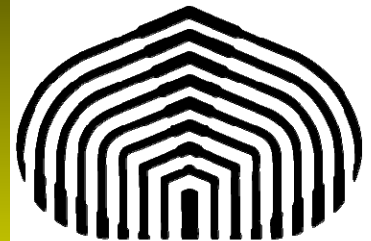


Modelos del Color

Capítulo 11 de Foley
Capítulos 2 y 7 de Angel

Prof. Eduardo Fernández



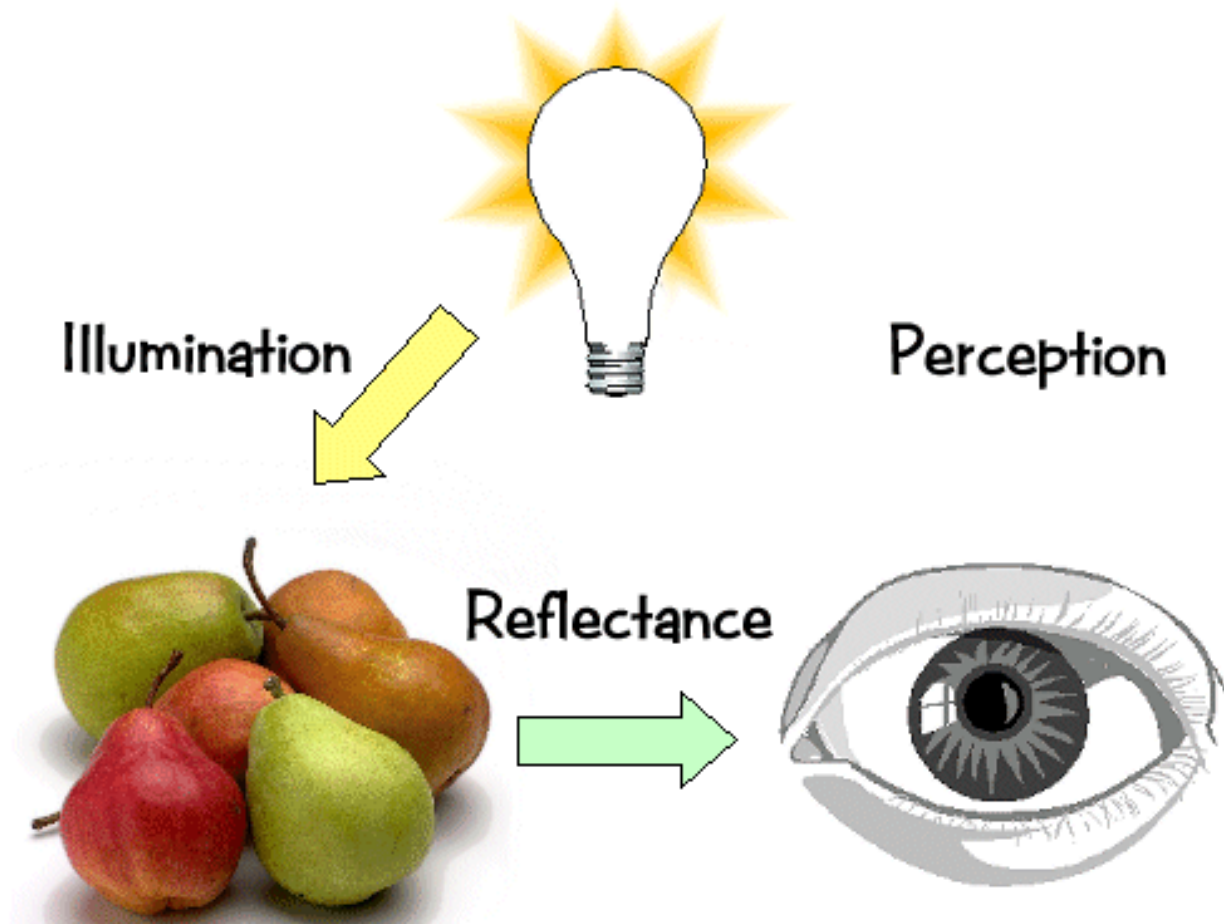
Universidad
Simón Bolívar

Introducción y Motivación



- Unas cuantas sombras mejoran notablemente la apariencia de un objeto. Por tanto hay que resolver el problema de cómo generar variedad de grises y de tonalidades en los dispositivos gráficos.
- El tema del color mezcla conceptos físicos, fisiológicos, psicológicos, de arte y diseño gráfico.
 - Todos los objetos hacen algunas de estas cosas: emitir luz, reflejar y/o transmitir luz.
 - El color de un objeto depende del propio objeto, de la luz incidente, de las áreas que lo rodean y del sistema visual humano.

Introducción y Motivación



Luz Acromática



- **La luz acromática** es la que se emite en un monitor blanco y negro o la que se refleja de un papel blanco impreso con tinta negra (único atributo es la cantidad o intensidad de luz).
- En general se establece la correspondencia del 0 con el negro, el 1 con el blanco, los grises con valores intermedios.
- Los televisores permiten desplegar una gran variedad de intensidades por píxel, las impresoras en general no lo hacen y hay que buscar métodos alternativos para lograr efectos similares.

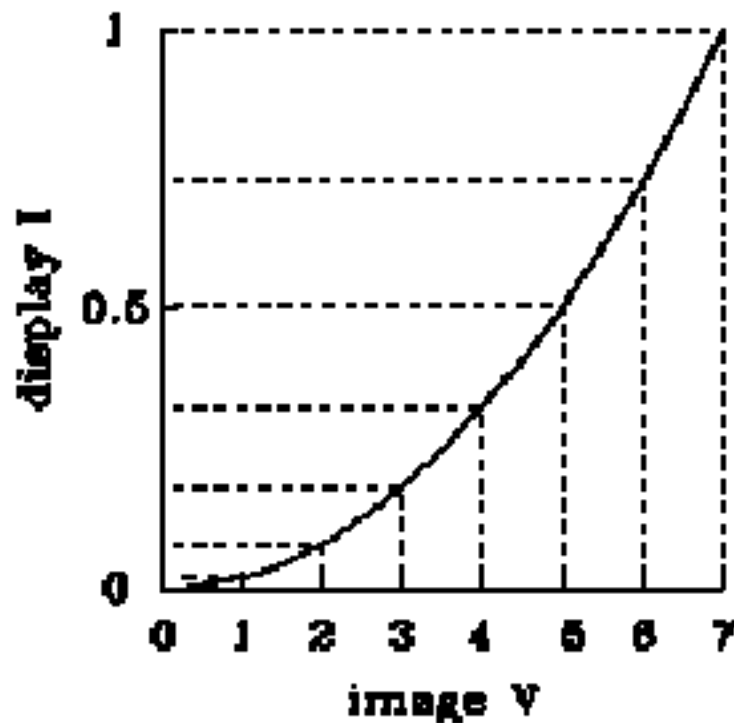
Selección de Intensidades



- El ojo humano es más sensible a cocientes de niveles de intensidad que a valores absolutos.
- Para el ojo humano la distancia entre las intensidades 0.1 y 0.11 es la misma que entre 0.5 y 0.55, dado que:
 - $0.5/0.55 = 0.1/0.11$
- Una secuencia creciente de intensidades de luz que parezcan equiespaciadas para el ojo humano se espacian logarítmicamente y no linealmente desde el punto de vista numérico.
 - 0.1, 0.11, 0.121, 0.1331, 1.4641, ...
 - $0.11/0.1 = 0.121/0.11 = 0.1331/0.121 = \dots$

Selección de Intensidades

- El ojo humano es más sensible a cocientes de niveles de intensidad que a valores absolutos.



