

# *Color*

Visualización de Información  
IIC2026

Profesor: Denis Parra

# Overview

- Esta clase cubre la utilización del **color** (y otros canales no-espaciales) para codificar visualmente.
- El *color* es, en realidad, un término coloquial para referirse a tres canales diferentes: ***hue***, ***saturation***, ***luminance***.

# Overview

- La mayor decisión en la construcción de un *colormap* es saber si buscamos distinguir entre atributos **categoricos** o codificar atributos **ordenados**.
- En efecto, *colormaps* **secuenciales** muestran una progresión de un atributo desde un valor mínimo hacia otro máximo.
- Por otra parte, *colormaps* **divergentes** tienen una indicación visual para el valor cero en el centro, y los atributos divergen negativamente hacia un lado y positivamente hacia el otro.

# Teoría del color

- La teoría del color es un tópico rico y complejo; sin embargo, acá veremos los aspectos cruciales para poder aplicarlos en la **disciplina de visualización**.
- Para esto, definamos los principales conceptos que subyacen en esta teoría.

# Teoría del color

- Algunos cursos que tienen el *string* color en esta universidad.

Arquitectura															
NRC	Sigla	Permite Retiro	¿Se dicta en inglés?	Sec.	¿Requiere Aprob. Especial?	Categoría	Nombre	Profesor	Campus	Créd.	Vacantes			Horario	Agregar al horario
											Total	Disponibles	Reservadas		
15845	<a href="#">i</a> AQD1206	SI	NO	1	NO		Color - Arquitectura I	Campino Fernando	Lo Contador	5	22	1	<a href="#">🔍</a>	W:2,3 CLAS S34	<a href="#">+</a>
Arte															
NRC	Sigla	Permite Retiro	¿Se dicta en inglés?	Sec.	¿Requiere Aprob. Especial?	Categoría	Nombre	Profesor	Campus	Créd.	Vacantes			Horario	Agregar al horario
											Total	Disponibles	Reservadas		
19571	<a href="#">i</a> ARO102G	SI	NO	1	NO		Xilografía Color	Leyton Maria	Oriente	10	18	6	<a href="#">🔍</a>	M:1,2,3 TAL T6	<a href="#">+</a>
19577	<a href="#">i</a> ARO4336	SI	NO	1	NO		Hueco-Grabado en Color	Vidal Claudio	Oriente	8	12	2	<a href="#">🔍</a>	W:1,2,3 CLAS T6	<a href="#">+</a>
13295	<a href="#">i</a> ART0341	SI	NO	1	NO		Color	Brintrup Sybil	San Joaquín	10	22	6	<a href="#">🔍</a>	M:4,5 TAL CS303 J:4,5 CLAS CS302	<a href="#">+</a>
Diseño															
NRC	Sigla	Permite Retiro	¿Se dicta en inglés?	Sec.	¿Requiere Aprob. Especial?	Categoría	Nombre	Profesor	Campus	Créd.	Vacantes			Horario	Agregar al horario
											Total	Disponibles	Reservadas		
10457	<a href="#">i</a> DNO004	SI	NO	1	NO		Manejo y Aplicación del Color	Cox Maria	Lo Contador	10	38	12	<a href="#">🔍</a>	J:2,3 CLAS SALA103	<a href="#">+</a>
19801	<a href="#">i</a> DNO070	SI	NO	1	NO		Color: de la Creación al Marketing	Cardenas Lina	Lo Contador	10	25	4	<a href="#">🔍</a>	V:2,3 CLAS SALA11	<a href="#">+</a>
Teología															
NRC	Sigla	Permite Retiro	¿Se dicta en inglés?	Sec.	¿Requiere Aprob. Especial?	Categoría	Nombre	Profesor	Campus	Créd.	Vacantes			Horario	Agregar al horario
											Total	Disponibles	Reservadas		
19654	<a href="#">i</a> TTF106	SI	NO	1	NO	Formación Teológica	Pintura de Íconos: Teofanía en la Línea y el Color	Aguirre Federico	Oriente	10	20	2	<a href="#">🔍</a>	J:6,7 CLAS T23	<a href="#">+</a>

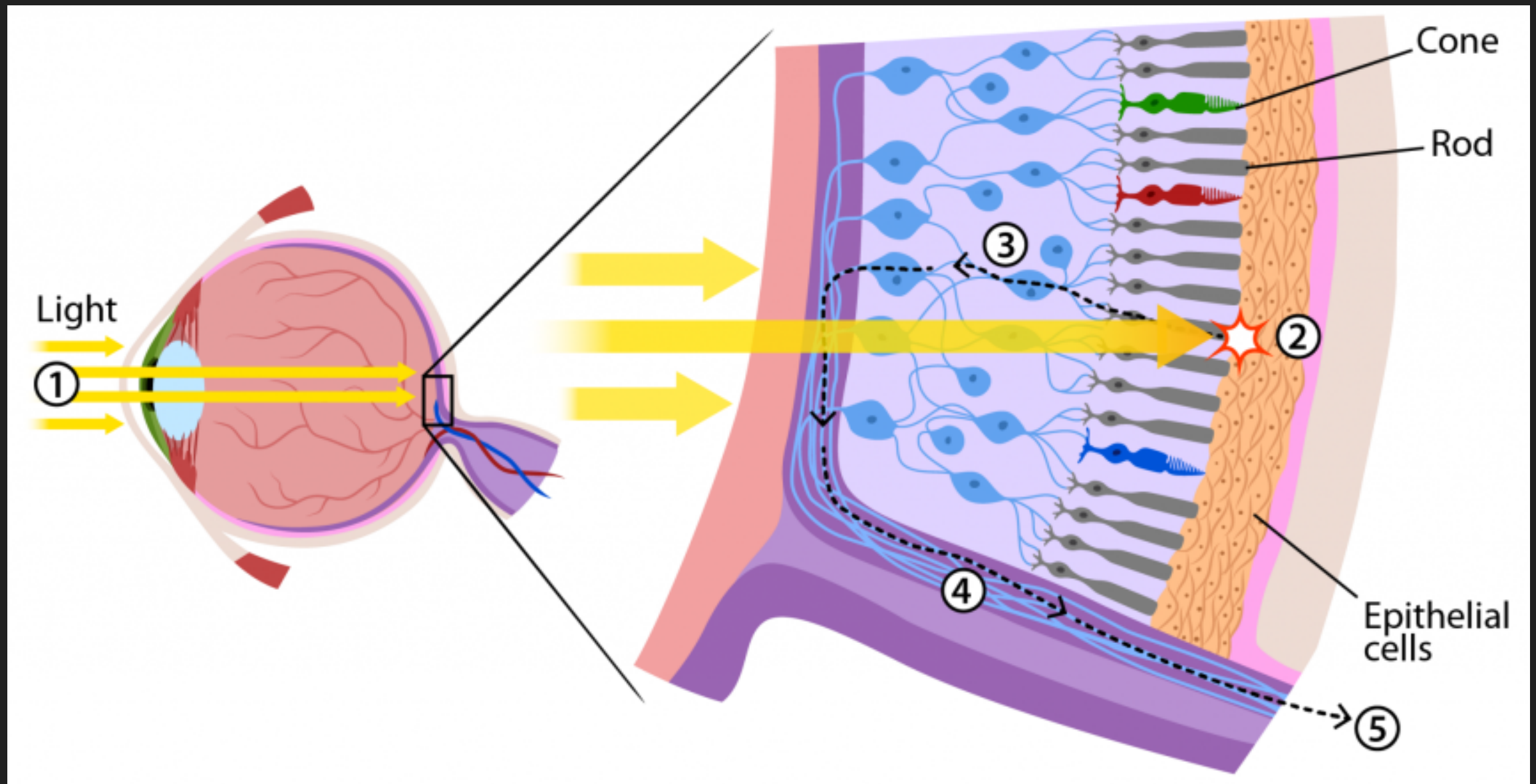
# Percepción del color: **bastones** y conos

- La retina de un ojo tiene dos principales tipos de **células fotorreceptoras**: **bastones** o bastoncillos (en inglés, *rods* o *rod cells*) y **conos** (en inglés, *cones* o *cone cells*).
- Los bastones, al tener mayor sensibilidad que los conos, son casi completamente responsables por nuestra visión en ambientes con **baja luminosidad**. Sin embargo, estas células tienen un **papel secundario en la visión del color**, siendo esta la principal razón de por qué nos cuesta distinguir colores en la oscuridad.
- Los bastones nos entregan información **en blanco y negro de baja resolución**. Y por esta razón, no hablaremos más de ellos en esta clase.

