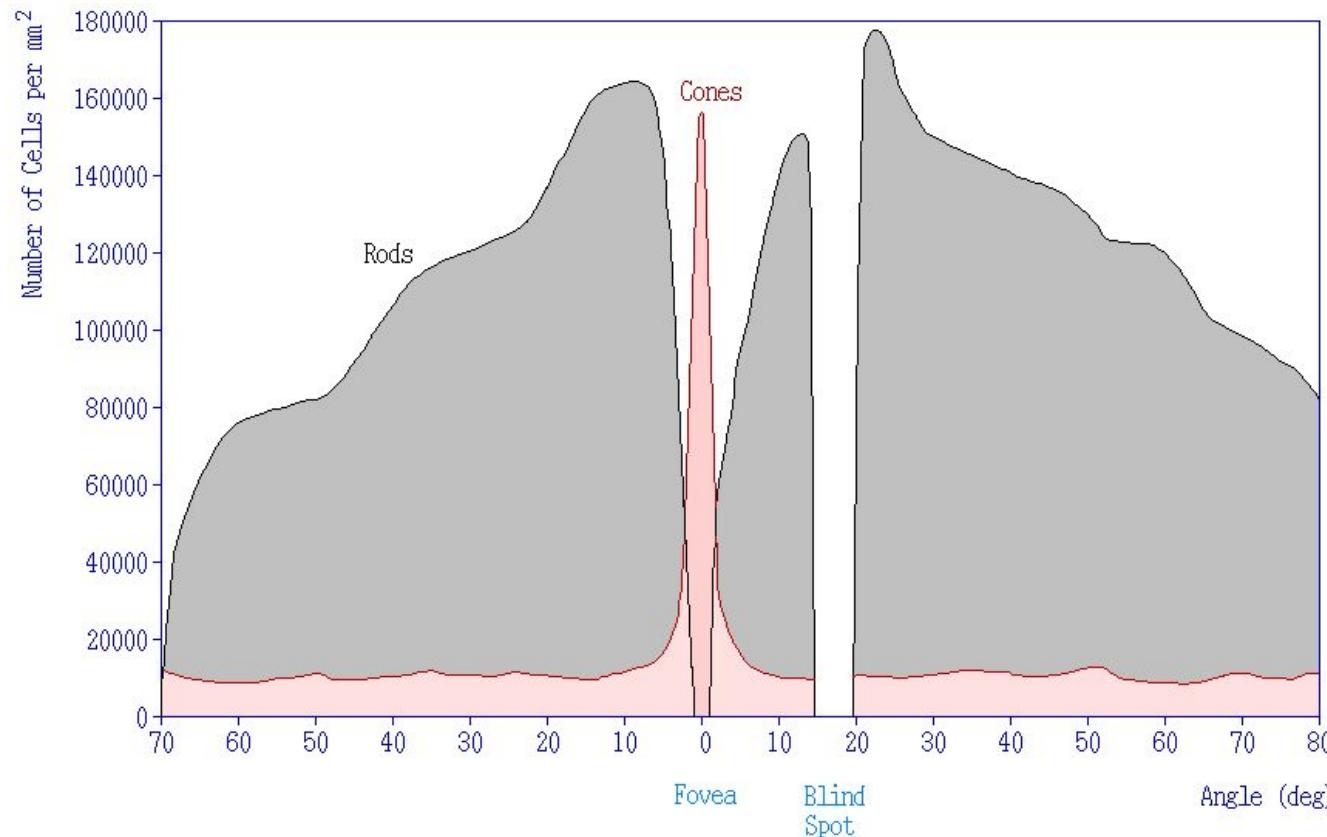


Células fotorreceptoras: luz cromática

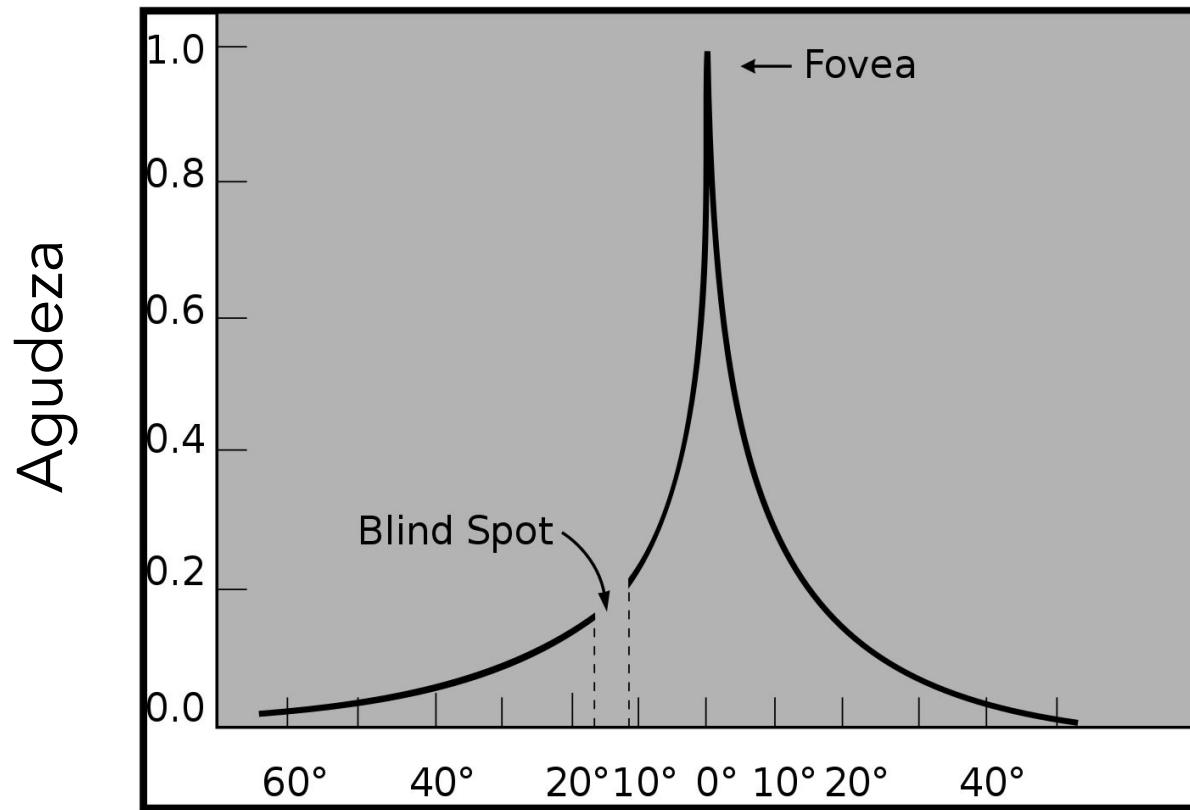
- La fóvea está libre de bastones y contiene muchos conos.
- La fóvea provee la información más clara y detallada de la visión a color, ahí se enfocan los rayos luminosos.



Células fotorreceptoras: luz cromática



Células fotorreceptoras: luz cromática

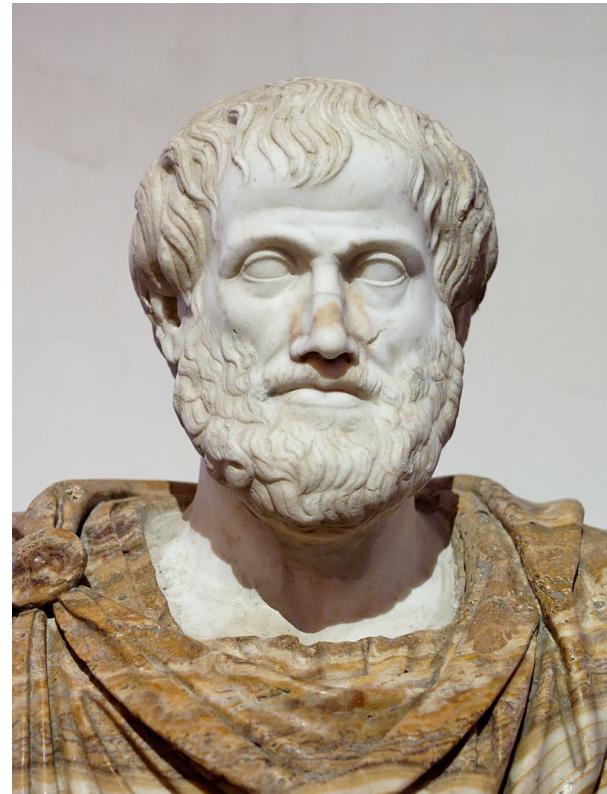


Breve historia del color



Aristóteles (384 - 322 AC).