Selección de Intensidades



- La intensidad más oscura que se puede lograr en un dispositivo (monitor apagado, papel impreso con tinta negra) la llamamos I_0 . Esta no es 0, dado que el monitor no tiene un color negro perfecto.
- Para encontrar 256 intensidades equiespaciadas comenzando por I_0 y llegando hasta 1, se hace:

$$I_0 = I_0, I_1 = rI_0, I_2 = rI_1 = r^2I_0, \dots, I_{255} = r^{255}I_0 = 1$$

- Por tanto:

$$r = (1/I_0)^{1/255}$$

$$I_j = I_0^{(255-j)/255} \quad \text{para } 0 \leq j \leq 255$$

- O, para $n+1$ intensidades:

$$r = (1/I_0)^{1/n}, I_j = I_0^{(n-j)/n} \quad \text{para } 0 \leq j \leq n$$

Selección de Intensidades



- En un CRT I_0 tiene un valor entre 1/40 y 1/200 .
- No es 0 porque la pantalla no es 100% negra.
- Intervalo dinámico = $I_{max}/I_0 = 1/I_0$
- Pasar de las ecuaciones anteriores a una pantalla no es fácil, por las no-linealidades del CRT. Para superar las dificultades se utiliza **la corrección gama**.
- Para que haya continuidad de las intensidades que puede percibir el ojo humano $r \leq 1.01$

Tabla: Intervalo dinámico $1/I_0$ y número de intensidades requeridas $n = \log_{1.01}(1/I_0)$



<i>Medio de Presentación</i>	<i>Intervalo dinámico típico</i>	<i>Número de Intensidades, n</i>
CRT	50-200	400-530
Impresiones fotográficas	100	465
Diapositivas fotográficas	1000	700
Papel revestido impreso en B/N	100	465
Papel revestido impreso en color	50	400
Papel periódico impreso en B/N	10	234

256 intensidades y 2 intensidades



(a) Normal gray scale image
(8 bits per pixel)



(b) Simple fixed thresholding
($\tau = 0.5$)

2 intensidades y 4 intensidades



8 intensidades y 32 intensidades



128 intensidades y 256 intensidades

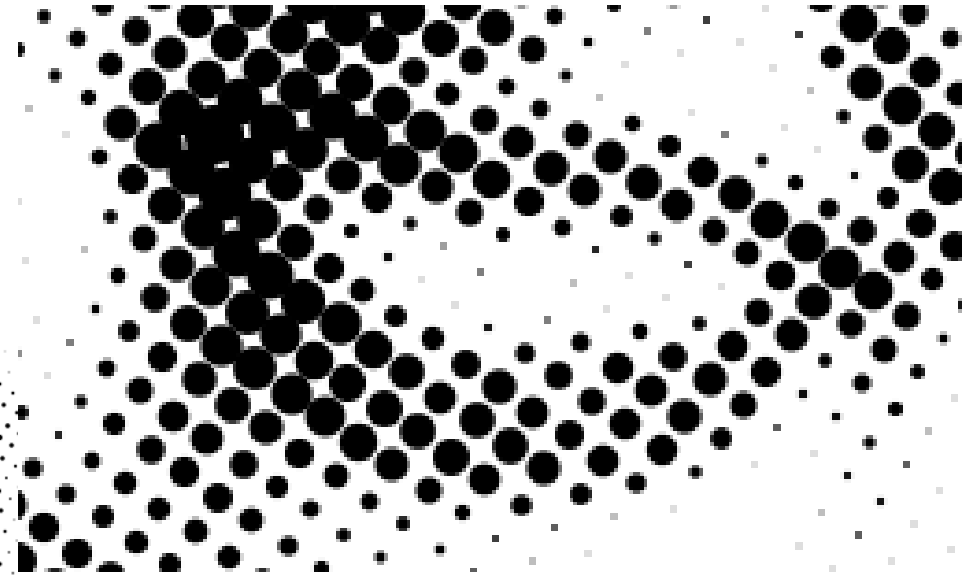


Aproximación por medios tonos



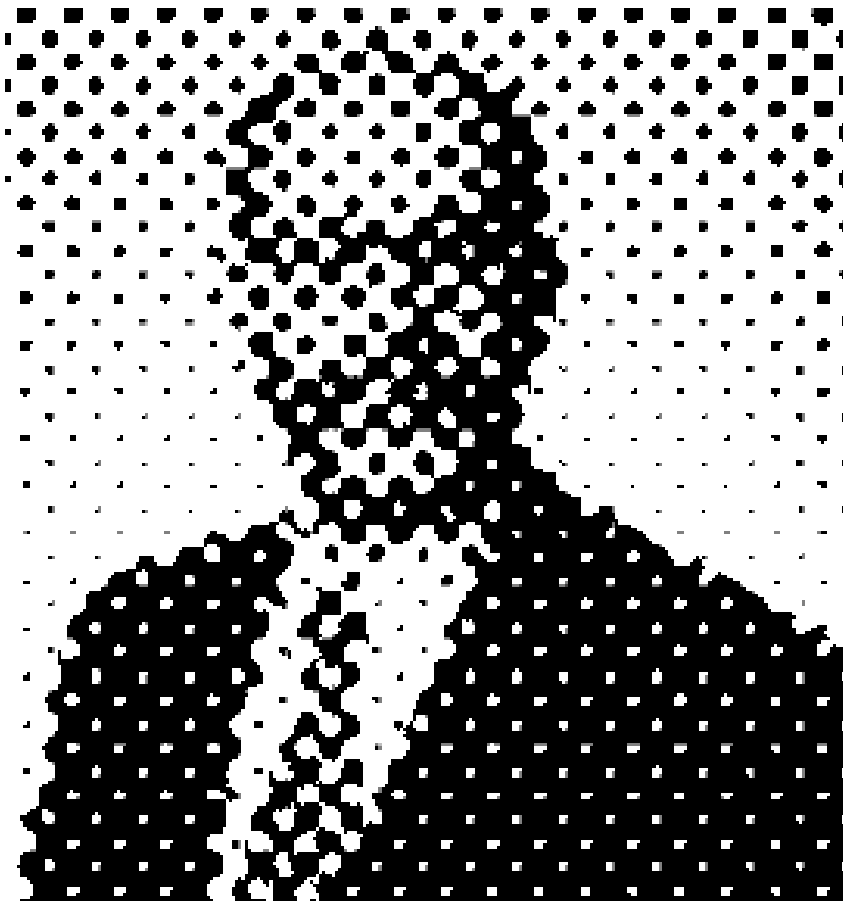
- El ojo tiene la propiedad de integración espacial:
 - Si se ve un área pequeña a una distancia suficientemente grande, nuestros ojos promedian el detalle fino dentro del área pequeña y registran únicamente la intensidad global del área.
- Esto se aprovecha en las imprentas profesionales para la impresión de fotografías b/n de periódicos, revistas y libros.
- Cada unidad de resolución se imprime como un círculo de tinta negra cuya área es proporcional a la negrura $1-I$ (donde I = intensidad) del área de la fotografía original.