# Videos

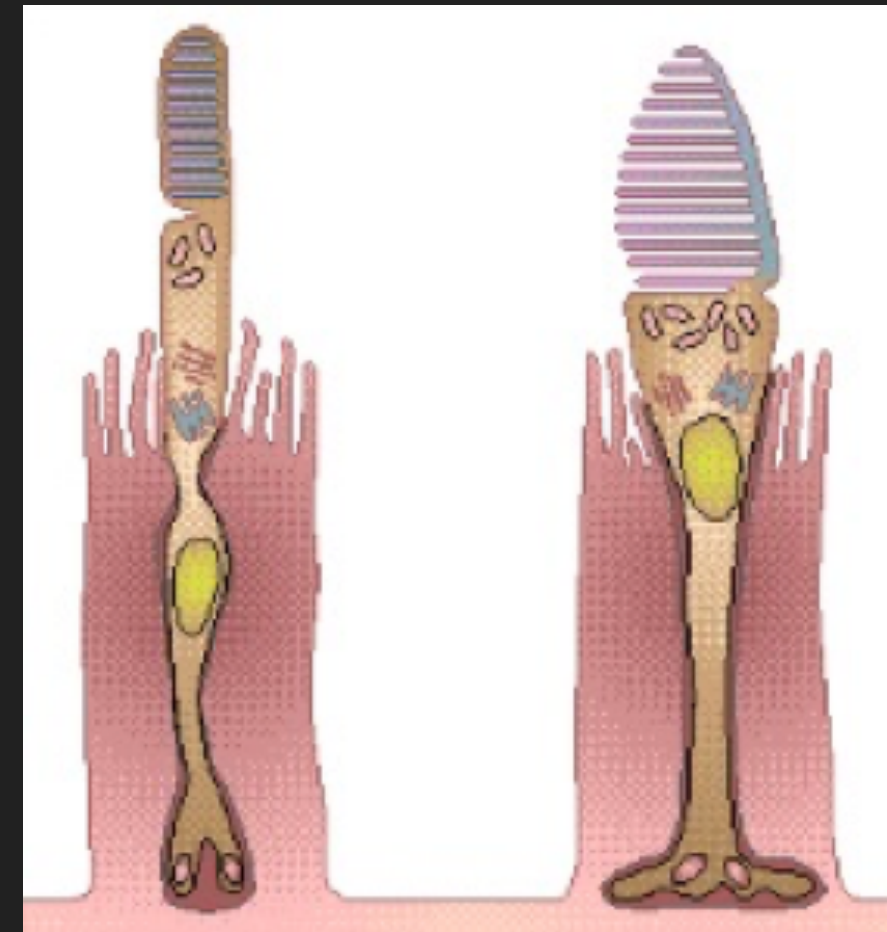
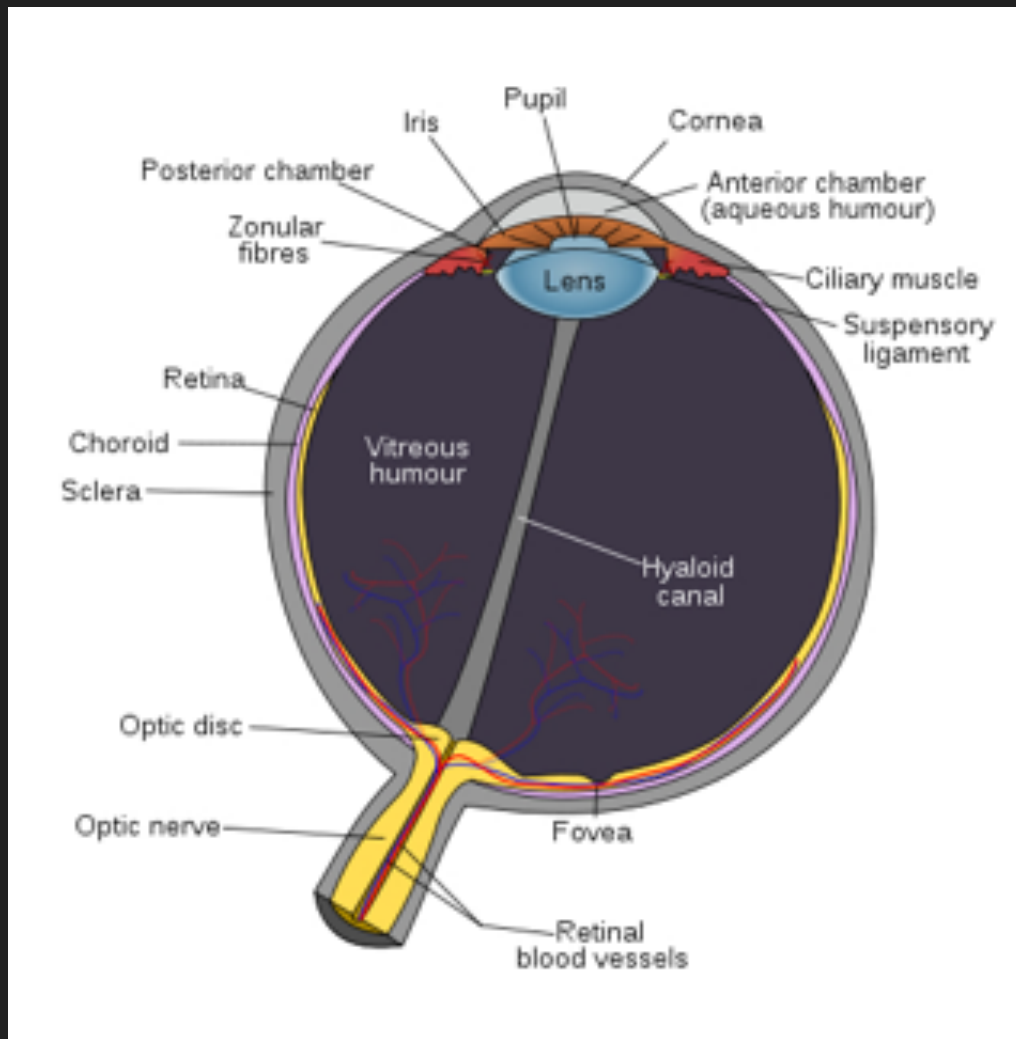
<https://www.youtube.com/watch?v=pvC9MQvqHMQ> (general)

[https://www.youtube.com/watch?v=l8\\_fZPHasdo](https://www.youtube.com/watch?v=l8_fZPHasdo) (relacionado al modelo RGB)





# Vista superior del un corte del ojo humano



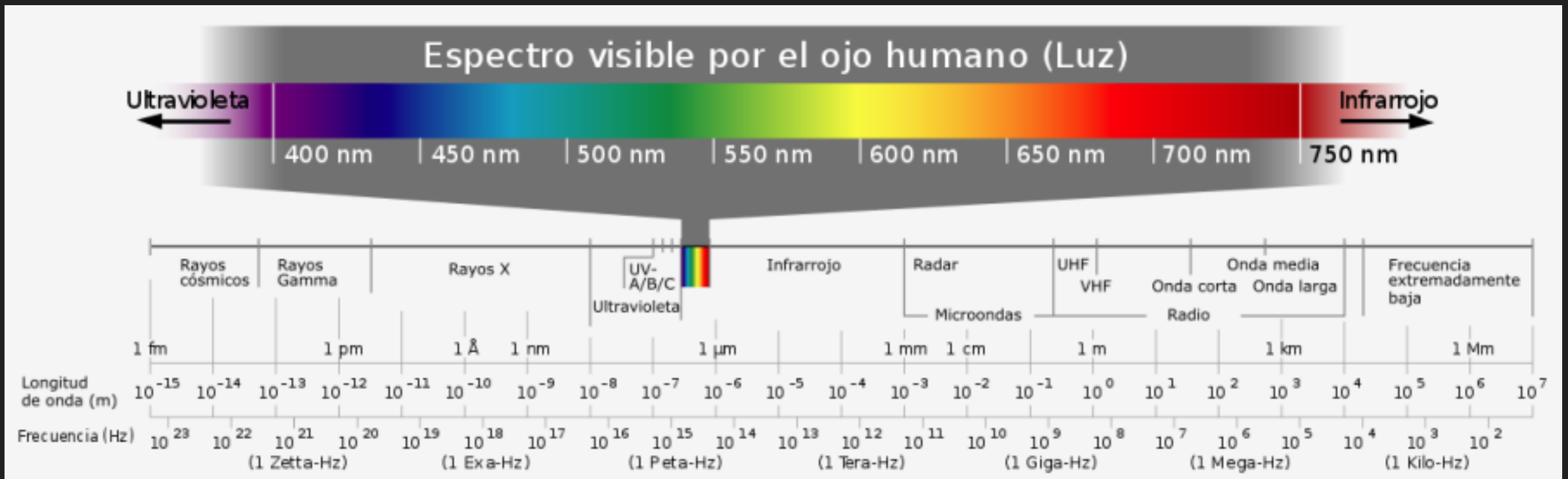
Bastones

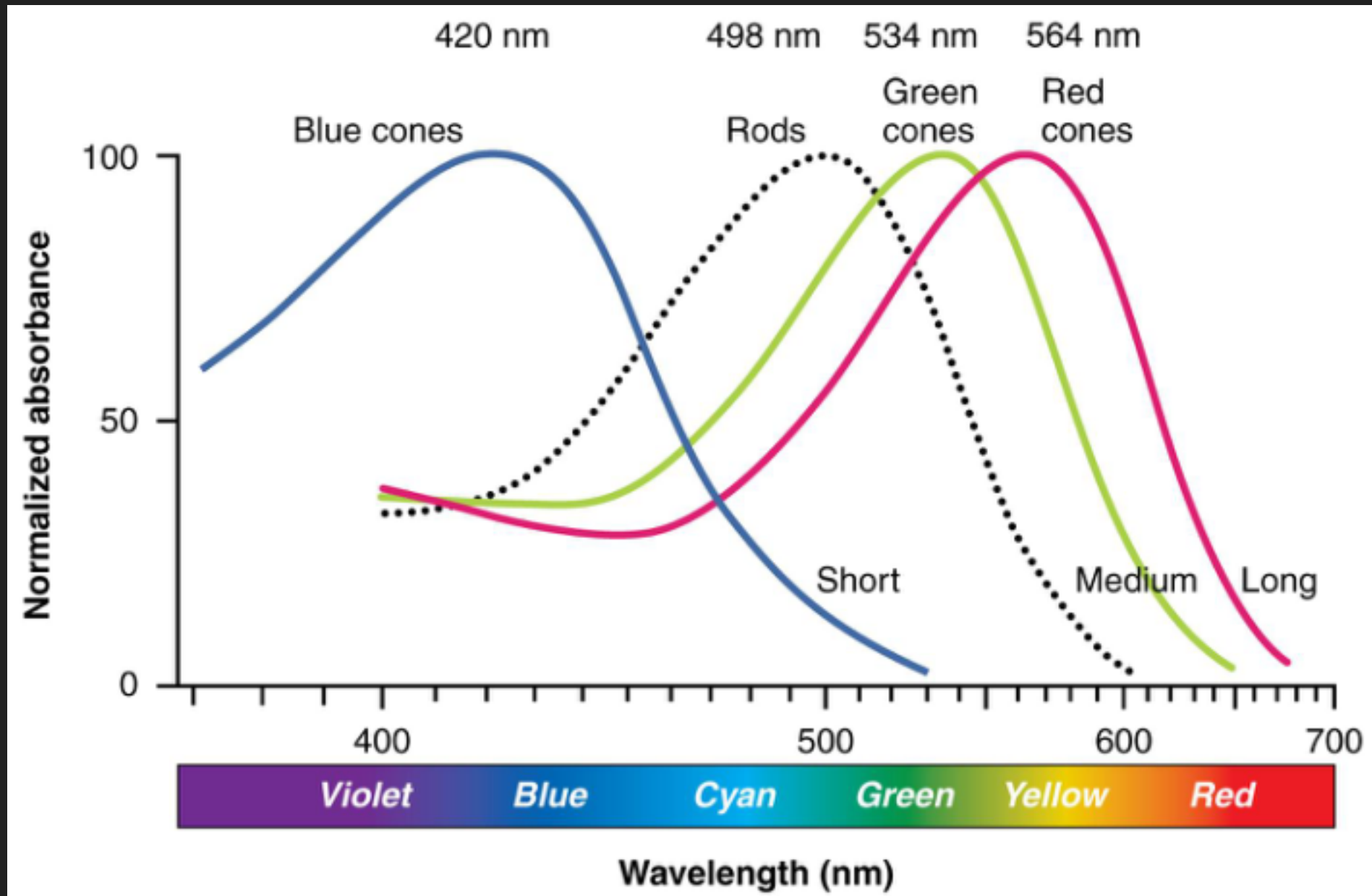
Conos

# Percepción del color: bastones y conos

- Los conos son los **principales sensores** en condiciones normales de luminosidad y son también los responsables de **nuestra percepción del color**.
- Tenemos **tres tipos** de conos (*S*-cones, *M*-cones, y *L*-cones), donde cada uno de ellos tiene un **peak de sensibilidad** en diferentes longitudes de onda del espectro de la luz visible: *short*, *medium*, *long* —de allí las letras iniciales.