- Su estudio del color se basa en cómo los objetos son transparentes y se percibe su color según su grado de transparencia, donde el blanco es la máxima transparencia y el negro la mínima.
- Propone una teoría de siete colores:
 - Blanco, amarillo, rojo, violeta, verde, azul profundo y negro.



Leonardo Da Vinci (1452-1519)

- Definió al color como propio de la materia, con la siguiente escala de colores básicos:
 - Blanco, el principal, permite recibir a todos los demás colores.
 - Amarillo para la tierra.
 - Verde para el agua.
 - Azul para el cielo.
 - Rojo para el fuego.
 - Negro para la oscuridad, nos priva de todos los otros colores.
- Con la mezcla de estos colores obtenía todos los demás.



Isaac Newton (1642-1727)

- Estableció un principio: **la luz es color**. En 1665 descubrió que la luz del sol al pasar a través de un prisma, se dividía en varios colores conformando un espectro (ROYGBIV):
 - rojo (Red),
 - anaranjado (Orange),
 - amarillo (Yellow),
 - verde (Green),
 - azul (Blue)
 - añil (Indigo)
 - violeta (Violet)

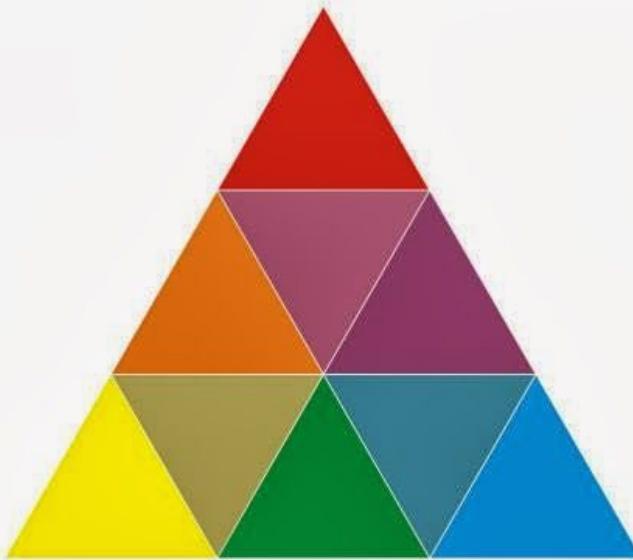


Johann Göethe (1749-1832)

- Estudió y probó las modificaciones fisiológicas y psicológicas que el ser humano sufre ante la exposición a los diferentes colores.
 - Desarrolló un triángulo con tres colores primarios: rojo - amarillo - azul y definió una relación de cada color con ciertas emociones.



TEORÍA DEL COLOR TRIÁNGULO DE GOETHE



Terciarios

- Tierra Amarilla:** con 50% de Amarillo + 25% de Rojo + 25% de Azul.
- Tierra Roja:** con 50% de rojo + 25% de Amarillo + 25% de Azul.
- Tierra Azul:** con 50% de Azul + 25% de Amarillo + 25% de Rojo.

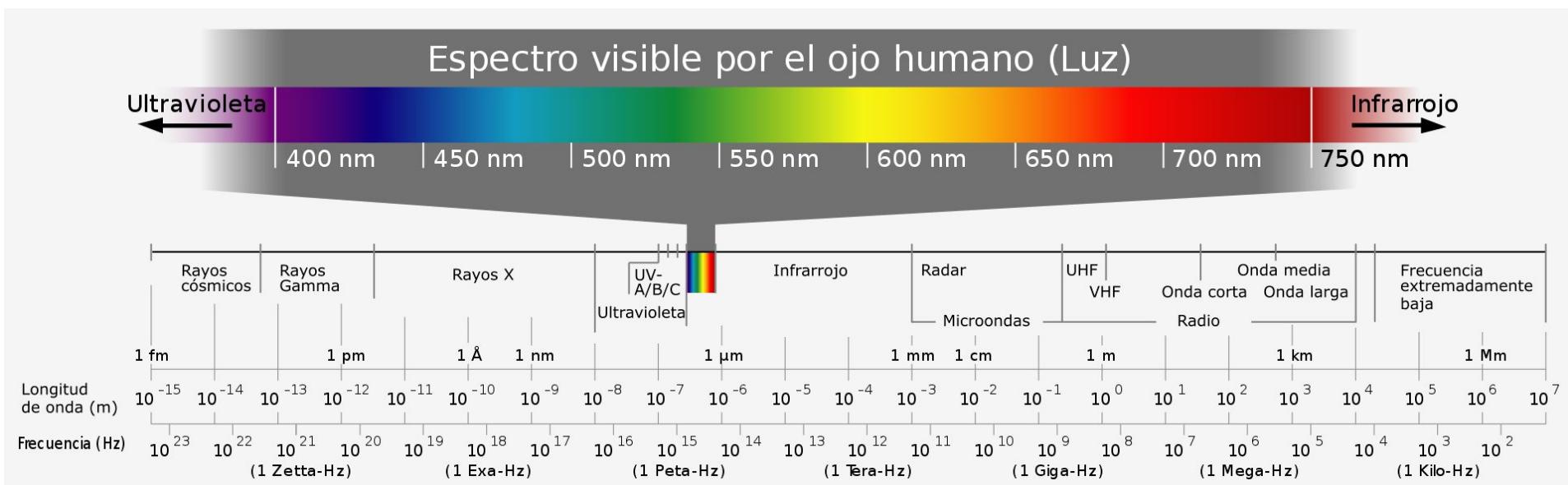


El Color



El Color

- Las ondas visibles son aquellas cuya longitud de onda está comprendida entre los 380 y 770 nanómetros.



El Color

- La percepción de la forma, profundidad o claroscuro está estrechamente ligada a la percepción de los colores.
- Los objetos devuelven la luz que no absorben hacia su entorno.
- Nuestro sistema visual interpreta estas radiaciones electromagnéticas que el entorno emite o refleja, como el "COLOR".



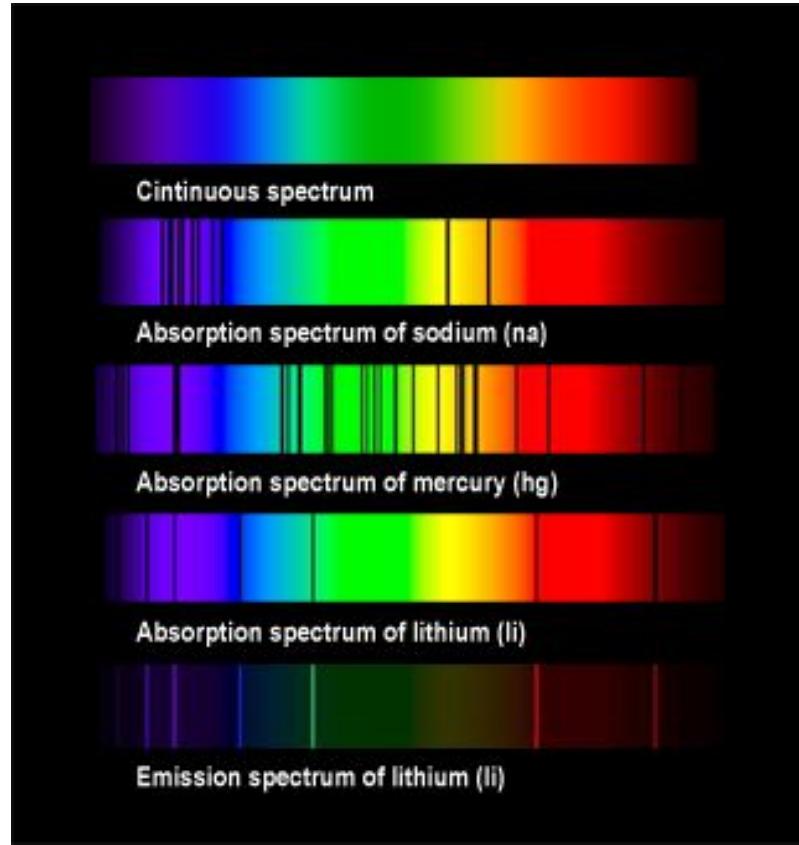
El Color

- El color depende:
 - del objeto que vemos (materiales).
 - de la luz que lo ilumina.
 - del entorno que rodea al objeto.
 - de quien lo mira.
- Los objetos absorben, transmiten, emiten y reflejan luz.
 - Cuando se ilumina con luz roja una superficie que solo refleja luz azul, se debería ver negra.
 - La luz verde vista a través de un vidrio que solo transmite luz roja, también se debería ver negra.