Aproximación por medios tonos

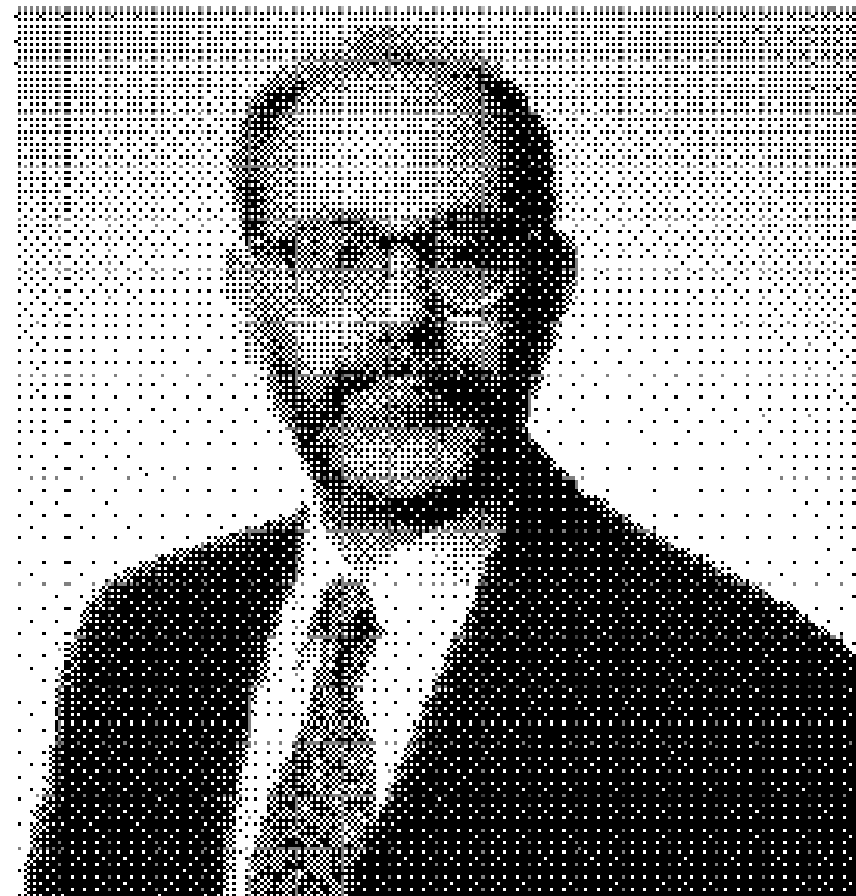


El ojo, con su capacidad de integración, no ve los puntos aislados. Ve la figura general, y quizá ni siquiera se de cuenta de sus elementos constituyentes.

Aproximación por medios tonos



(c) Clustered-dot ordered
(129 gray levels)



(d) Dispersed-dot ordered (Bayer's)
(256 gray levels)

Conceptos iniciales (percepción)



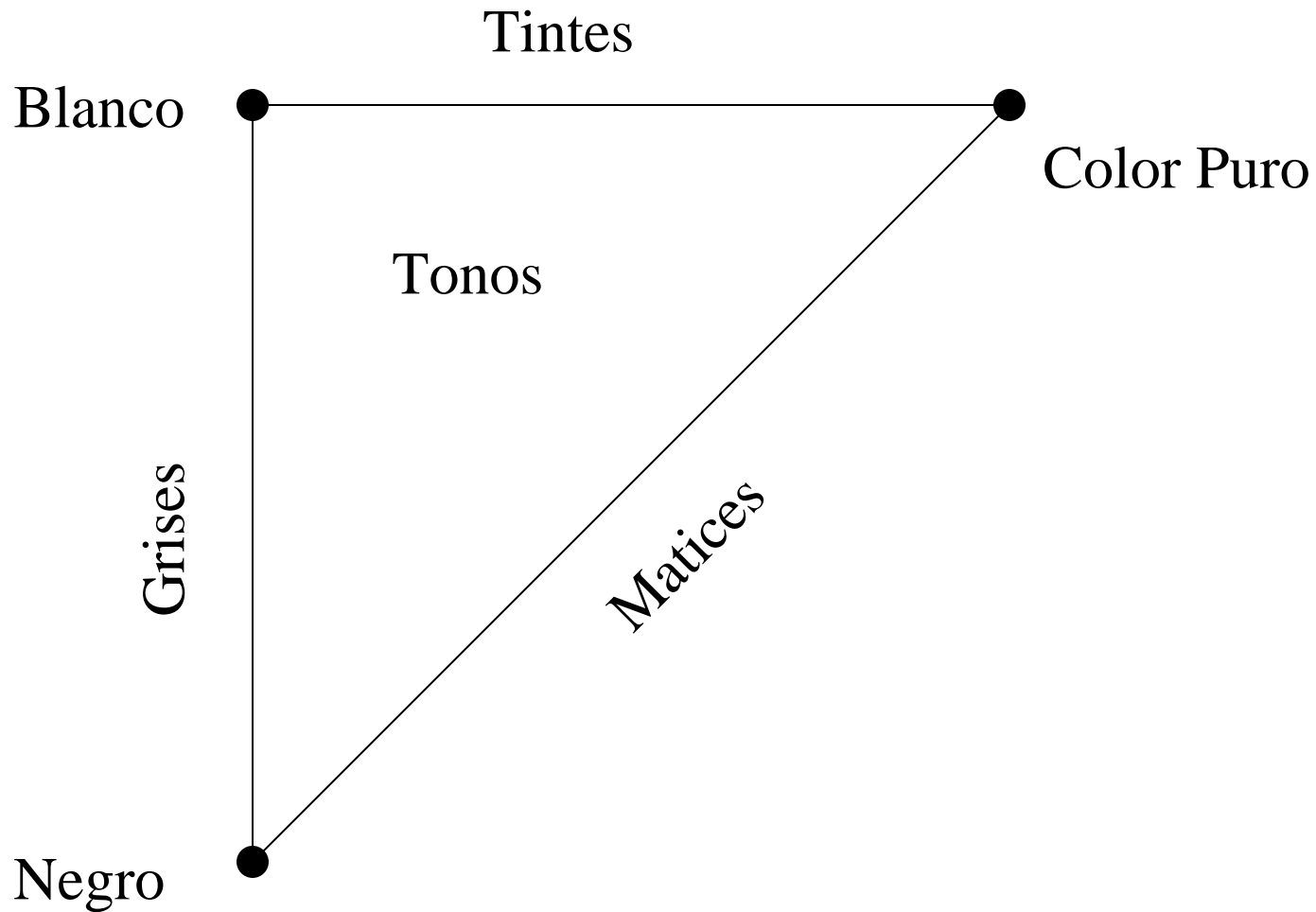
- **Tinte:** distinción entre colores (rojo, verde, violeta, etc.)
- **Saturación:** distancia entre un color y el gris de la misma intensidad. Por ejemplo: el rojo tiene mucha saturación y el rosa tiene poca, porque el rojo está más alejado del gris de la misma intensidad que el rosa.
- **Claridad:** intensidad percibida de un objeto que refleja luz.
- **Brillantez:** intensidad percibida de un objeto que emite luz.

Conceptos iniciales (pintores)



- A diferencia de los conceptos de la transparencia anterior, estos surgen de la jerga de los pintores, los cuales tienen experiencia de cientos de años en el tratamiento del color, a partir de las mezclas de componentes químicos.
- Se obtiene una **tinta**: al añadir un pigmento blanco a un pigmento puro (disminuye la saturación).
- Se obtiene un **matiz**: al añadir un pigmento negro a un pigmento puro (disminuye la claridad).
- Se obtiene un **tono**: al añadir pigmentos blancos y negros a un pigmento puro.
- Si se mezclan solo pigmentos blanco y negro, se crean grises.

Conceptos iniciales (pintores)