# Espectro Electromagnético



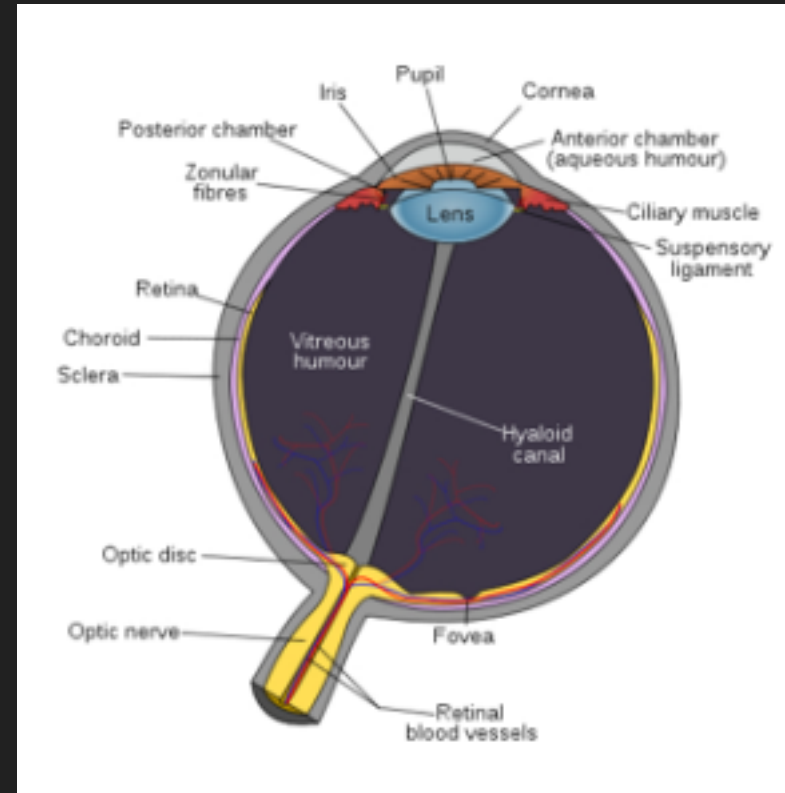
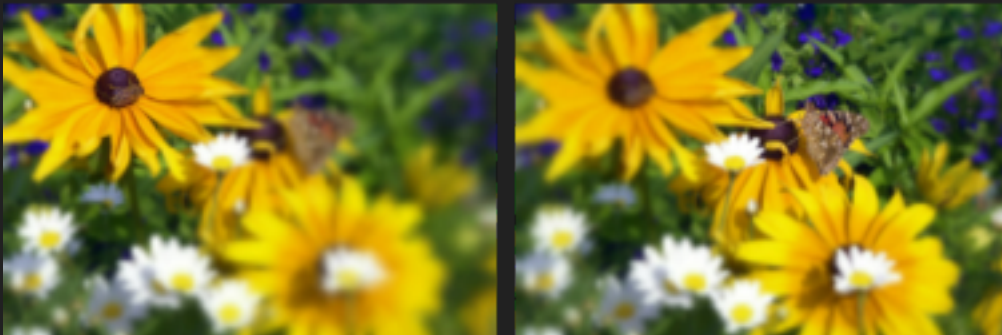


# Percepción del color: bastones y conos

- La diferencia de las señales recibidas por estos tres tipos de conos le permite a nuestro cerebro percibir una **gama continua de colores**.
- Como tenemos tres tipos de conos, hablamos de una **visión tricromática**. Esta es la razón de los **modelos tridimensionales** del espacio de colores: *red-green-blue* para las pantallas, por ejemplo. O por qué nos enseñaron los tres colores primarios en el colegio: **rojo**, **amarillo**, **azul**.

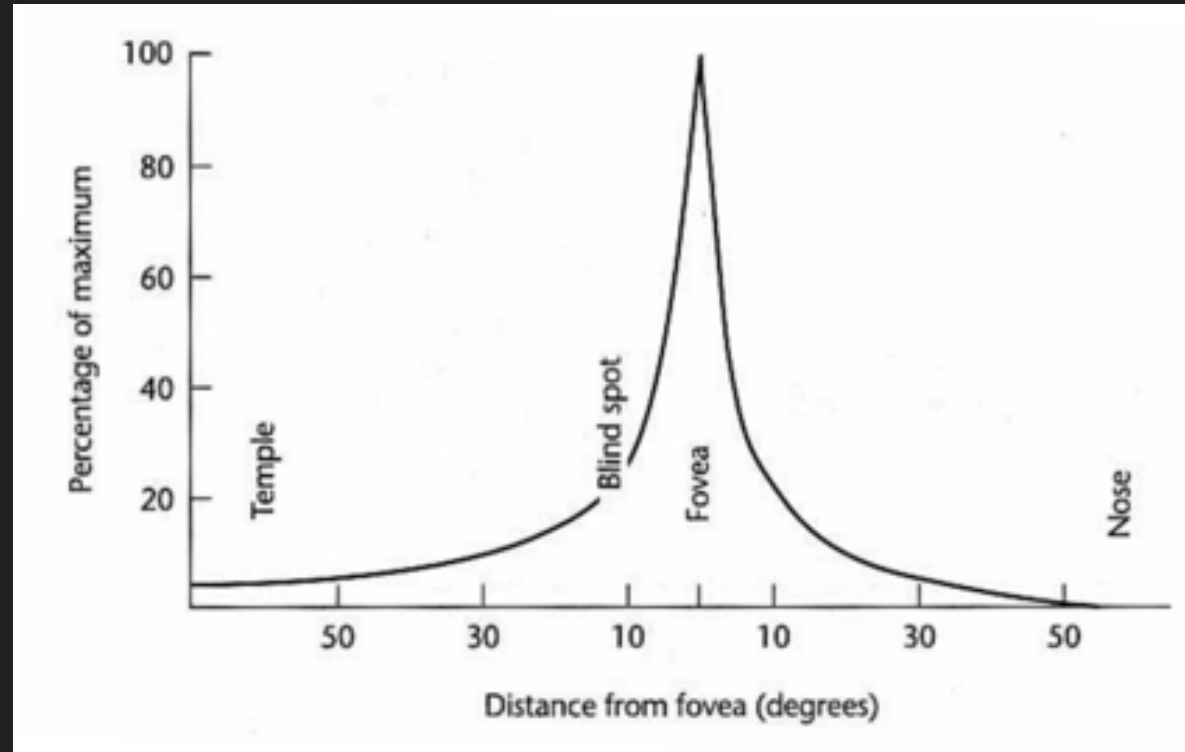
# Resolución: Fovea

- La fovea es el área de la retina donde se enfocan los rayos luminosos y se encuentra especialmente capacitada para la visión del color. Está libre de bastones.



# Resolución: Fovea

- Dirigir la vista hacia un objeto supone colocar su imagen óptica en la fovea. Esta es la razón por la que resulta particularmente difícil, por ejemplo, leer un texto en la penumbra.



# Punto ciego



<http://www.idvbook.com/>

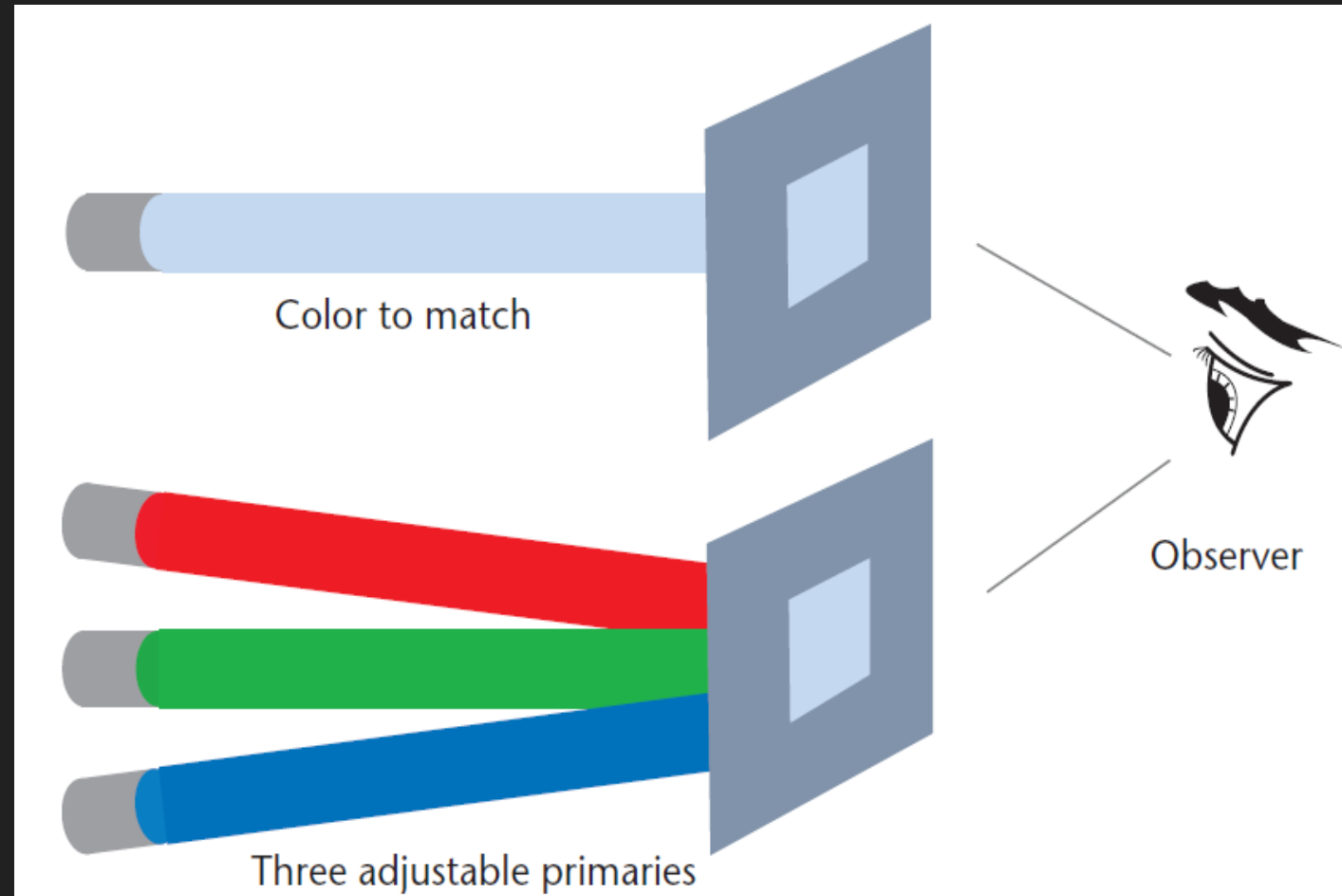
Punto ciego (disco óptico): cierra tu ojo derecho y mira directamente al número 3. ¿Puedes ver la mancha amarilla en su visión periférica? Ahora muévete lentamente hacia o desde la pantalla. En algún momento, la mancha amarilla desaparecerá.



# Modelos de color: **aditivo** y substractivo

- Un modelo de color es un **modelo matemático** para describir los colores como tuplas de números (generalmente, como tres o cuatro componentes), obteniendo un rango de colores, conocido como el **espacio de colores**.
- El modelo aditivo se utiliza en **medios que transmiten luz** (i.e. como cualquier tipo de pantalla: televisor, computador, etcétera) para mezclar colores primarios (**rojo**, **verde**, **azul**) que estimulan nuestras retinas.