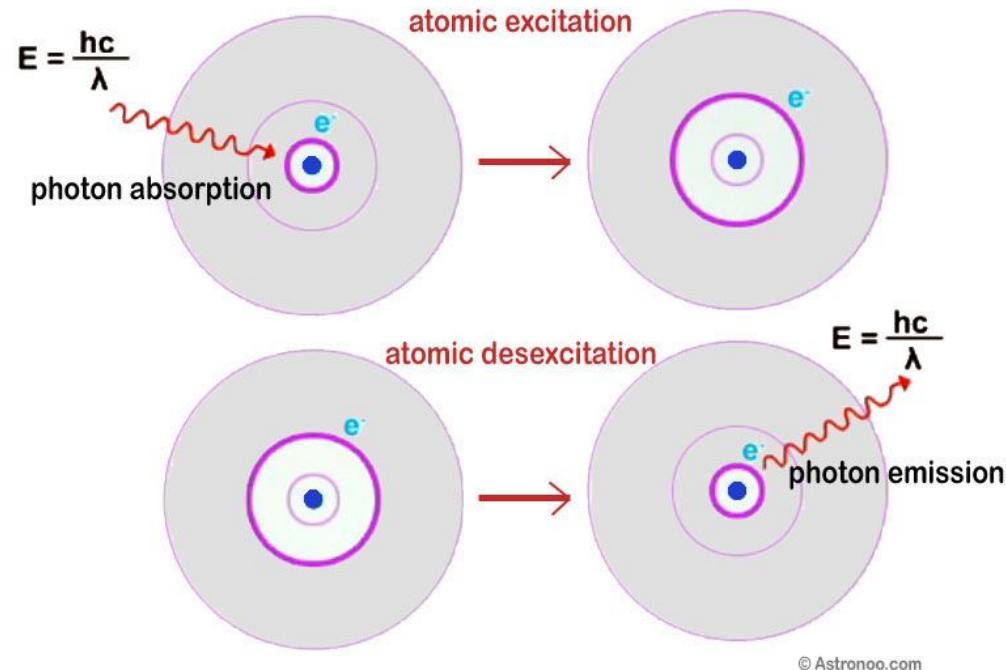
Espectros

- Absorción:
 - Fracción de la radiación electromagnética incidente que un material absorbe dentro de un rango de frecuencias.
- Emisión:
 - Conjunto de frecuencias de las ondas electromagnéticas emitidas por átomos de un material.



Niels Bohr (1885-1962)

- Modelo atómico:
 - los electrones en el átomo se encuentran en órbitas fijas cuantificadas.

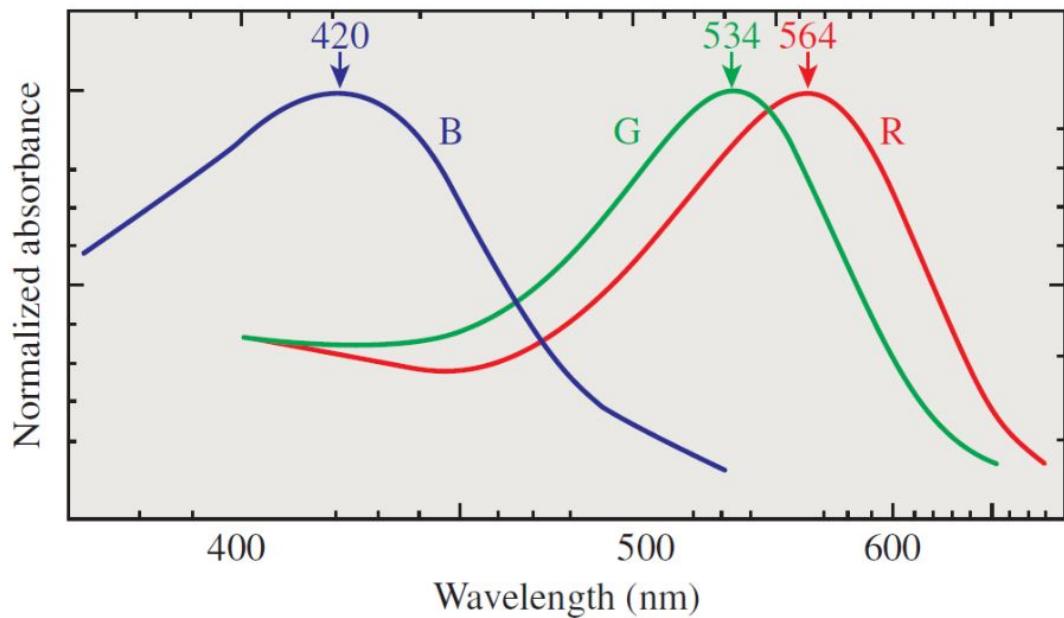


© Astronoo.com



Tipos de conos en la retina

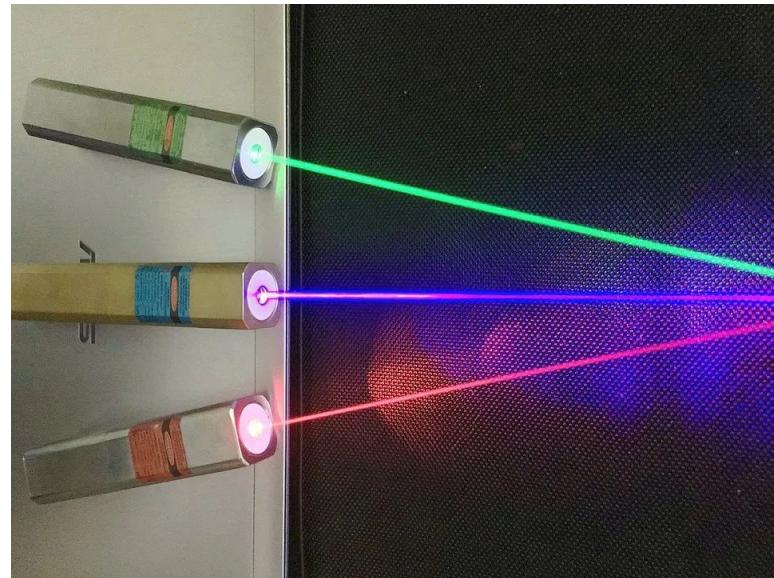
- S (short, 420 nm) ~ sensores del color azul
- M (medium, 534 nm) ~ sensores del color verde
- L (long, 564 nm) ~ sensores del color rojo



Tipo	Rango [nm]	Máxima λ [nm]
S	400 - 500	420 - 440
M	450 - 630	534 - 545
L	500 - 700	564 - 580

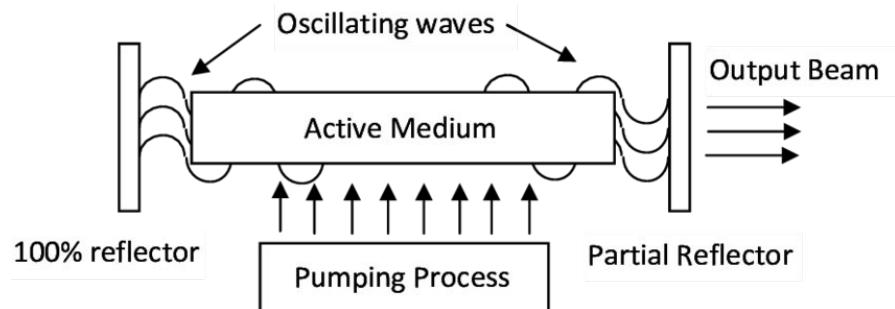
Color espectral

- Sensación de color que se percibirá con un estímulo formado por una sola longitud de onda o por una banda relativamente estrecha de longitudes de onda (5 - 10 nm), también conocida como luz monocromática.
- Los principales colores espectrales son los colores del arcoíris que tienen nombre: rojo, naranja, amarillo, verde, azul violeta.



LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

- Amplificación de luz por emisión estimulada de radiación.
 - Haz de luz coherente tanto espacial como temporalmente.
 - Espacial: capacidad del haz para permanecer con un pequeño tamaño al transmitirse por el vacío en largas distancias.
 - Temporal: capacidad para concentrar la emisión en un rango espectral muy estrecho.



[Video](#)



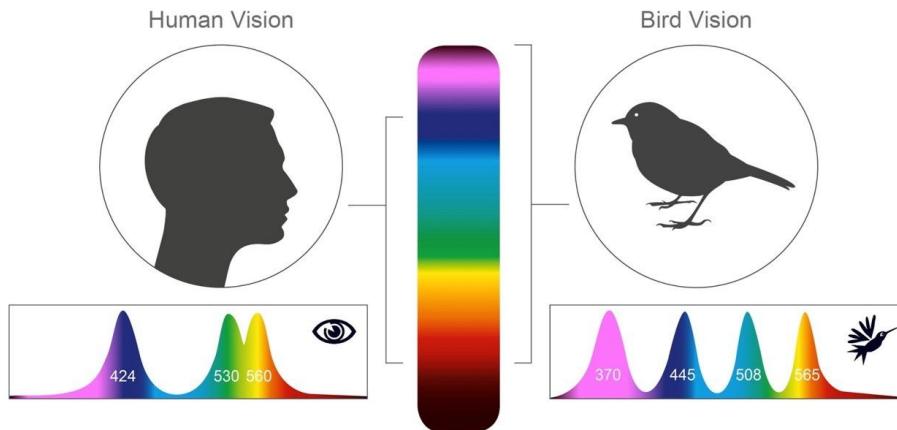
Color no espectral

- Combinación de colores espectrales, al menos dos frecuencias de luz mezcladas.
 - Se muestran como distribuciones espectrales continuas o como suma discreta de n colores primarios (**RGB**).
 - Estas mezclas juegan con los receptores de nuestros ojos para generar colores:
 - Mezclar rojo y azul puros genera púrpura (que no está en el arcoíris).
- La mayoría de los colores son mezclas no espectrales.



Color no espectral

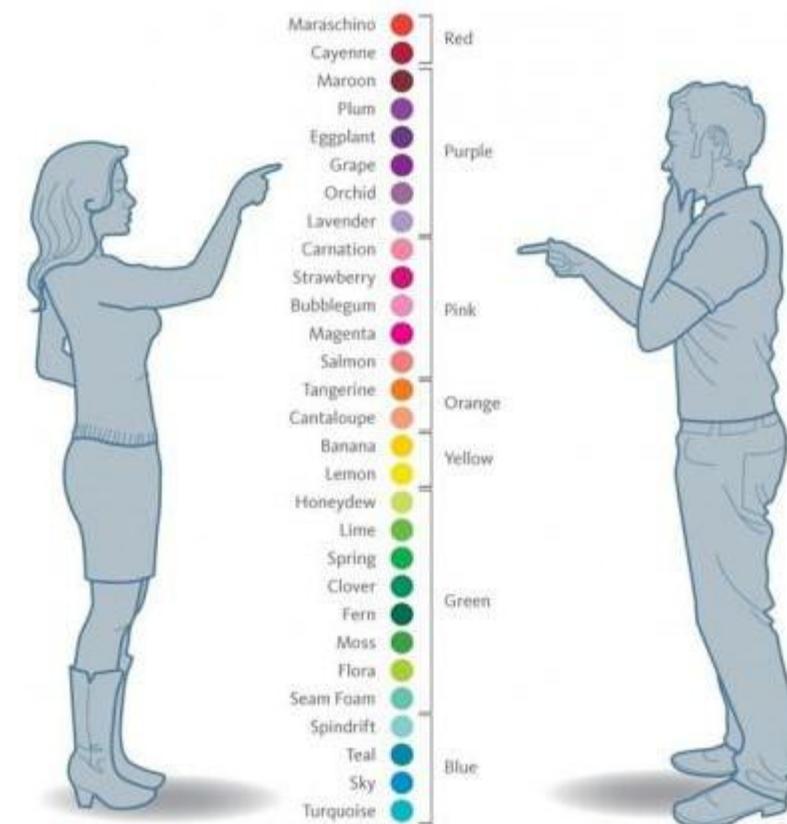
- Las aves, las abejas y algunos peces tienen más de tres tipos de receptores del color, lo que les ayuda a detectar mejor algunos alimentos.



Color: Mujer y Hombre, diferente visión

- Daltonismo

- Dificultades para distinguir algunos colores: azul-amarillo, rojo y verde.
- Es más frecuente en hombres (8%) que en mujeres (1%).
- Se cree que está ligado con el cromosoma X.



Color: Mujer y Hombre, diferente visión

- Men and Women Really Do See Things Differently , J. Owen, National Geographic.
 - Las mujeres son mejores en la discriminación de colores.
 - Los hombres suelen ser mejores en la detección de movimientos rápidos y detalles a distancia.
 - La caza y la caza

Abramov, I., J. Gordon, O. Feldman and A. Chavarga. "Sex and Vision I: Spatio-temporal Resolution." *Biology of Sex Differences* 3:20, Sept. 4 (open access; highly accessed). (*Books and Publications: Peer Reviewed Article*) 2012

Abramov, I., J. Gordon, O. Feldman and A. Chavarga. "Sex and Vision II: Color Appearance of Monochromatic Lights." *Biology of Sex Differences* 3:21, Sept. 4 (open access; highly accessed). (*Books and Publications: Peer Reviewed Article*) 2012

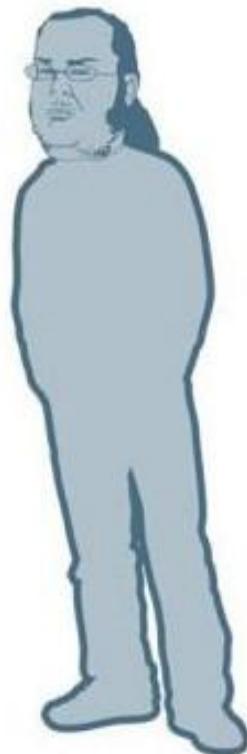


Color: Perro vs Programador, diferente visión

- Los perros tienen una visión dicromática: amarillo-azul.
 - Deuteranopia: ausencia de los fotorreceptores del color verde.
- Tienen menos sensibilidad a los tonos de grises.
- Suelen ser miopes, aunque detectan fácilmente el movimiento a distancia.
- Su visión periférica es mejor.



Gray ● #f94433
Gray ● #ac203b
Gray ● #85343d
Gray ● #874994
Gray ● #663c84
Gray ● #8c2590
Gray ● #a16799
Gray ● #af99c7
Gray ● #f38da3
Gray ● #d2157b
Gray ● #ec90b7
Gray ● #e90086
Gray ● #f57d7e
Gray ● #f27727
Gray ● #fc9b7b
Gray ● #f7d305
Gray ● #f1e311
Gray ● #ccdf62
Gray ● #68bd46
Gray ● #0aae4f
Gray ● #069665
Gray ● #057054
Gray ● #3ba246
Gray ● #abcf37
Gray ● #68c3b2
Gray ● #8bccd0
Gray ● #0687a7
Gray ● #078dca
Gray ● #0fb8b5



Humano



Perro



- En general los carnívoros tienen menos fotorreceptores de color.
- En general es conveniente:
 - Detectan mejor la forma y el movimiento que los colores.
 - Eso evita que se distraigan con el camuflaje para cazar.