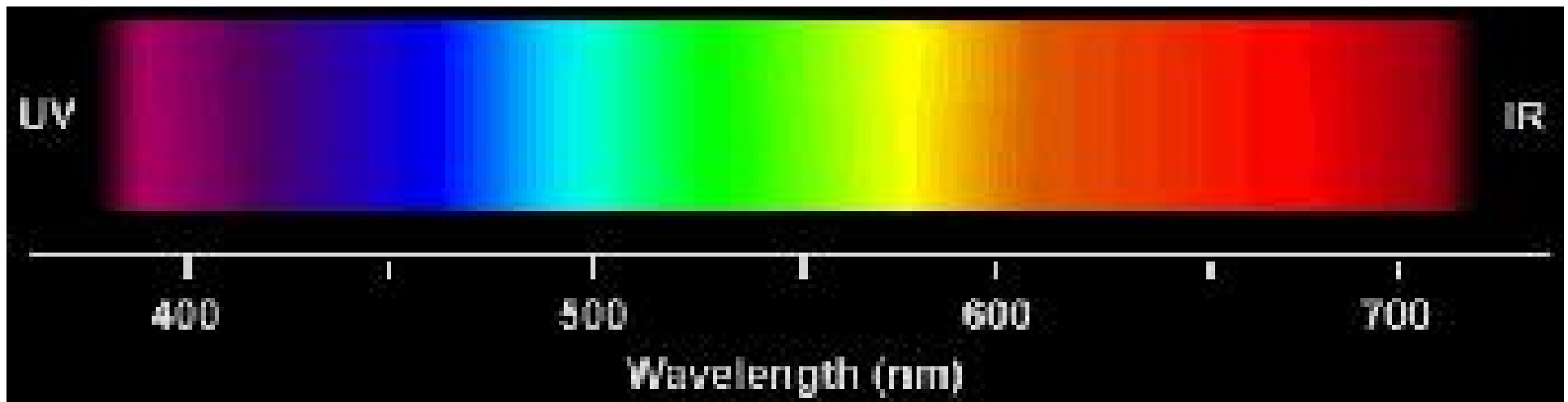
Conceptos iniciales



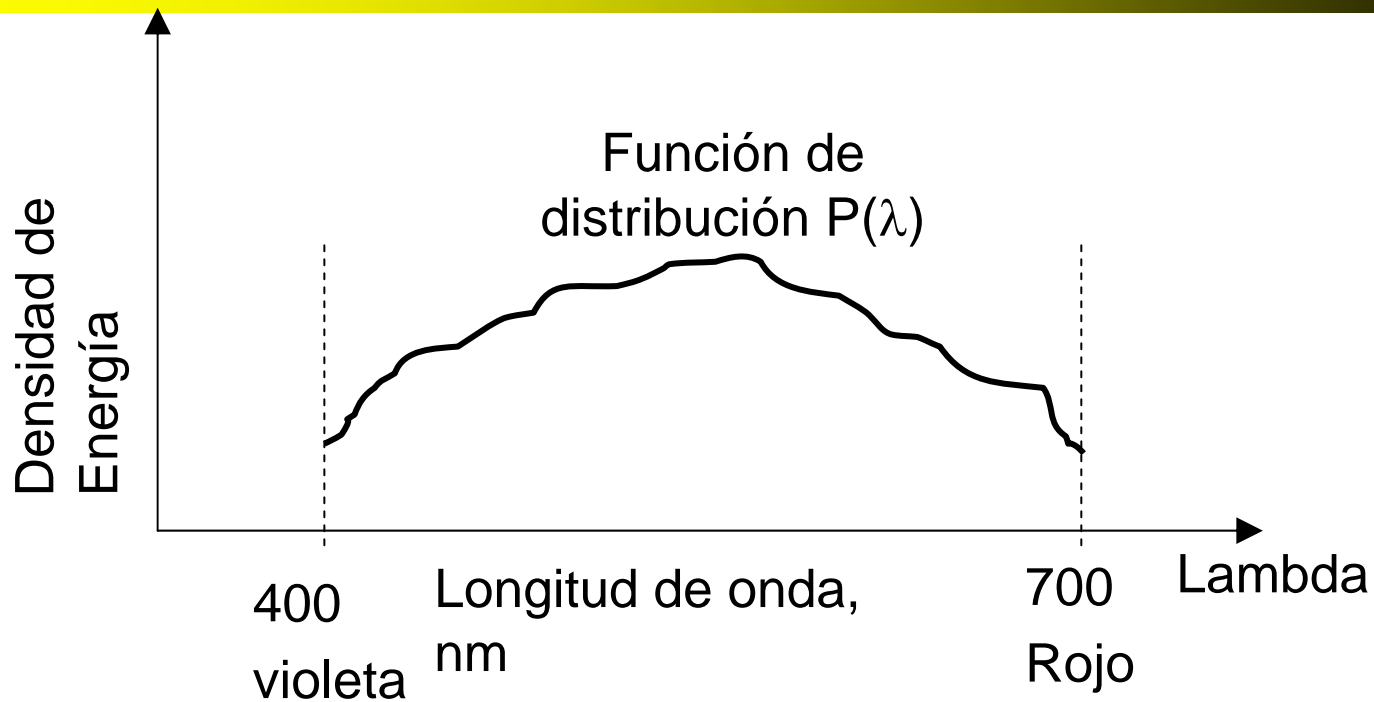
- **Longitud de onda dominante:** es la longitud de onda del color que “vemos”, y es el equivalente al Tinte
- **Pureza de excitación** es el equivalente a Saturación
- **Luminancia** es la cantidad o intensidad de luz, y se corresponde con Claridad y Brillantez

Espectro visible de la luz

- La longitud de onda del espectro visible de la luz se mide en nanómetros.