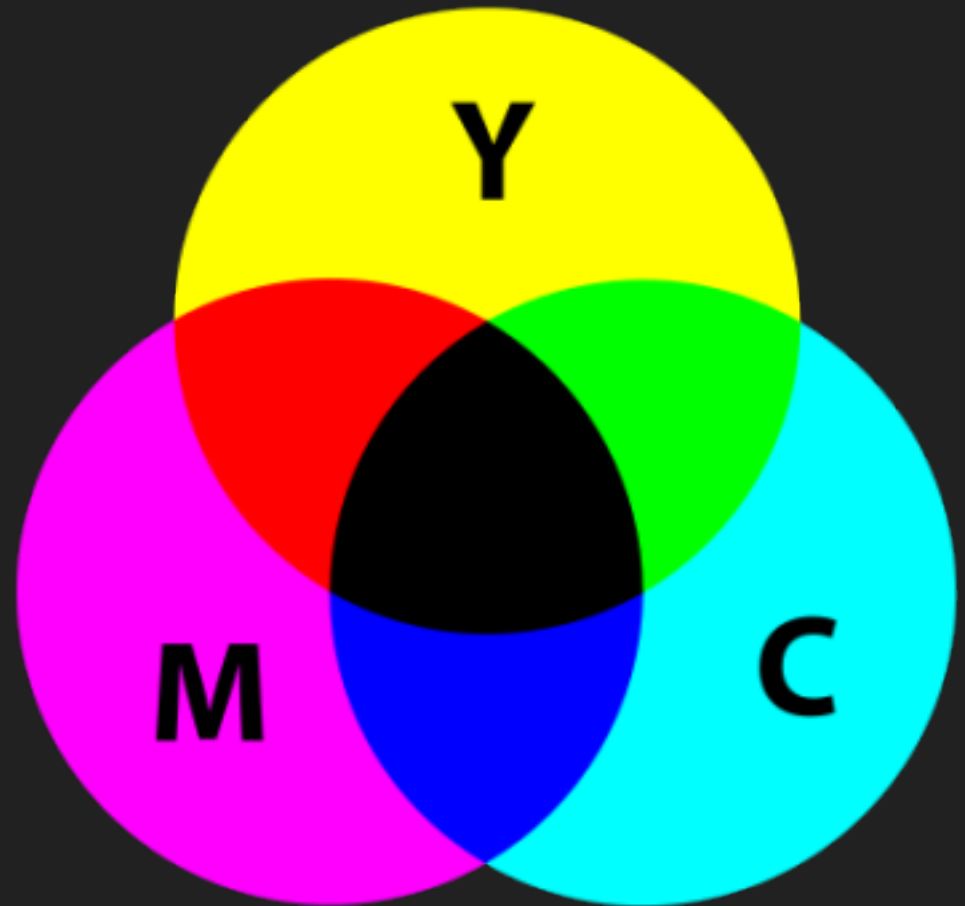
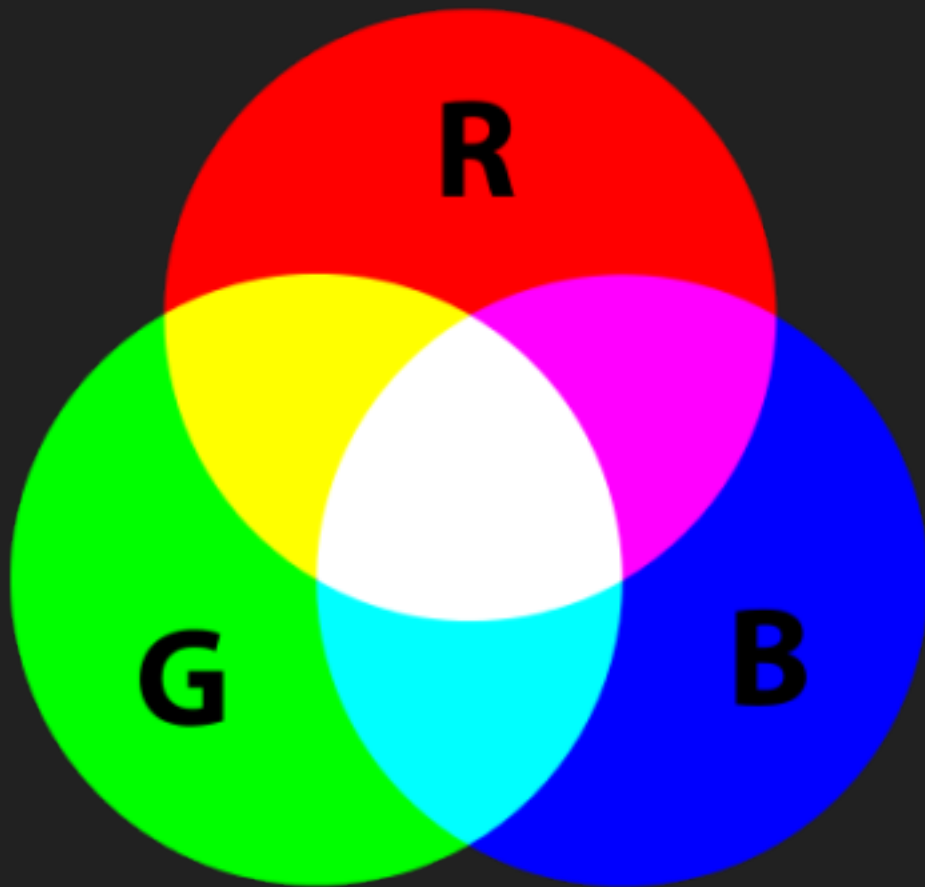
# Modelo aditivo



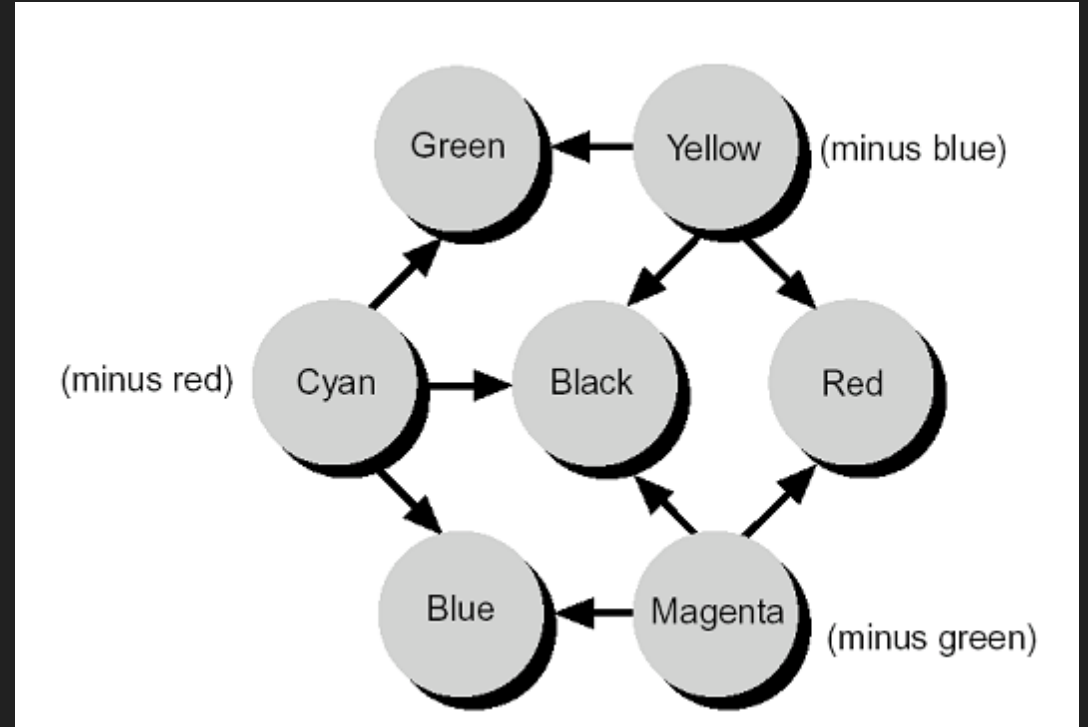
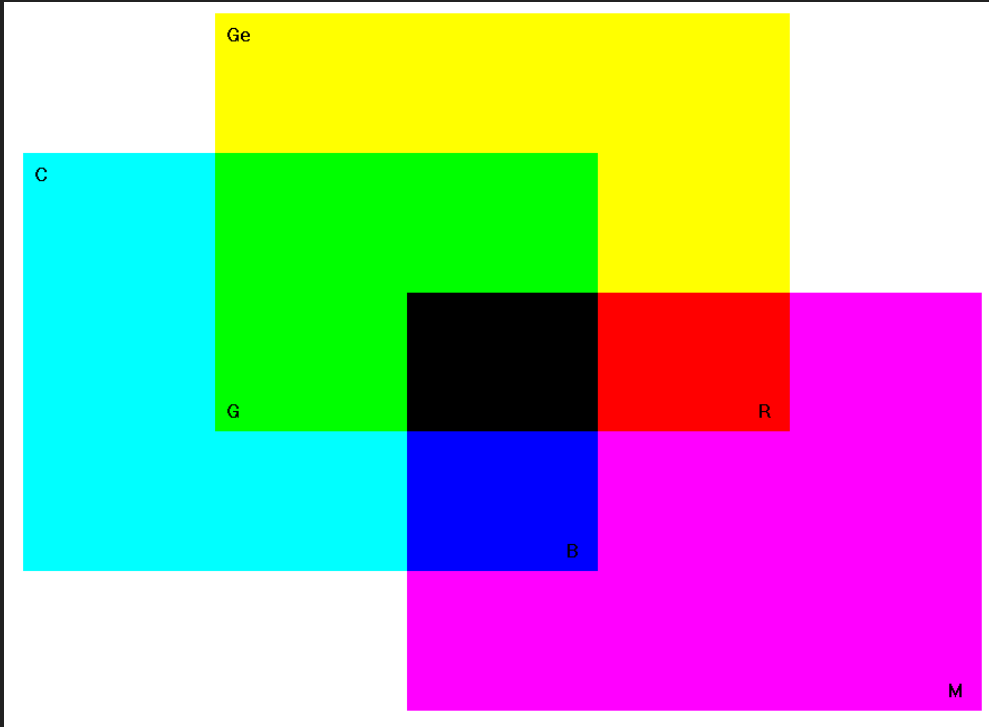
# Modelo aditivo y **substractivo**

- El modelo substractivo se utiliza en el caso contrario: cuando tenemos, por ejemplo, una hoja de papel.
- Los colores primarios en este caso son el **cian**, el **magenta** y el **amarillo**. De esta forma, la tinta **amarilla** sustrae luz **azul**, pero transmite **verde** con **rojo**.