Propiedades del color

Atributos que cambian y hacen único a cada color.

- Tono (*Hue*):
 - También conocido com matiz, tinte o croma. Esta propiedad diferencia a un color de otro y de ahí asignamos un nombre (verde, azul, amarillo, etc.).
 - Hace referencia al recorrido que se hace en el círculo cromático pasando por varios matices.



Propiedades del color

Atributos que cambian y hacen único a cada color.

- Tono (*Hue*):
 - Se asocia a la longitud de onda dominante en la mezcla de colores.
 - Los colores acromáticos no tienen tono.



Propiedades del color

- Saturación (*Saturation*):
 - También conocido como brillo, representa la intensidad cromática de un color.
 - En otras palabras, es la claridad u obscuridad de un color y está determinada por la cantidad de luz (o mezcla de blanco) que un color tiene.
 - Los colores puros están completamente saturados.

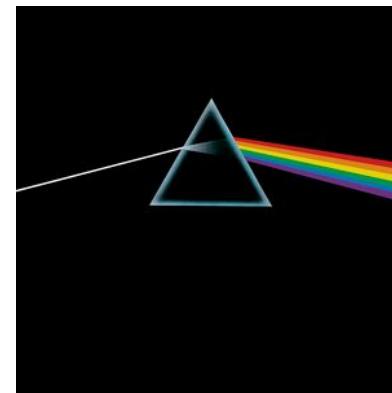


Propiedades del color

- Luminosidad (*Lightness*):
 - Es la cantidad de luz que refleja una superficie en comparación con la reflejada por una superficie blanca a iguales condiciones de iluminación.
 - Más luminosidad más cerca del blanco.
 - Menos luminosidad más cerca del negro.
 - En el círculo cromático, el amarillo es el color de mayor luminosidad y el violeta el de menor.

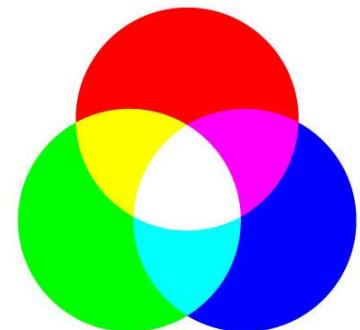


Modelos de color



Modelo RGB

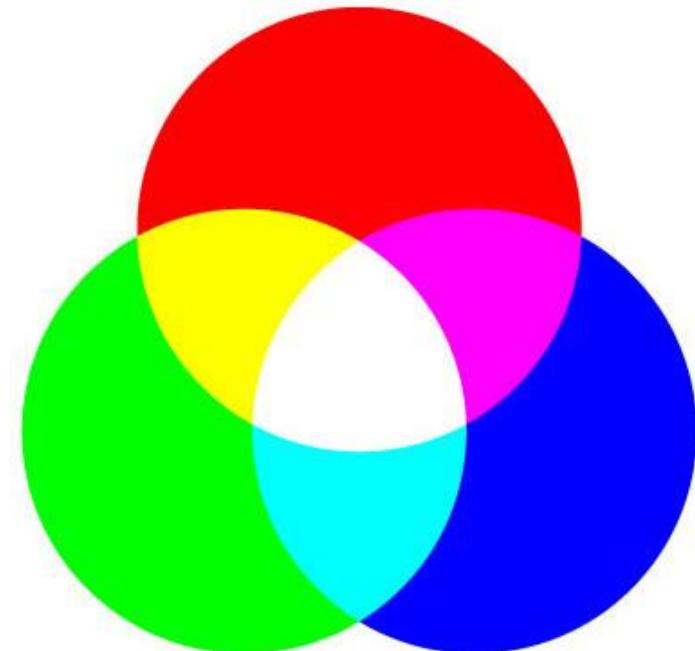
- El modelo RGB se aplica en los sistemas que usan luz para formar imágenes.
 - Rojo + Verde + Azul (RGB).
 - Se basa en la suma de los tres colores primarios.
- Cada componente se trata de manera independiente, lo que hace que haya información redundante.
 - El brillo va en todos los canales.
-





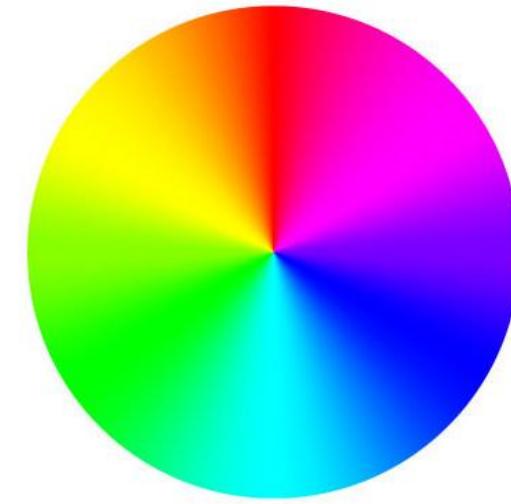
Modelo RGB

- Rojo + Verde + Azul (RGB).
 - Tres canales producidos por luces (p. ej. monitor).
 - Cada canal usa 8 bits.
 - Escala: $[0, (2^8 - 1)]$.
 - Total = 16,777,216
 - Blanco: (255, 255, 255).
 - Negro: (0, 0, 0).
 - HEX : #RRGGBB.



Modelo RGB

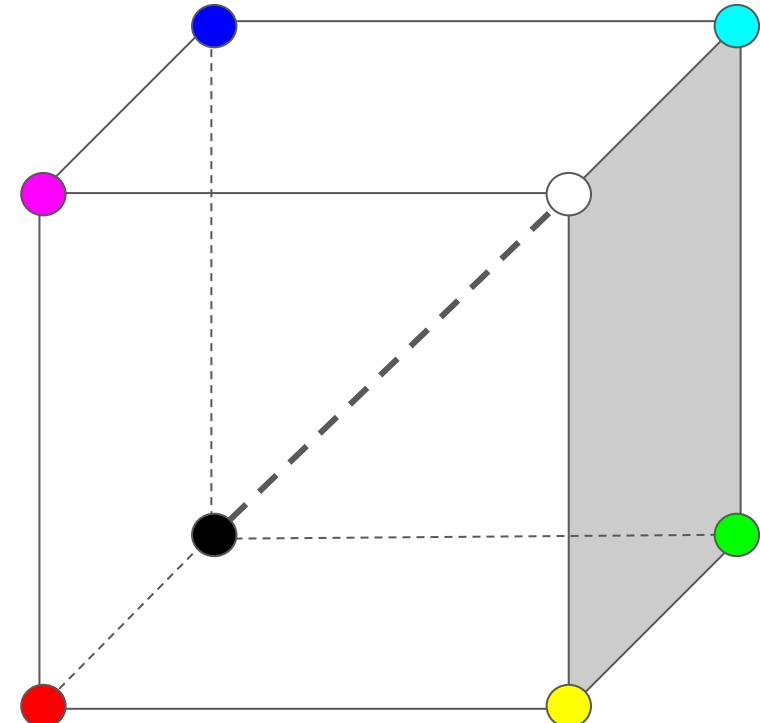
- RGB → (208, 223, 220)
- HEX → #d0dfdc (HTML)
- Conversión DEC → HEX
 - $R / 16 = X_1 + Y_1$
 - $G / 16 = X_2 + Y_2$
 - $B / 16 = X_3 + Y_3$
 - $X?$: Cociente
 - $Y?$: Residuo
 - HEX: #**X1Y1X2Y2X3Y3**