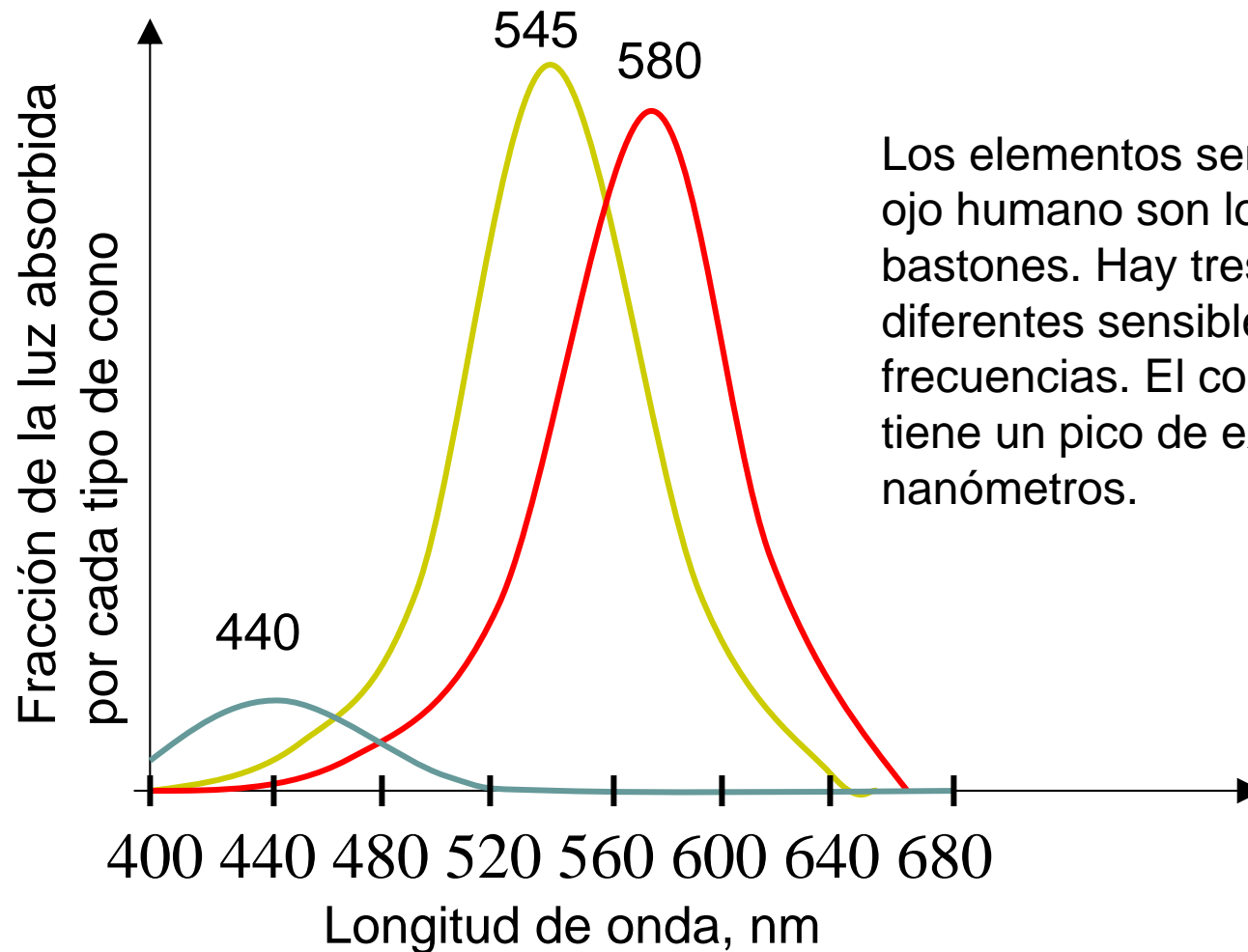


Distribución espectral típica de la luz



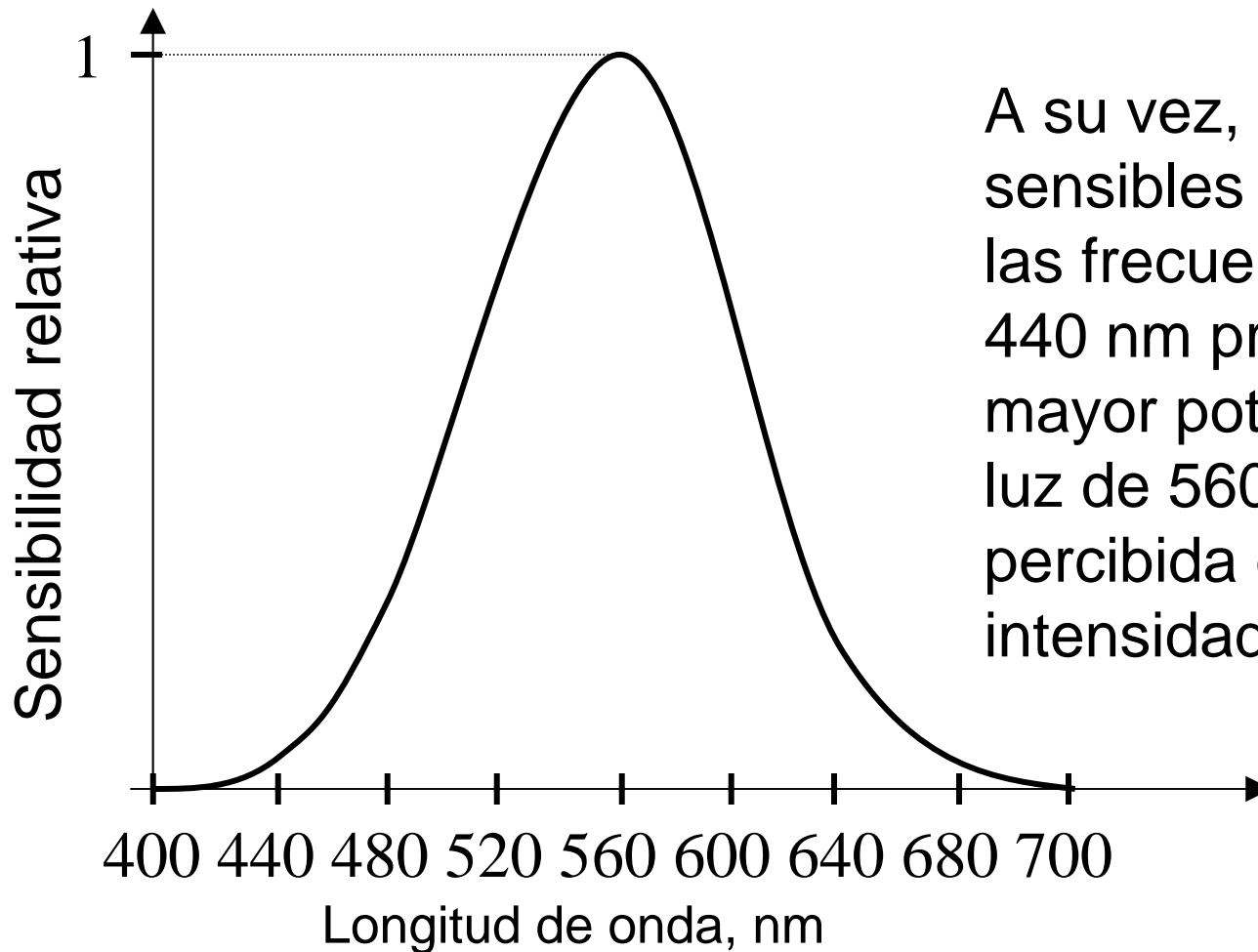
La luz es una onda electromagnética que se compone de muchas frecuencias (un espectro de frecuencias). Cada luz, cada color percibido tiene asociado una función de distribución. Es muy difícil ver una luz compuesta de una única frecuencia, salvo en los láser.

Funciones de respuesta espectral de los tres tipos de conos en la retina humana



Los elementos sensibles a la luz en el ojo humano son los conos y los bastones. Hay tres tipos de conos diferentes sensibles a distintas frecuencias. El cono rojo, por ejemplo, tiene un pico de excitación a los 580 nanómetros.

Funciones de eficiencia luminosa (luminancia) para el ojo humano



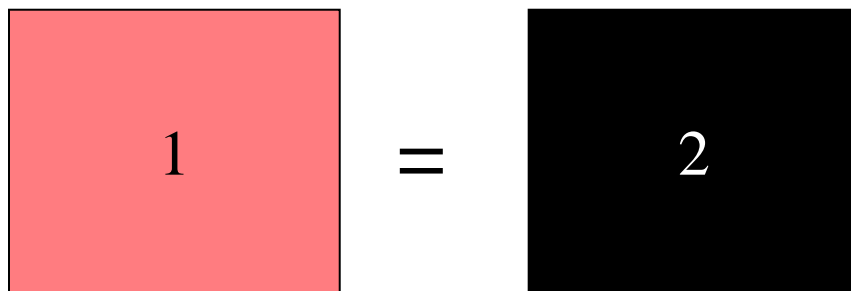
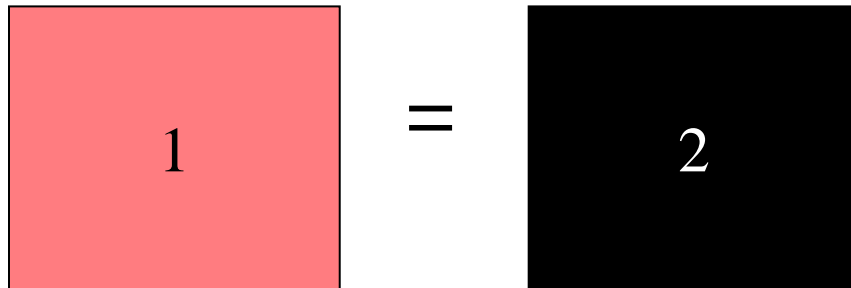
A su vez, no somos sensibles por igual a todas las frecuencias. Una luz a 440 nm precisa de mucha mayor potencia que una luz de 560 nm para ser percibida como de igual intensidad.

Problema: generar cualquier color a partir de colores “primarios”



- Ese problema ha sido perseguido por mucho tiempo encontrándose soluciones parciales. Si todo color pudiese ser generado a partir de unos pocos, se simplificarían gran variedad de procesos industriales.
- Una idea básica es la de pensar que, dado que cada cono azul, verde y rojo se excita principalmente con la luz azul, verde y roja respectivamente, se trate de generar todos los colores a partir de las mezclas de rojo, azul y verde.
- Se hicieron experimentos al respecto.
 - Se ponía un color cualquiera (a) y al lado otro generado por combinaciones de azul, verde y rojo. Un usuario debía regular las cantidades de dichos colores primarios para lograr (a).
 - El resultado es que a veces se lograba y a veces no. Se encontró que para lograr igualar ambos colores, a veces la única forma era agregándole rojo al color (a) para que se igualara con alguna combinación de verde y azul.