# Modelo aditivo y substractivo



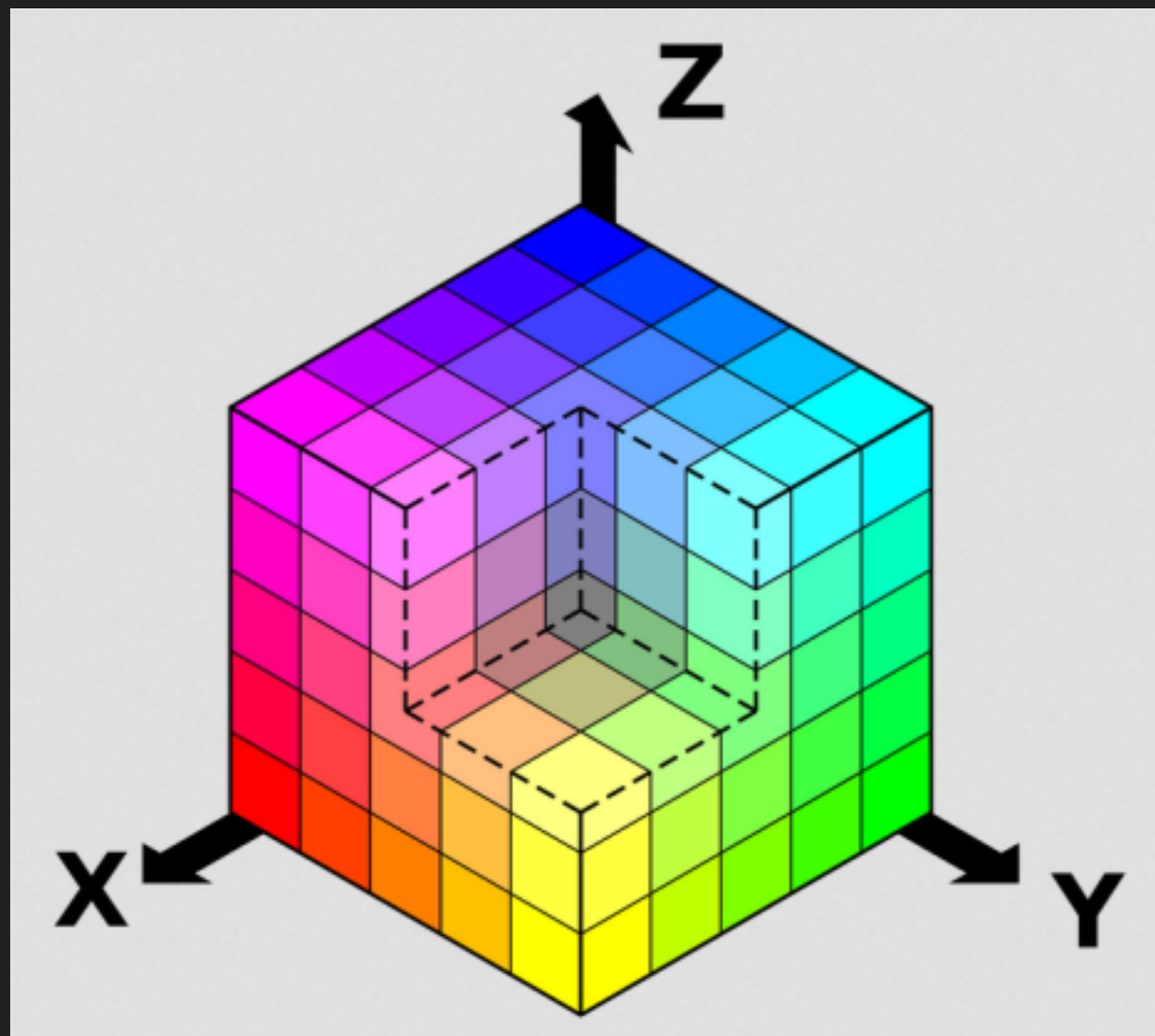
# Modelo substractivo



# Modelos aditivos: **RGB** vs. HSL

- El modelo más común utilizado por los computadores es **RGB**, al especificar los colores como triples de **rojo**, **verde** y **azul**.
- La popularidad de este modelo se basa en que es conveniente tener un sistema que genere un cierto color con los **canales inherentes al hardware**.
- Sin embargo, estos tres canales **no funcionan bien** de forma separada; por lo tanto, **no es una buena elección** en relación a nuestra percepción.





# Modelos aditivos: RGB vs. **HSL**

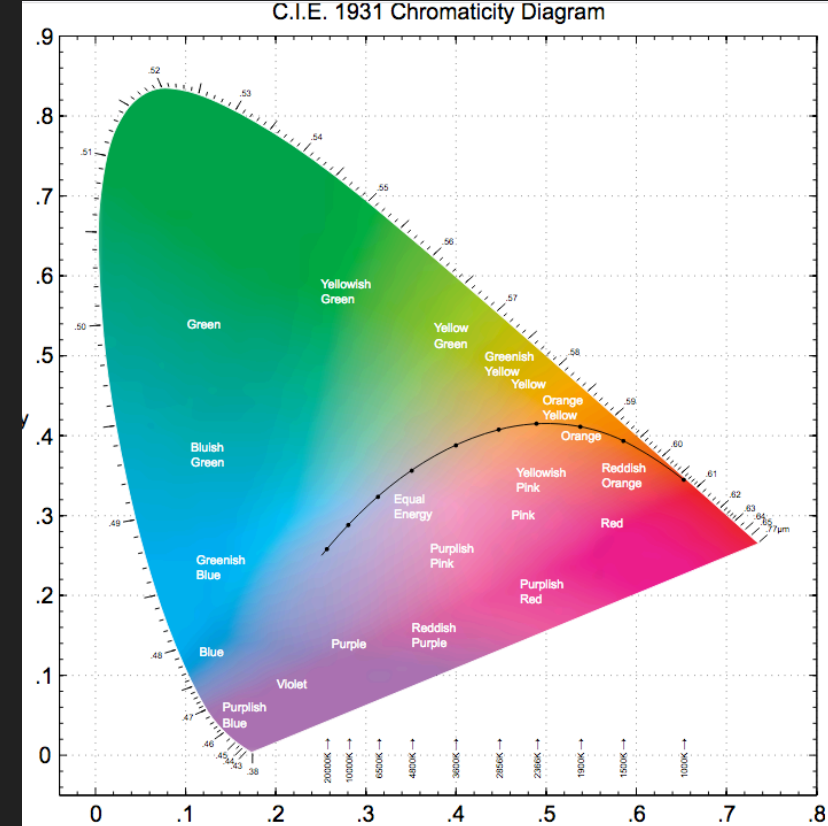
- Una alternativa al modelo RGB es el sistema **HSL**, que es más **intuitivo para nuestra percepción** y es usado fuertemente por artistas y diseñadores.
- Los tres ejes que se utilizan son **hue**, **saturation** y **lightness**:
  - El eje **hue** captura lo que normalmente conocemos como **colores puros**, dejando de lado la mezcla del **blanco** y del **negro**. Por ejemplo, **rojo**, **verde**, **azul**, **amarillo**, **púrpura**, etcétera.
  - El eje **saturation** especifica la cantidad de **blanco** que está mezclado con el color puro.
  - El eje **lightness** especifica la cantidad de **negro** que está mezclado con el color puro.



# Espacio de color CIE 1931

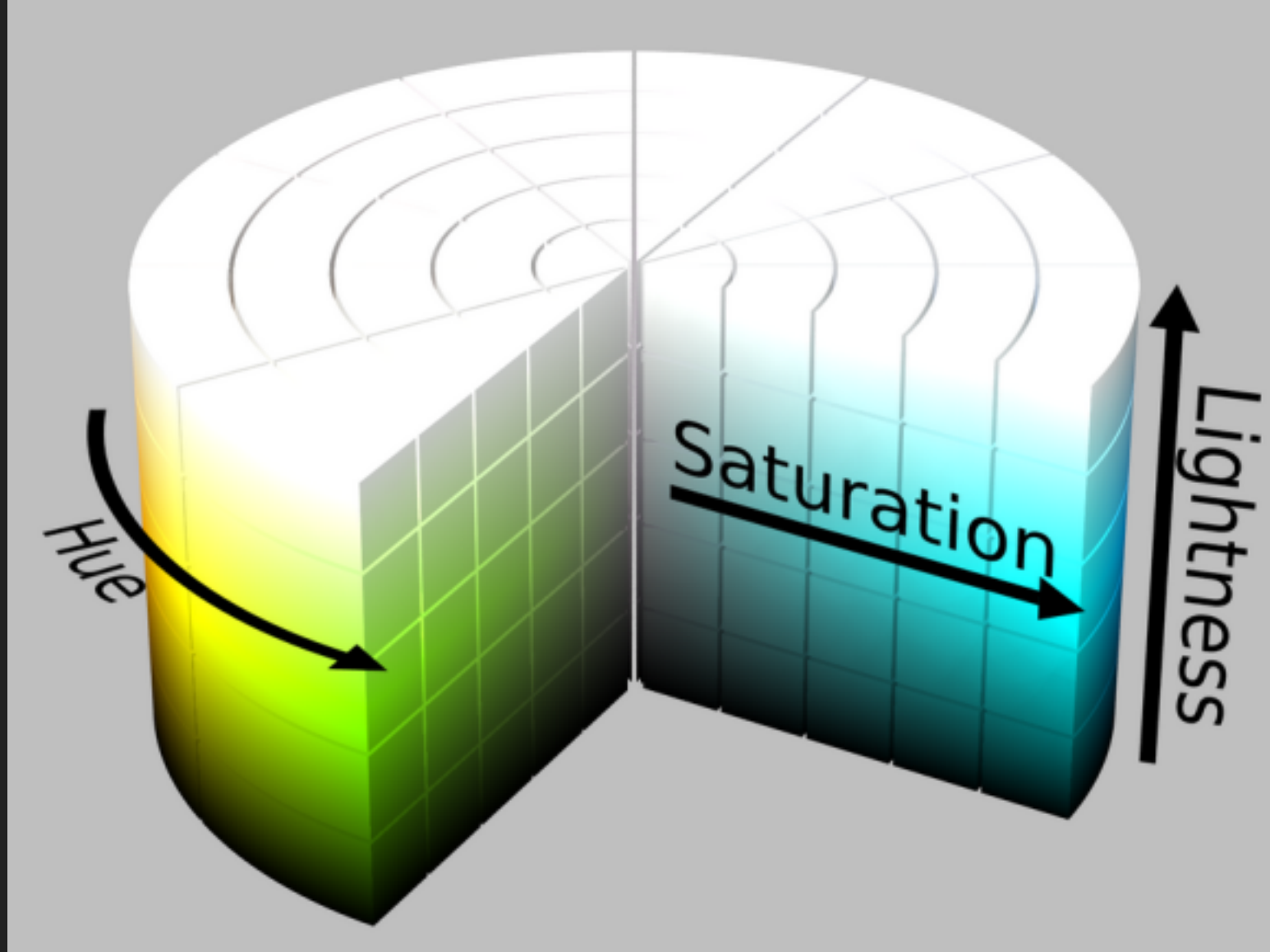
- Estándar establecido en 1931 por la Comisión Internationale de l'Éclairage (CIE)
  - En CIE, la pureza o saturación es la distancia euclidiana entre la posición del color ( x, y ) y el punto blanco sobre el plano de proyección xy de la CIE, dividido por la distancia de un color puro (monocromático o dicromático sobre la misma línea) del mismo matiz (hue)

$$p = \sqrt{\frac{(x - x_I)^2 + (y - y_I)^2}{(x - x_P)^2 + (y - y_P)^2}}$$



Ejemplo :

- 100%:** vivo o intenso (saturado)
- 75%:** fuerte o profundo
- 50%:** moderado, tierra o agrisado (semisaturado)
- 25%:** débil o semineutro
- 0% :** neutro o acromático (no saturado)



# Identidad y magnitud

- La interpretación del término *color* puede ser **confusa** en el análisis de visualizaciones, ya que a veces se utiliza como canal de **identidad** y a otras veces como canal de **magnitud**.
- Por una parte, cuando se usan los términos *hue*, *saturation* y *luminance*, estaremos hablando precisamente de tres canales **separados**: **hue es un canal de identidad**, mientras que **saturation y luminance es de magnitud**.
- Por otra parte, cuando usamos el término genérico *color*, nos estaremos refiriendo a la **percepción integral** de estos tres canales en sólo uno, que debe ser analizado como un canal de **identidad**.