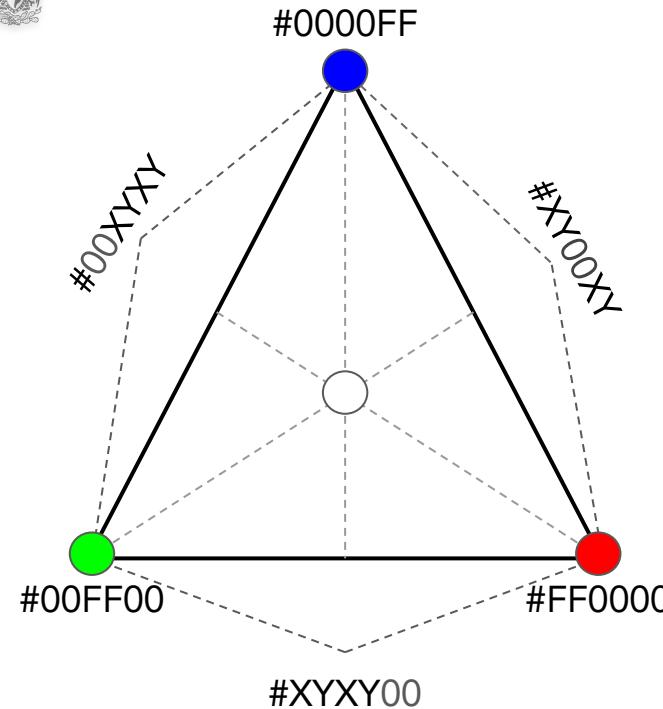


- Conversión DEC → HEX
 - $R = X_1 * 16 + Y_1$
 - $G = X_2 * 16 + Y_2$
 - $B = X_3 * 16 + Y_3$

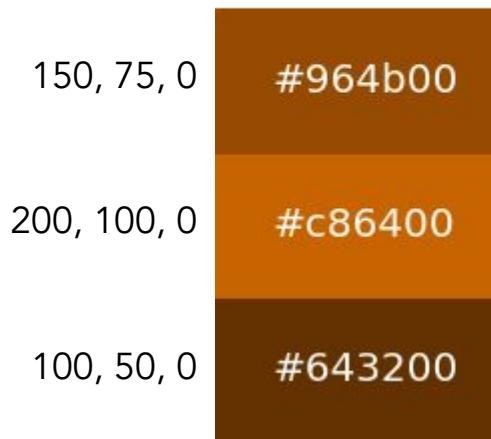
Colores primarios: luz

Blanco	#FFFFFF
Rojo	#FF0000
Verde	#00FF00
Azul	#0000FF
Amarillo	#FFFF00
Cian	#00FFFF
Magenta	#FF00FF
Negro	FFFFFF





¿En qué punto del triángulo se encuentran los siguientes colores?



- Colores con máxima saturación y máxima luminosidad: al menos un coeficiente es 255 y al menos un coeficiente es 0.
- ¿Cuáles son los colores más luminosos?





RGB color space

- Hemos visto que con un sistema de 24 bits, usando el modelo RGB se pueden reproducir 16,777,216 colores diferentes.
 - Esto se conoce como la gama de colores (*gamut*).
 - Sin embargo, la cantidad de luz roja, verde y azul en el color resultante, **no es intuitivo**.
 - Ejemplo: **R = 217, G = 118, B = 33** → 
 - ¿Cómo le hacemos para reducir el colorido a la mitad?
 - Resultado: **R = 186, G = 132, B = 92** → 



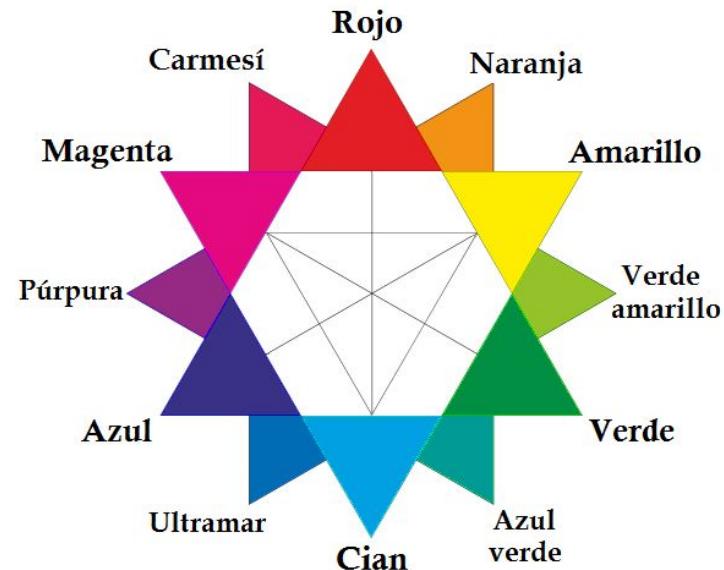
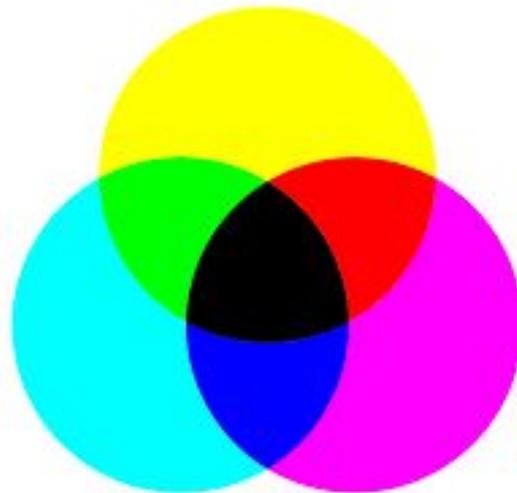
Modelo CMYK

- Cian - Magenta - Amarillo - Key (CMYK).
 - Modelo de color sustractivo.
 - La mezcla de los tres colores primarios debería producir negro.
 - Versión moderna del modelo RYB (Rojo, Amarillo, Azul).
 - Se basa en la luz reflejada de los pigmentos:
 - El color que presenta un objeto corresponde a la parte de la luz que incide sobre éste y que no es absorbida.
 - Los procedimientos de impresión a color, conocidas como tricromía y cuatricromía se basan en la síntesis sustractiva.



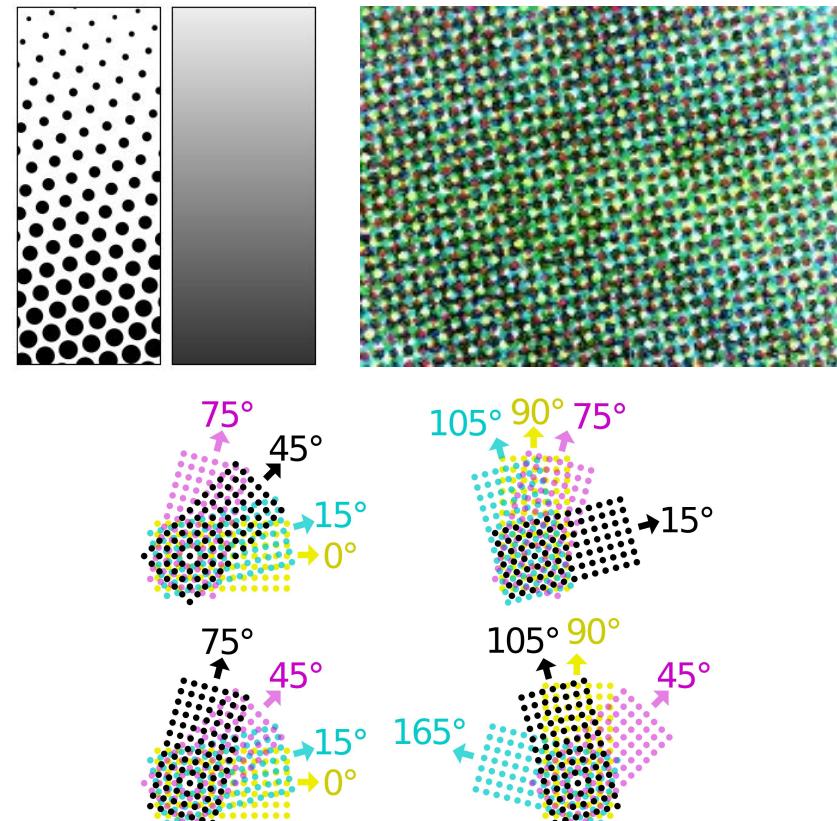
Modelo CMYK

Colores primarios y su combinación.