Problema: generar cualquier color a partir de colores “primarios”



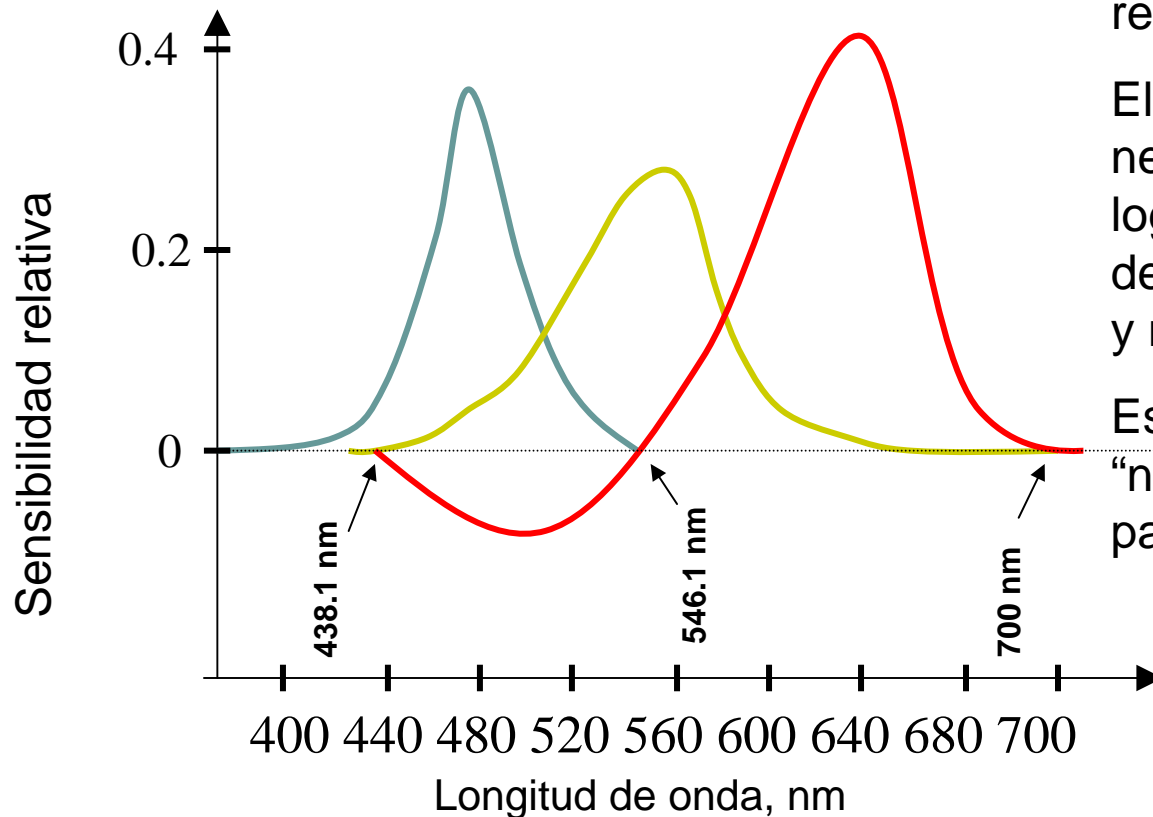
Se pone en (1) un color cualquiera obtenido del espectro y en (2) una persona trata de llegar al mismo color combinando azul, verde y rojo.

A veces esto no era posible, pero sí era posible llegar a que ambas áreas tuvieran el mismo color si ocurría lo siguiente:

El rojo se agrega al color (1) y lo que se trata es que ambas áreas tengan el mismo color.

Como el rojo se “suma” a (1), conceptualmente es similar a que se “reste” a (2), o que se sume una cantidad negativa a (2).

Funciones de equivalencia de colores



Aquí se ven gráficamente los resultados del experimento anterior.

El rojo en cierto rango tiene valores negativos. Esto significa que para lograr igualarse ambos colores, se debe agregar rojo al color espectral, y no sumarlo al verde y al azul.

Esto sería igual a agregarle un valor "negativo" de rojo al verde y el azul para lograr igualar al color espectral.

Percepción del ojo humano



- Percibe cientos de miles de colores, cuando hay que juzgar entre pares de colores que se encuentran uno al lado del otro y solo hay que juzgar si son iguales o distintos.
- Si tenemos que basarnos en nuestra memoria para comparar colores, la variedad disminuye notablemente.
- Cuando los colores solo difieren en el tinte, la longitud de onda mínima varía entre 10nm (en los extremos del espectro) a menos de 2nm entre 480nm (azul) y 580nm (amarillo)

Diagrama de Cromaticidad CIE



- Para evitar las combinaciones con colores “negativos” para generar colores de todo el espectro, en 1932 la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), desarrolló un conjunto de estándares universales para los colores.
- Entre esos estándares, desarrolló los colores primarios X, Y, Z cuya función de equivalencia a los colores del espectro contiene siempre valores positivos.
- Cabe aclarar que X, Y, Z son colores teóricos, que no existen en la realidad, pero que sirven para generar una serie de diagramas (como el diagrama de cromaticidad) y para simplificar el razonamiento sobre los colores.