# Identidad y magnitud

Luminance



Saturation



Hue



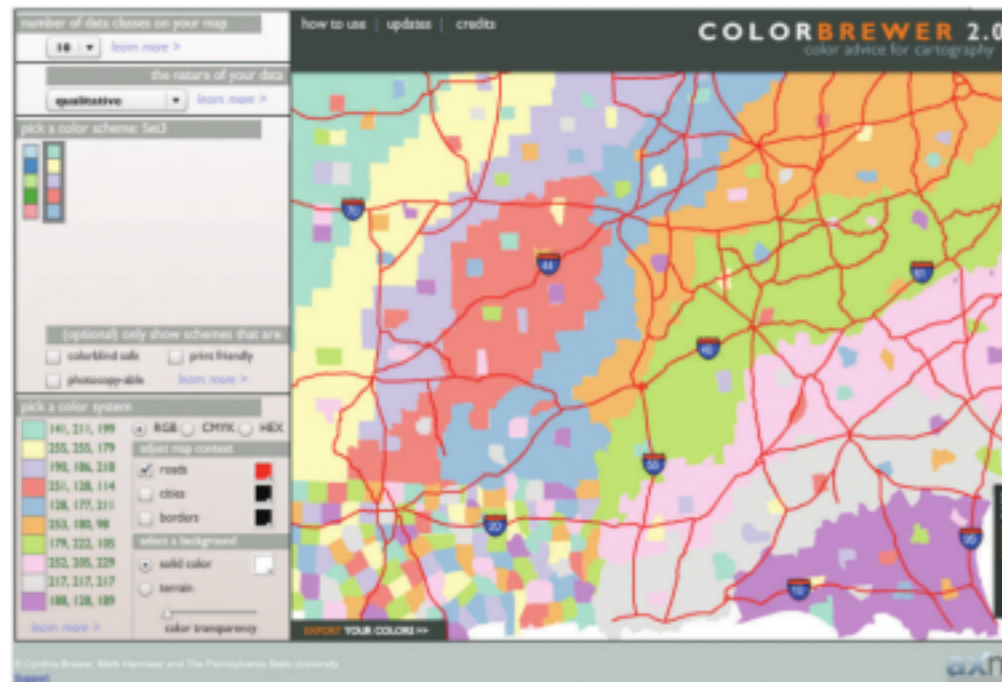
# Identidad y magnitud

- Los canales de magnitud, *luminance* y *saturation*, son apropiados para los tipos de datos **ordenados**.
- Sin embargo, en ambos, por las distorsiones estudiadas en las clases anteriores, se debe tener cuidado con usar **valores cercanos en regiones no contiguas**. Esto se debe a que nuestro cerebro no percibe las diferencias con exactitud, por causa de los efectos del **contraste**.

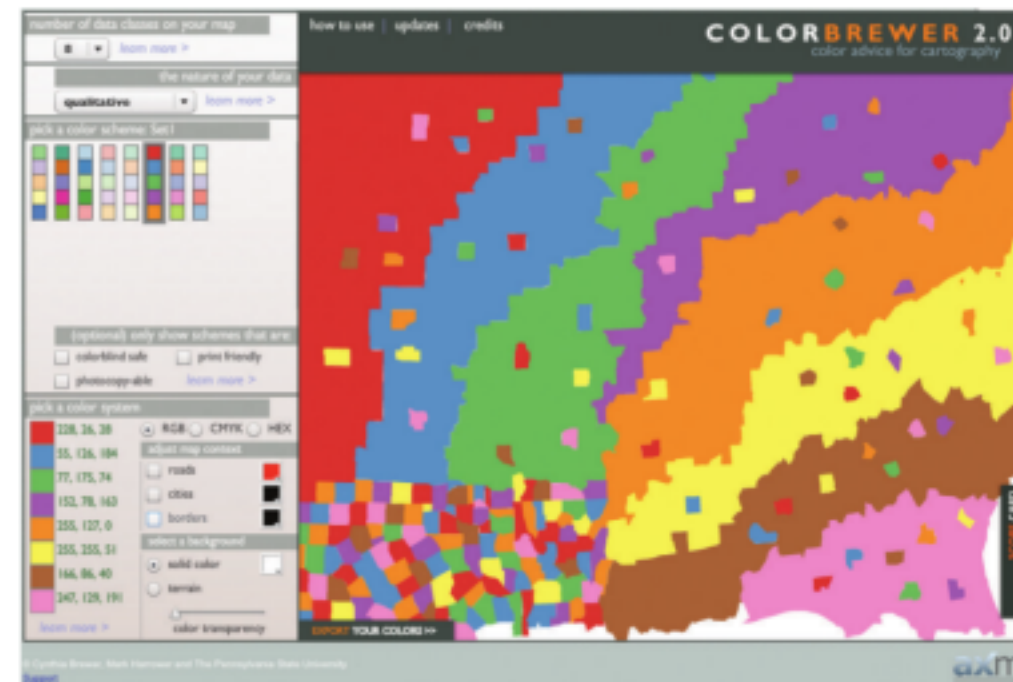
# Identidad y magnitud (*saturation*)

- Asimismo, para regiones pequeñas, se deben utilizar colores **brillantes** y con **alta saturación** para asegurarse que la codificación sea distinguible.
- Por otra parte, para regiones extensas, el consejo es el opuesto: colores de **baja saturación** (*i.e.* colores pasteles).

# Identidad y magnitud (*saturation*)



(a)

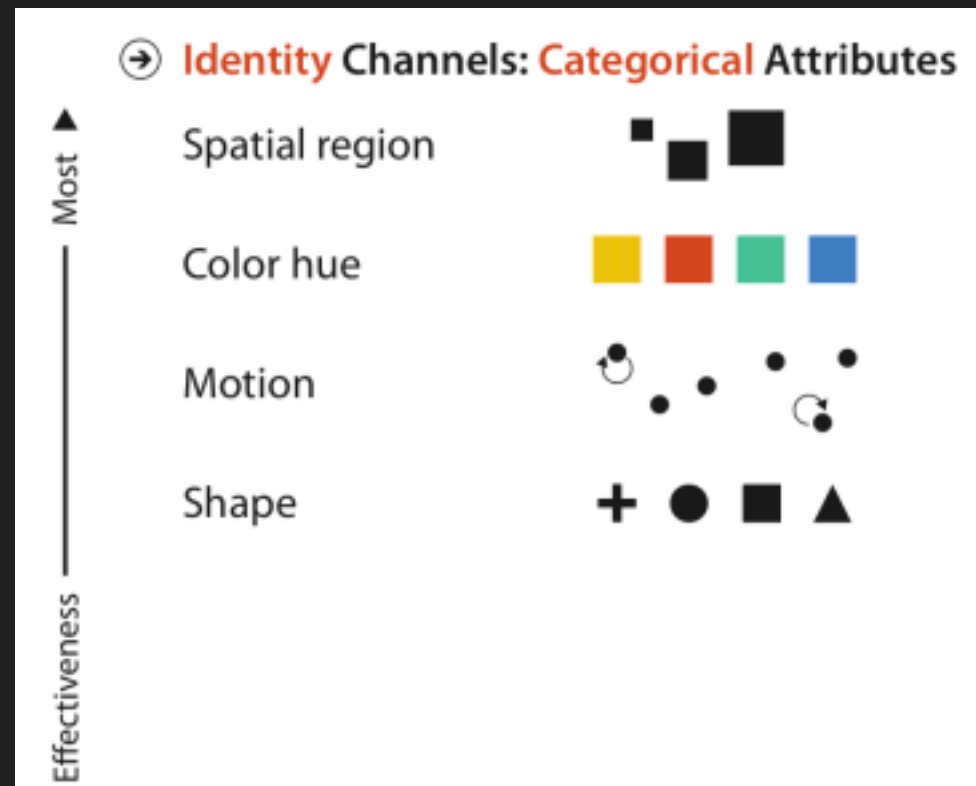


(b)

**Figure 10.7.** Saturation and area. (a) The ten-element low-saturation map works well with large areas. (b) The eight-element high-saturation map would be better suited for small regions and works poorly for these large areas. Made with ColorBrewer, <http://www.colorbrewer2.org>.

# Identidad y magnitud (*hue*)

- El *hue* es extremadamente efectivo para **datos categóricos**: recordemos que, en el ránking de canales, tiene el **segundo puesto** para este tipo de datos.





# Identidad y magnitud (*hue*)

- El *hue*, al igual que con la saturación, presenta algunas **dificultades** en su interacción con el canal del **tamaño**, puesto que cuesta más distinguirlo en regiones pequeñas que en regiones extensas.
- De forma análoga, en regiones separadas, existe una baja **discriminación** de valores de *hue*: este número está entre seis o siete *bins*.
- A diferencia de *luminance* y *saturation*, el *hue* no tiene un orden implícito.
  - Es posible ordenar fácilmente por luminance: e.g. colocar un gris entre el blanco y el negro.
  - Ocurre lo mismo con la saturación: e.g. colocar un rosado entre un rojo saturado y un blanco casi sin saturación.

# Opacidad

- Un cuarto canal, altamente relacionado con los otros tres, es el *transparency*.
- La información puede ser codificada al disminuir la **opacidad**, desde una marca completamente opaca hasta una marca transparente.
- Sin embargo, este canal **no** puede ser utilizado de forma independiente de los otros tres, ya que **tiene una interacción muy fuerte** con ellos.
  - En particular, el *transparency* interactúa con el *luminance* y el *saturation*, por lo que (casi) **nunca debería ser usado** en conjunto con ellos.
  - Pero **sí puede ser aplicado** junto al *hue*, con un número pequeño de **steps discriminables**: probablemente, dos o tres.
- Este canal se utiliza, generalmente, cuando existen **layers superpuestos**, para lograr una forma de **distinguirlos**.

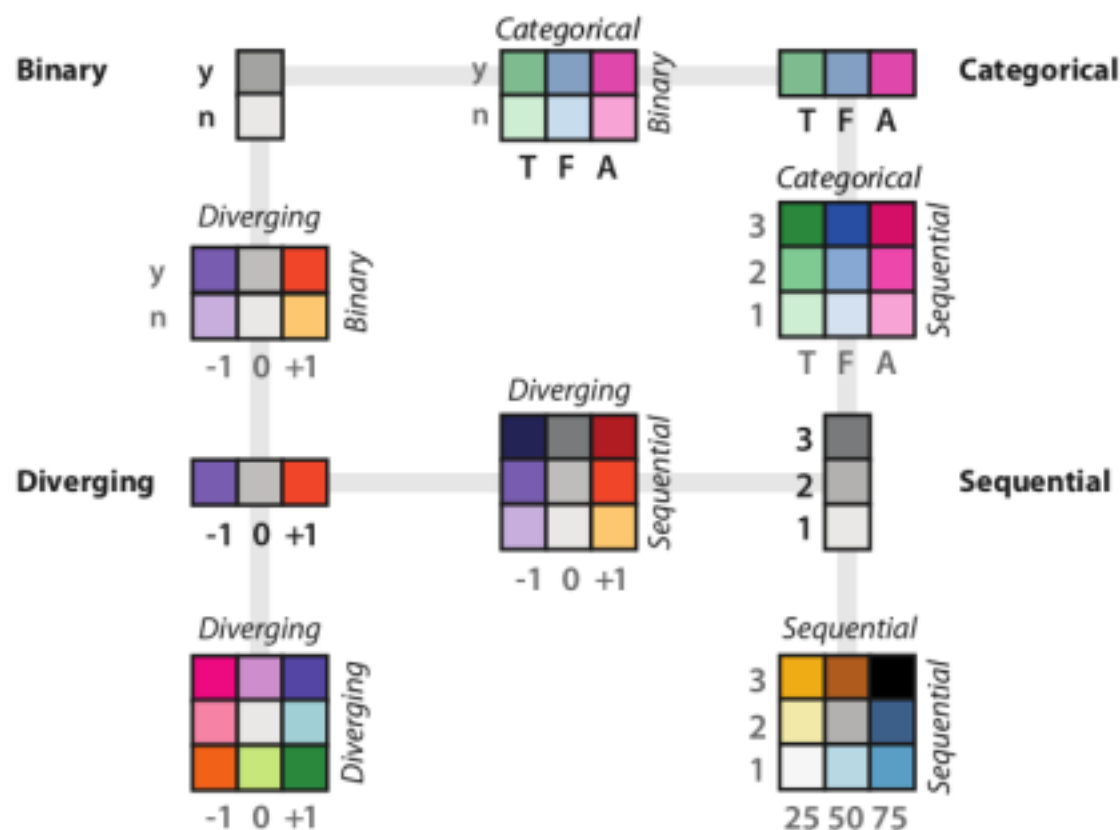
# Colormaps

- Un *colormap* especifica un mapeo entre colores y valores de datos; esto es, en otras palabras, una codificación visual usando el color.
- Los *colormaps* pueden ser **categoricos** u **ordenados**, y estos, a su vez, pueden ser **secuenciales** o **divergentes**.