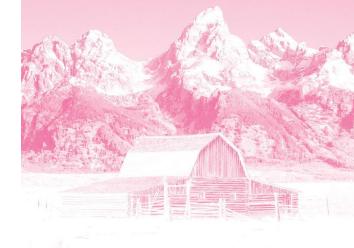
Modelo CMYK

- Se usa para impresión.
- *Halftoning*.
 - Técnica de impresión con puntos para reducir la cantidad de tinta.
 - Para obtener más colores.
- También se usan ángulos en los patrones de puntos para evitar efectos (moiré).





Modelo CMYK



FISICA



Comparación RGB - CMYK



RGB



CMYK

Conversión RGB - CMYK

RGB → CMYK

- Normalizar:
 - $r = R / 255$
 - $g = G / 255$
 - $b = B / 255$
- Convertir:
 - $K = 1 - \max(r, g, b)$
 - $C = (1 - r - K) / (1 - K)$
 - $M = (1 - g - K) / (1 - K)$
 - $Y = (1 - b - K) / (1 - K)$

CMYK → RGB

- Conversión:
 - $R = 255 * (1 - C) * (1 - K)$
 - $G = 255 * (1 - M) * (1 - K)$
 - $B = 255 * (1 - Y) * (1 - K)$

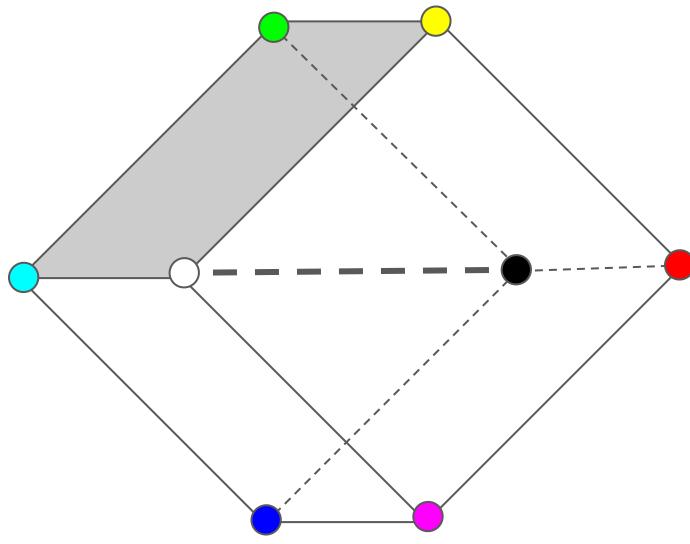


Modelos HSL: *Hue, Saturation, Lightness*

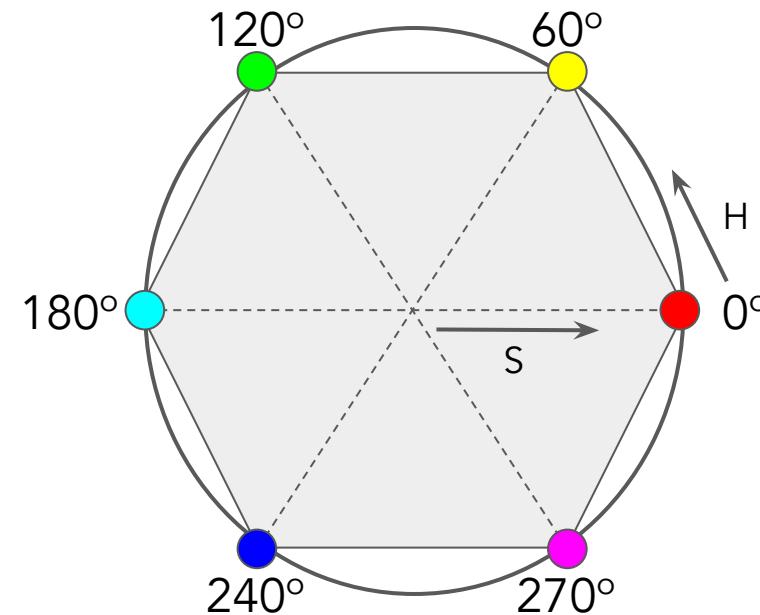
- Es un modelo cilíndrico:
 - El hue está organizado alrededor de una rebanada circular, centrada en un eje vertical de tonos de grises, lightness, con el negro en el fondo y blanco en el tope. Los colores más saturados están en el círculo cuyo valor de lightness es 0.5. En la dirección radial tenemos a la saturación.
 - $(\theta, r, z) = (\text{Hue} , \text{Saturation} , \text{Lightness})$
 - Escalas: ([0, 360], [0,1], [0,1])



Modelos HSL: *Hue, Saturation, Lightness*



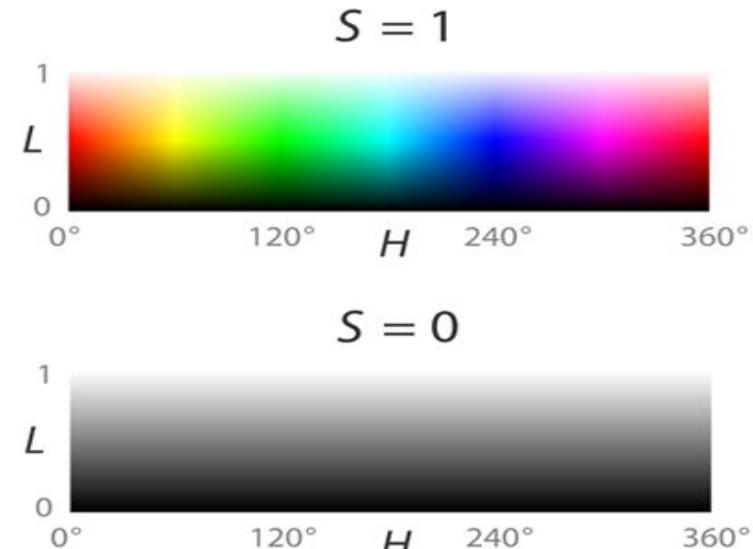
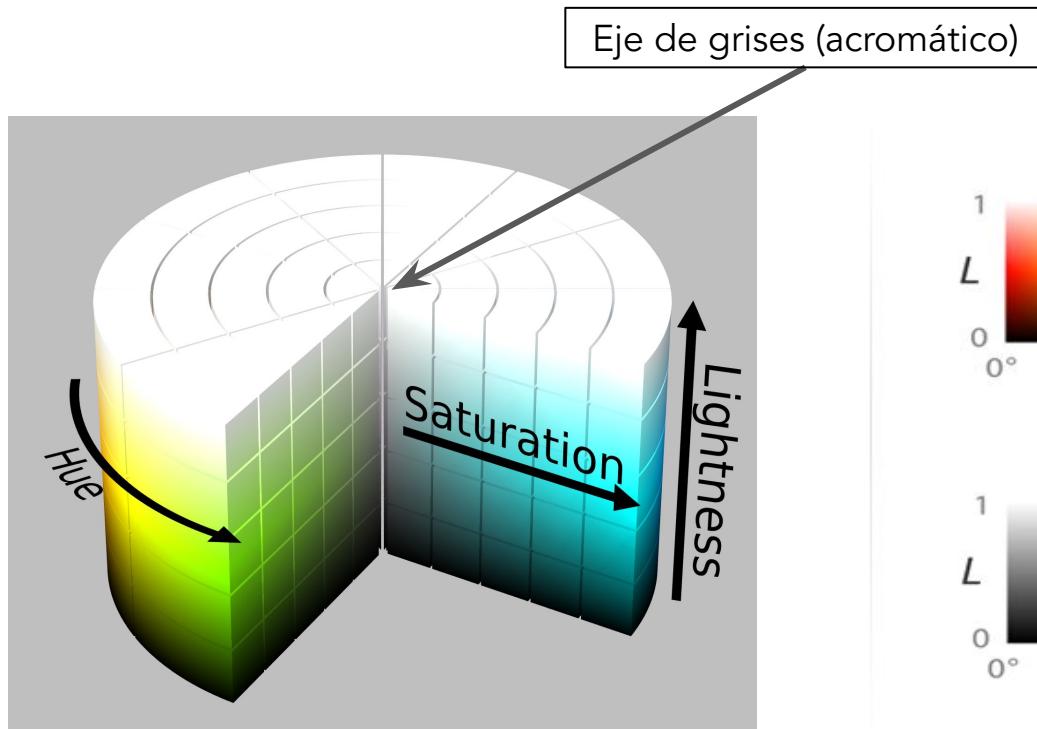
RGB