Diagrama de Cromaticidad CIE

Funciones de equivalencia x_λ , y_λ , z_λ para los colores primarios X, Y, Z

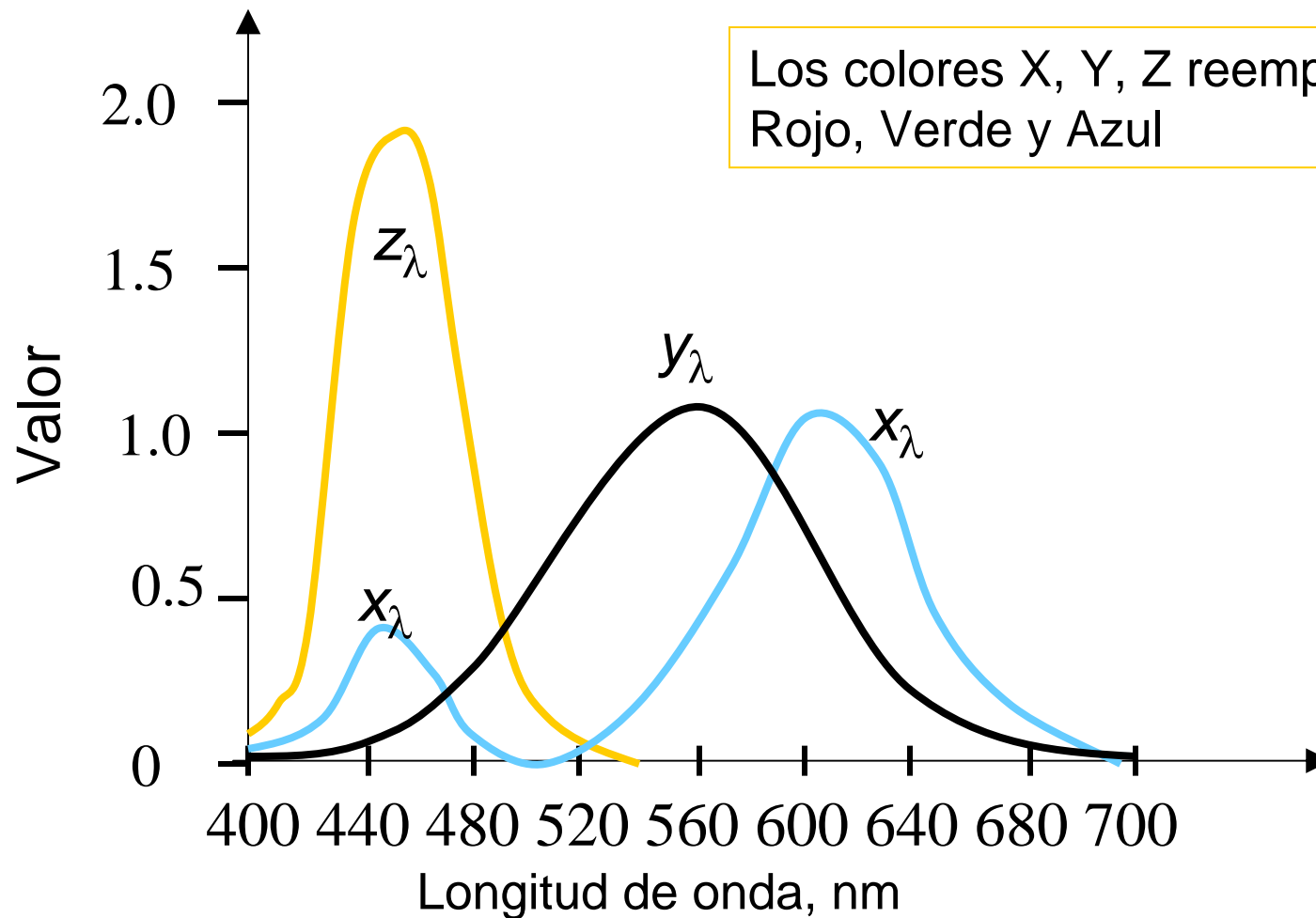


Diagrama de Cromaticidad CIE



- X, Y, Z se usan para igualar todos los colores que podemos ver, solamente con ponderaciones positivas.
- λ equivale con la función de eficiencia luminosa.

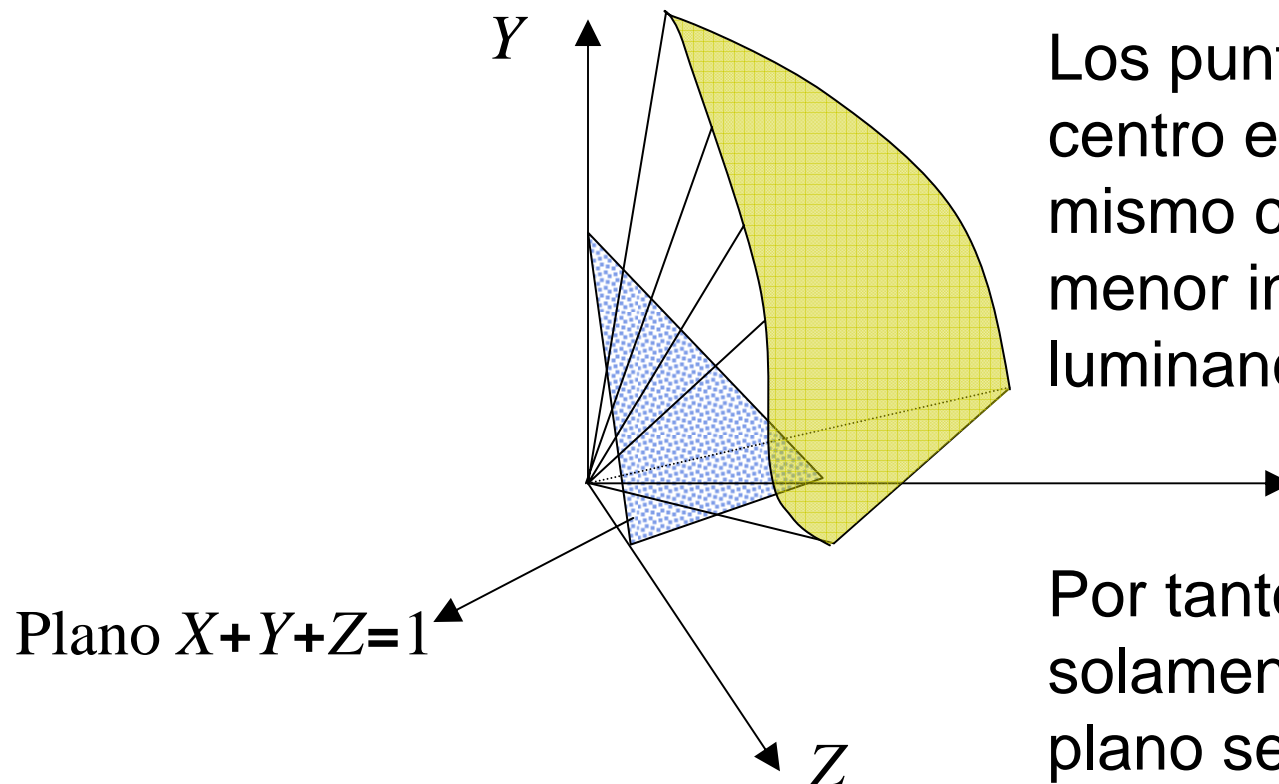
- La cantidad de los colores primarios X, Y, Z necesarias para igualar un color C, con distribución energética espectral $P(\lambda)$ se calcula como:

$$X = k \int P(\lambda) x_{\lambda} d\lambda, \quad Y = k \int P(\lambda) y_{\lambda} d\lambda, \quad Z = k \int P(\lambda) z_{\lambda} d\lambda$$
$$X + Y + Z = C$$

Cono de los colores visibles en el espacio de colores CIE



El espacio de colores genera una especie de cono.

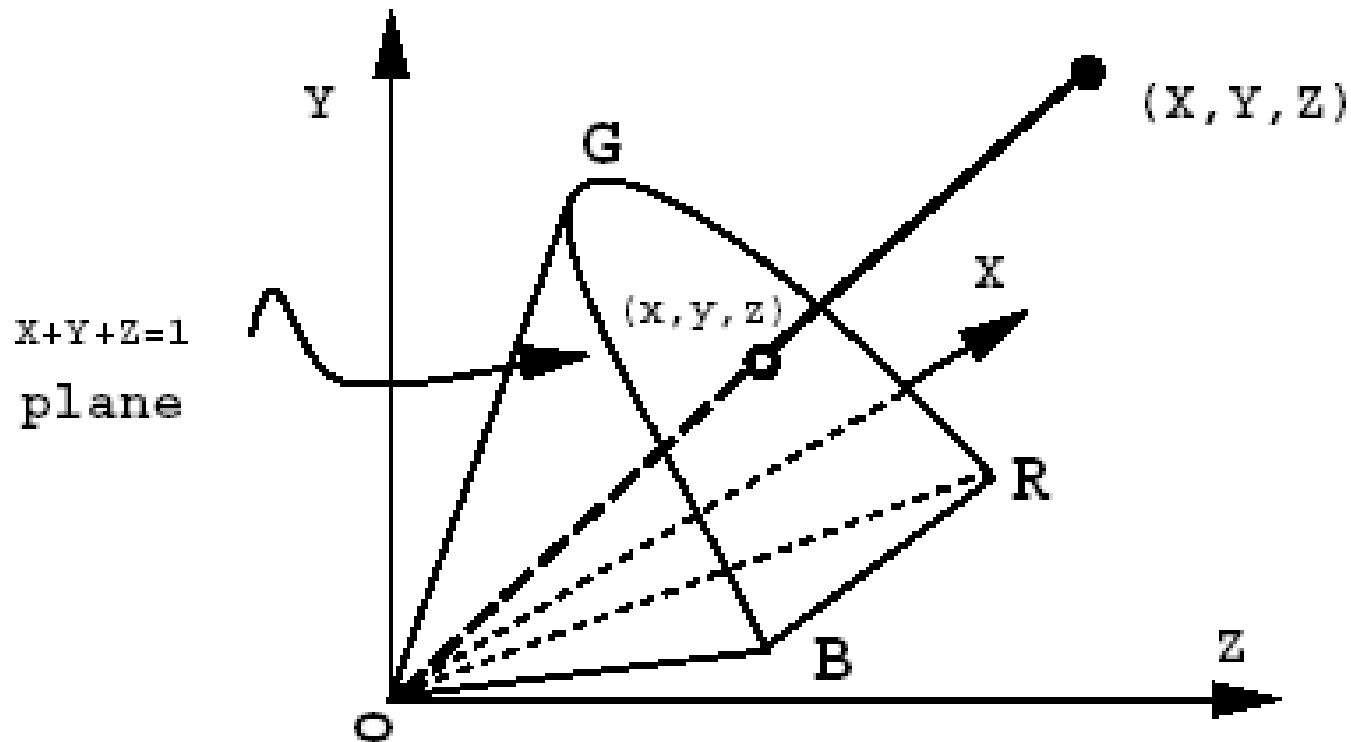


Los puntos de una recta con centro en el origen generan el mismo color (con mayor o menor intensidad o luminancia).