# Colormaps

- El uso del color para codificar datos es una decisión de diseño **poderosa** y **flexible**, pero hay que ser cuidadoso al momento de elegir el *colormap*.
- Por esta razón, es importante hacer el *match* entre el *colormap* y las características de los datos. Por ejemplo, los *colormaps* para datos **ordenados** utilizan canales de magnitud como el *luminance* y el *saturation*.
- Además, los *colormaps* pueden estar en un rango **continuo** de valores o pueden estar **segmentados en bins discretos** de color.

# Colormaps



**Figure 10.6.** The colormap categorization partially mirrors the data types: categorical versus ordered, and sequential and diverging within ordered. Bivariate encodings of two separate attributes at once is safe if one has only two levels, but they can be difficult to interpret when both attributes have multiple levels. After [Brewer 99].

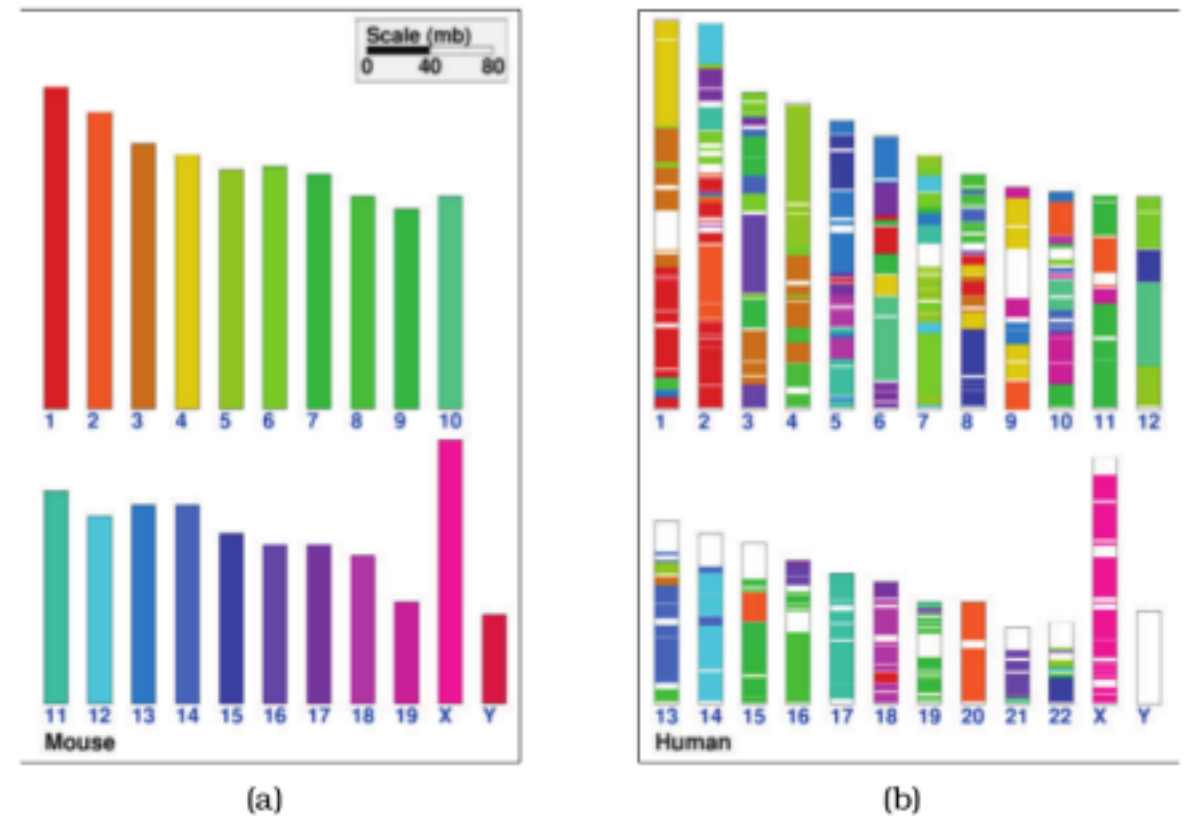
# Colormaps categóricos

- Un *colormap* categórico usa el color para codificar **categorías y grupos**, siendo generalmente utilizados de manera segmentada.
- Estos pueden ser aplicados de forma altamente efectiva, mientras sean usados de forma apropiada.
- Los *colormaps* categóricos son diseñados usando el color como un canal de **identidad integral** para codificar un único atributo, en vez de codificar tres atributos con los tres canales mencionados: *hue*, *saturation* y *luminance*.

# Colormaps categóricos

- Los colores deben tener colores *nombrables*: tanto para *memorizarlos*, como para poder *discutirlos con palabras*.
- Además, el número de colores discriminables para codificar regiones separadas está *limitado entre 6 y 12 bins*.
- Ejemplos:
  - { rojo, azul, verde, amarillo }
  - Y si se necesitan más... { naranja, café, rosado, magenta, púrpura, cian }

# Colormaps categóricos (ejemplo)



**Figure 10.8.** Ineffective categorical colormap use. (a) The 21 colors used as an index for each mouse chromosome can indeed be distinguished in large regions next to each other. (b) In noncontiguous small regions only about 12 bins of color can be distinguished from each other, so a lot of information about how regions in the mouse genome map to the human genome is lost. From [Sinha and Meller 07, Figure 2].



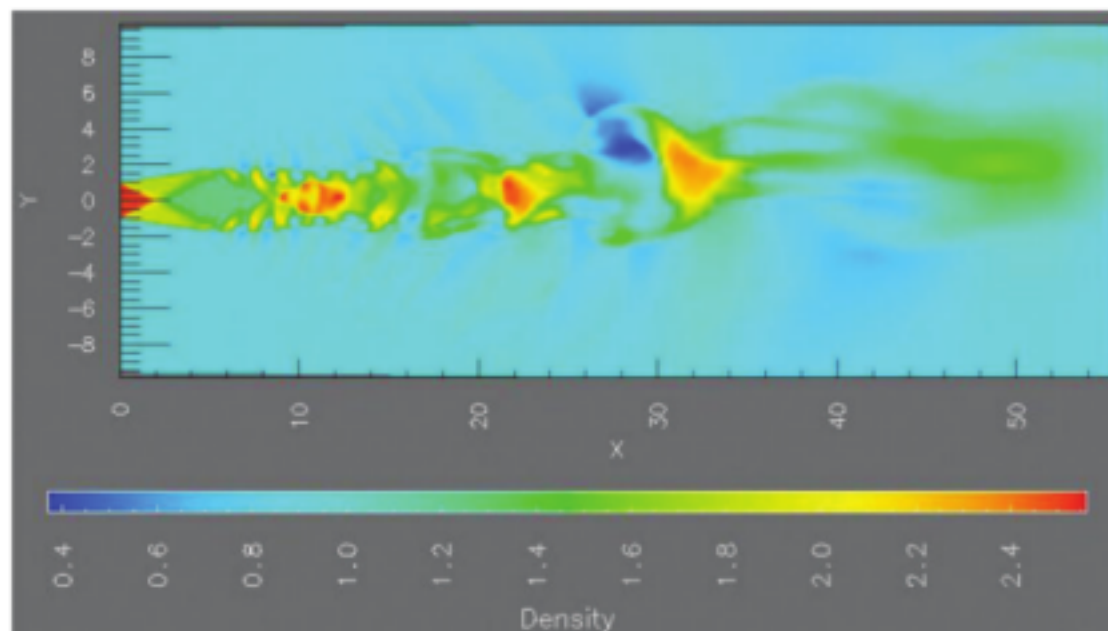
# Colormaps ordenados

- Un *colormap* ordenado es apropiado para codificar atributos **ordinales** o **cuantitativos**.
- Las dos principales variantes son: **secuenciales** y **divergentes**.
- Estos *colormaps* continuos deben hacer *match*, según el tipo de atributo.

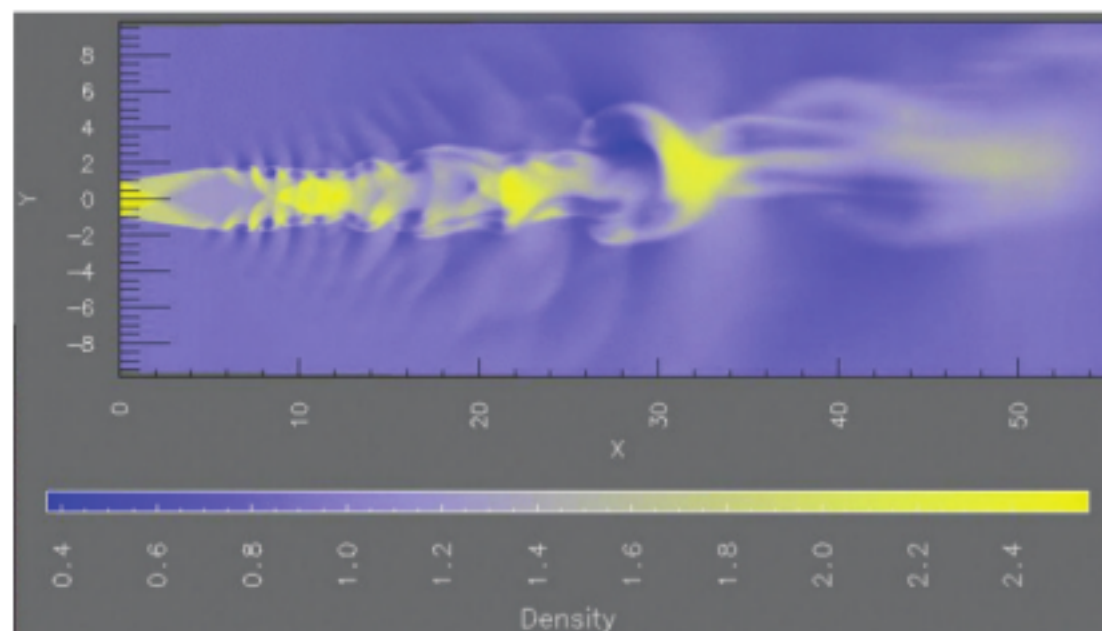
# Colormaps ordenados

- Un *colormap* ordenado es apropiado para codificar atributos **ordinales** o **cuantitativos**.
- Las dos principales variantes son: **secuenciales** y **divergentes**.
- Estos *colormaps* continuos deben hacer *match*, según el tipo de atributo.
  - Los secuenciales van desde un valor mínimo a un valor máximo:
  - Los divergentes tienen dos *hues* en los extremos, con un color neutro (e.g. blanco, gris, negro, o incluso un color de altísima luminosidad como el **amarillo**) en el punto medio.