HSL



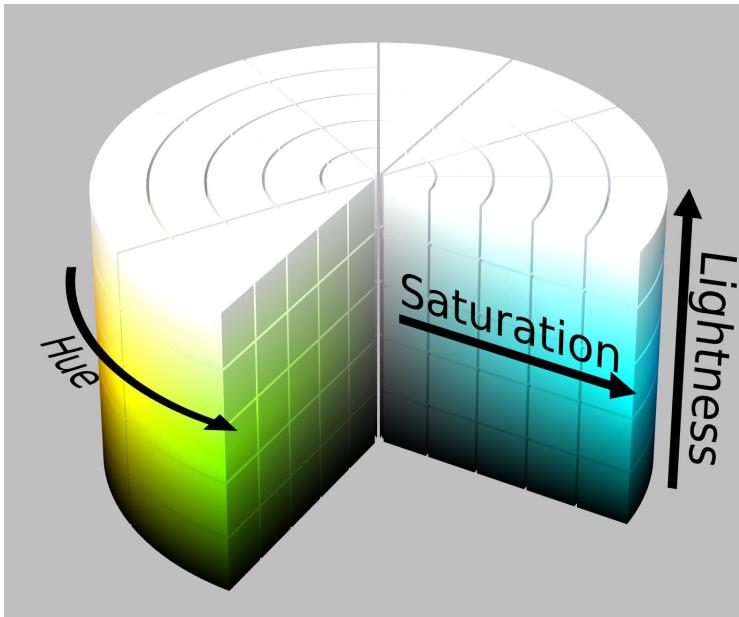
Modelos HSL: *Hue, Saturation, Lightness*



Observe que los colores puros se encuentran en la orilla del cilindro, saturación= 1.

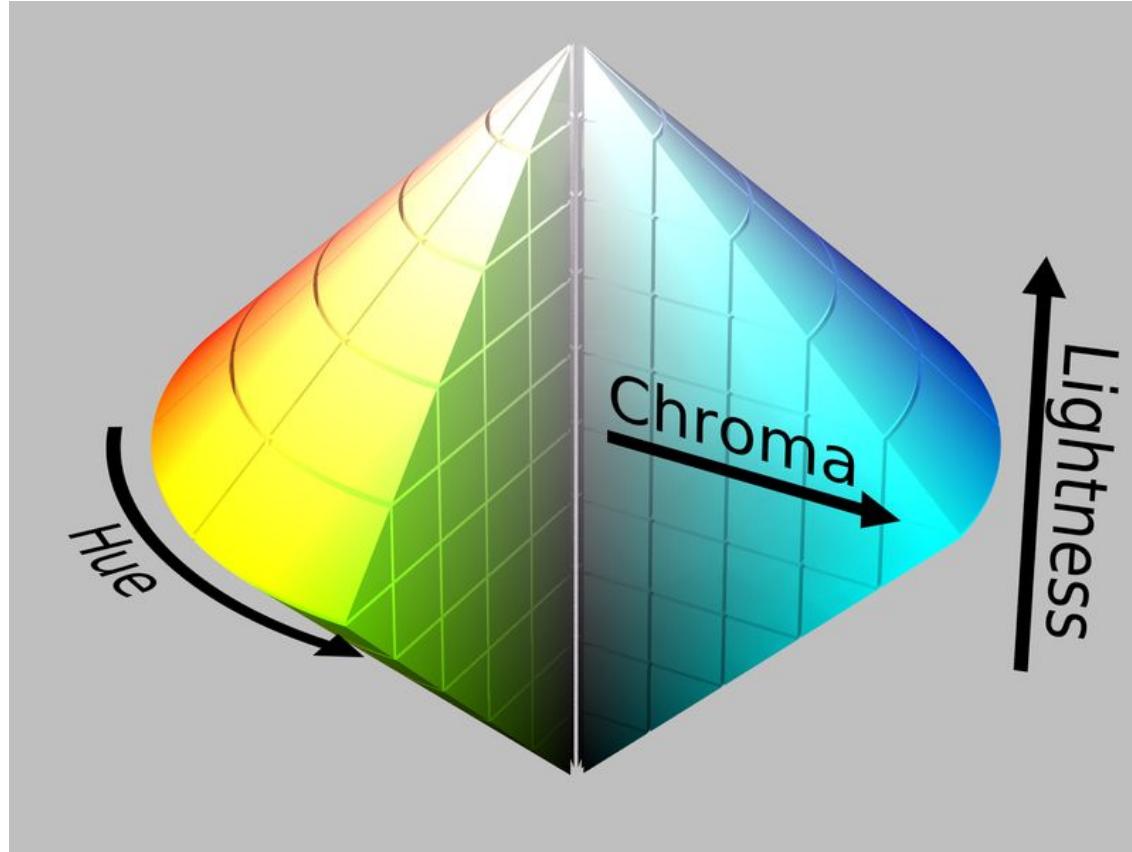


Modelos HSL: *Hue, Saturation, Lightness*



- Observe que los colores puros se encuentran en la orilla del cilindro, saturación= 1.
- La mezcla con el negro genera los *shades* y pero no cambia la saturación.
- Esto puede confundir la noción de color puro.
- Por esta razón generalmente se usa una representación en forma de cono.







Conversión RGB - HSL

- $M = \text{Max}(\text{RGB})$
 - $m = \text{Min}(\text{RGB})$
 - Normalizar RGB
- A. $L = (1 / 2) \times (M + m)$
- A. If $L < 1$:
 $S = (\text{Max}(\text{RGB}) - \text{Min}(\text{RGB})) / (1 - |2L - 1|)$
- B. If $L = 1$:
 $S = 0$
- A. If $R \geq G \geq B$:
 $H = 60^\circ \times [(G-B)/(R-B)]$
- B. If $G > R \geq B$:
 $H = 60^\circ \times [2 - (R-B)/(G-B)]$
- C. If $G \geq B > R$
 $H = 60^\circ \times [2 + (B-R)/(G-R)]$
- D. If $B > G > R$
 $H = 60^\circ \times [4 - (G-R)/(B-R)]$
- E. If $B > R \geq G$
 $H = 60^\circ \times [4 + (R-G)/(B-G)]$
- F. If $R \geq B > G$
 $H = 60^\circ \times [6 - (B-G)/(R-G)]$



¿...?





Siguientes temas (tarea 4)

1. Herramienta para convertir entre los modelos de color:
 - RGB, CMYK, HSL, HSV (usando sliders).
 - Explicar las fórmulas de transformación en clase.
 - 17 de Marzo.
2. Herramienta para analizar y explicar el CIE 1931 color space:
https://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space
 - Explicar el modelo en clase. 19 de Marzo.
3. Herramienta para lectura/escritura de archivos HDF5.
 - Explicar el formato en clase. 20 de Marzo.



Siguientes temas (tarea 4)

4. Herramienta para generar y representar las *Brewer palettes*: <http://mkweb.bcgsc.ca/brewer/>
 - Explicar la generación de estas paletas en clase. 24 de Marzo.
5. Herramienta para explicar la Psicología del color:
https://es.wikipedia.org/wiki/Psicología_del_color
 - Explicar la psicología del color en clase. 26 de Marzo.
6. Herramienta para sustituir a [GWchart](#).
 - Explicar GWChart en clase. 27 de Marzo.



Entregar

- Herramienta en python y matplotlib.
- Documentación con *docstring*.
- Hacer la presentación en clase.
- Documento con la explicación.