# Rainbow colormaps



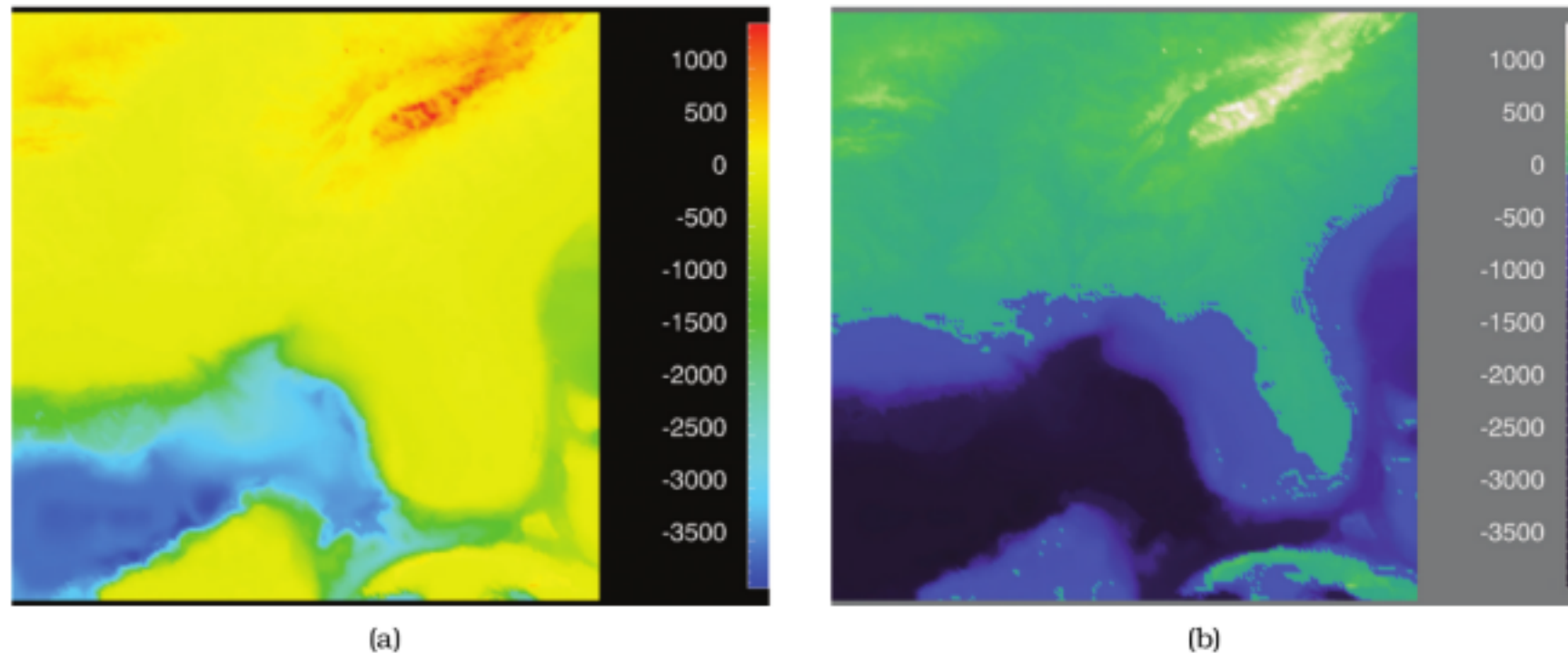
(a)



(b)

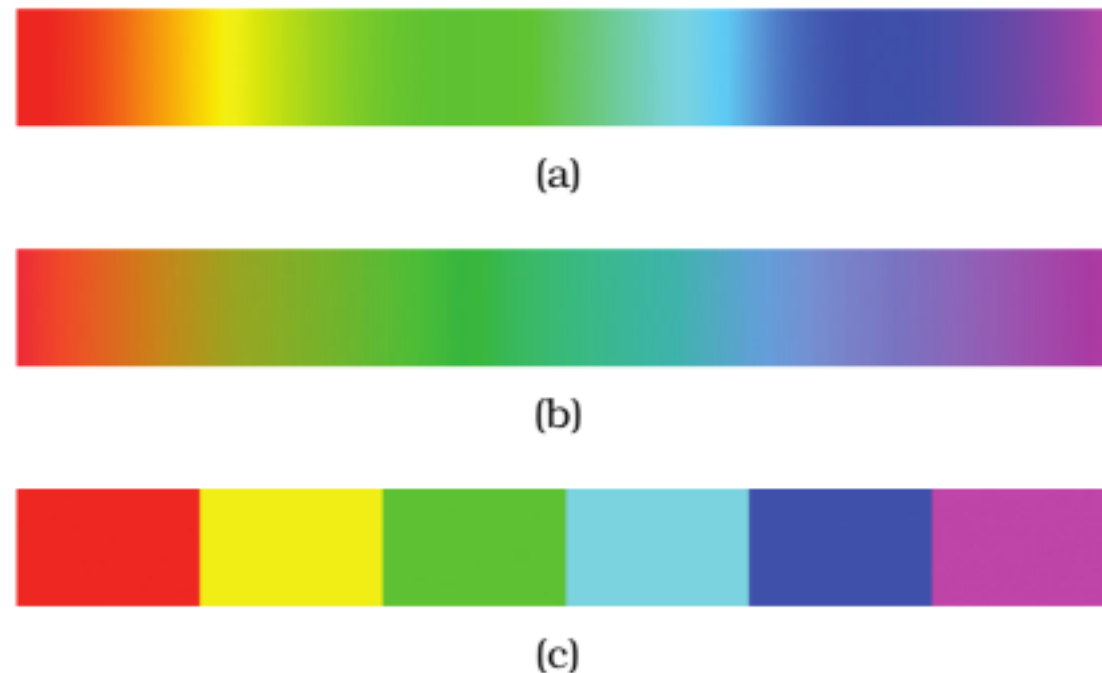
**Figure 10.11.** Rainbow versus two-hue continuous colormap. (a) Using many hues, as in this rainbow colormap, emphasizes mid-scale structure. (b) Using only two hues, the blue–yellow colormap emphasizes large-scale structure. From [Bergman et al. 95, Figures 1 and 2].

# Rainbow colormaps (II)



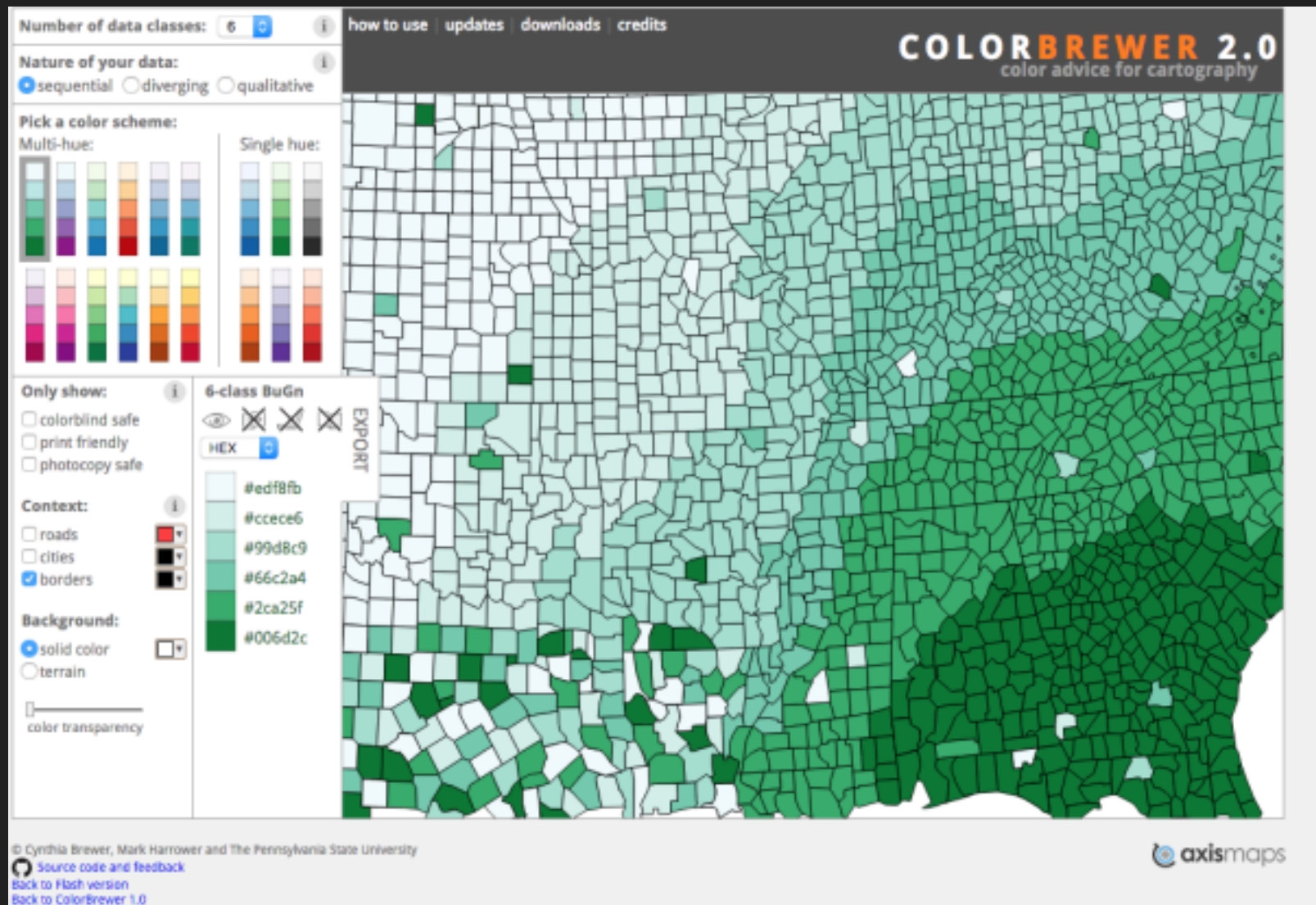
**Figure 10.12.** Rainbow versus multiple-hue continuous colormap with monotonically increasing luminance. (a) Three major problems with the common continuous rainbow colormap are perceptual nonlinearity, the expressivity mismatch of using hue for ordering, and the accuracy mismatch of using hue for fine-grained detail. (b) A colormap that combines monotonically increasing luminance with multiple hues for semantic categories, with a clear segmentation at the zero point, succeeds in showing high-level, mid-level, and low-level structure. From [Rogowitz and Treinish 98, Figure 1].

## *Rainbow colormaps (III)*



**Figure 10.13.** Appropriate use of rainbows. (a) The standard rainbow colormap is perceptually nonlinear. (b) Perceptually linear rainbows are possible [Kindlmann 02], but they are less bright with a decreased dynamic range. (c) Segmented rainbows work well for categorical data when the number of categories is small.

# ¡Ojo con el daltonismo! (Color Brewer)



# Referencias

- *Tamara Munzner -- VAD*
- *Arizona State University*
- *Cynthia Brewer*