Por tanto, se pueden manejar solamente los colores del plano señalado, que contiene sólo un punto de cada una de esas rectas.

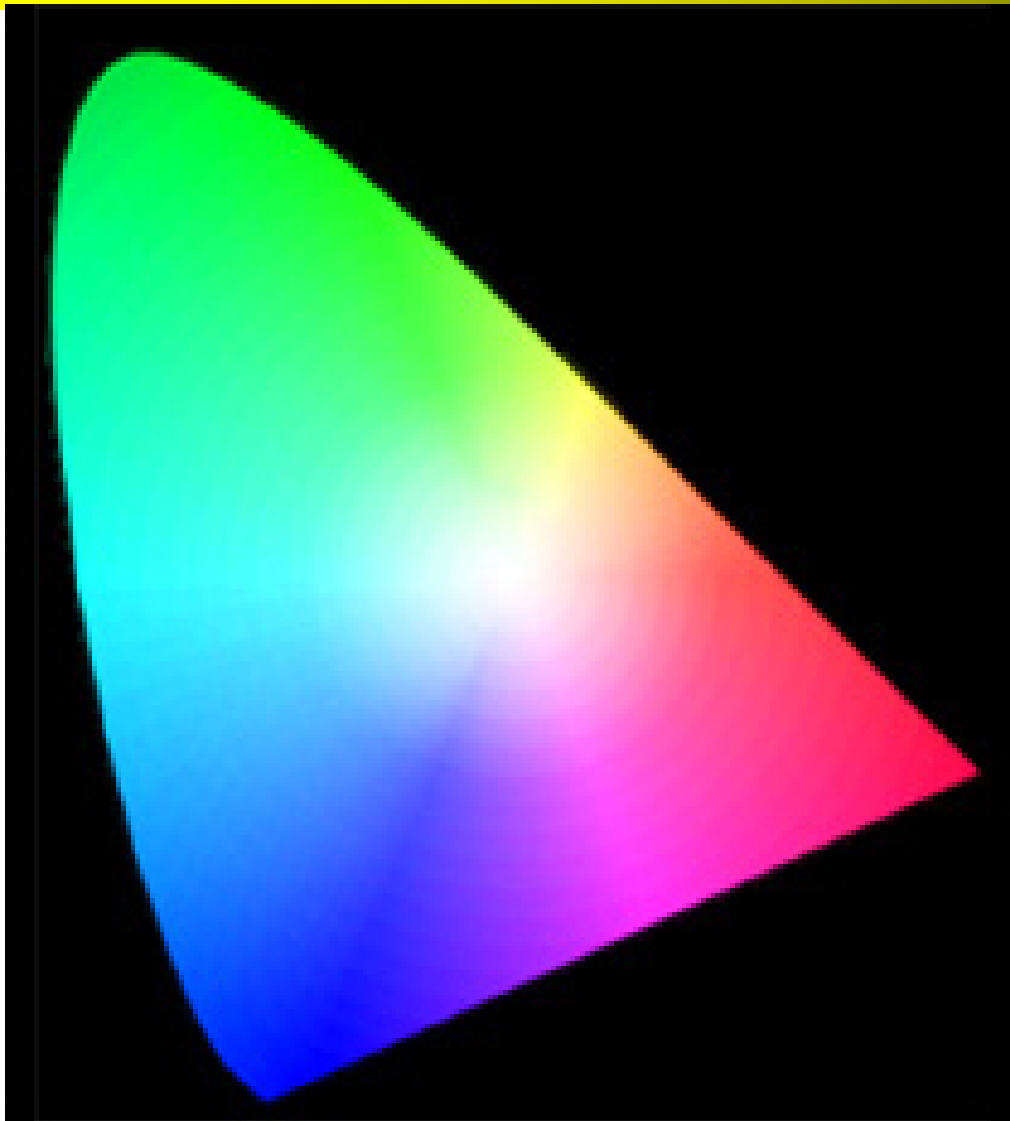
Diagrama de Cromaticidad CIE

Extraído de <http://www.csis.hku.hk/~c0271/notes/notes09.pdf>



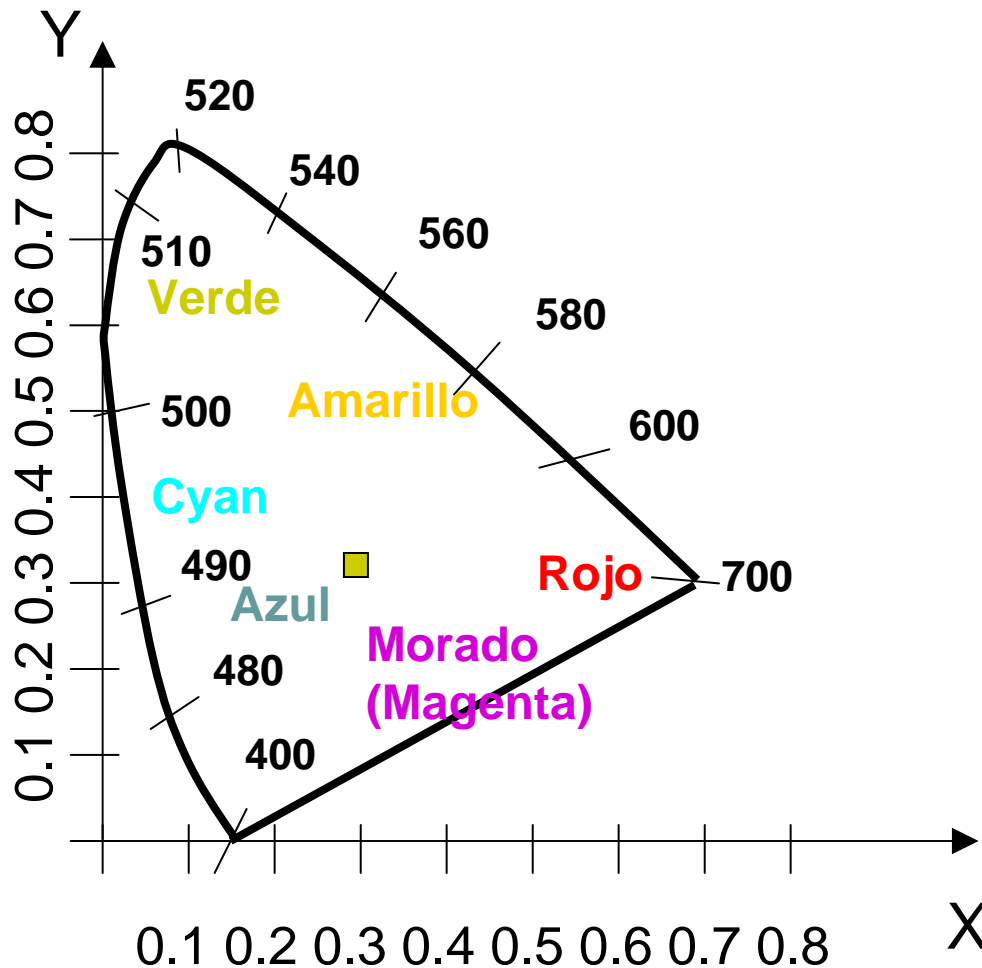
Aquí se representa el cono, del plano $x+y+z=1$ y las rectas cuyos puntos son de igual color (con mayor intensidad al alejarse del origen).

Visualización de todos los colores del plano



Este diagrama está siendo desplegado en la pantalla de su computadora o en un papel impreso.

Visualización de todos los colores del plano



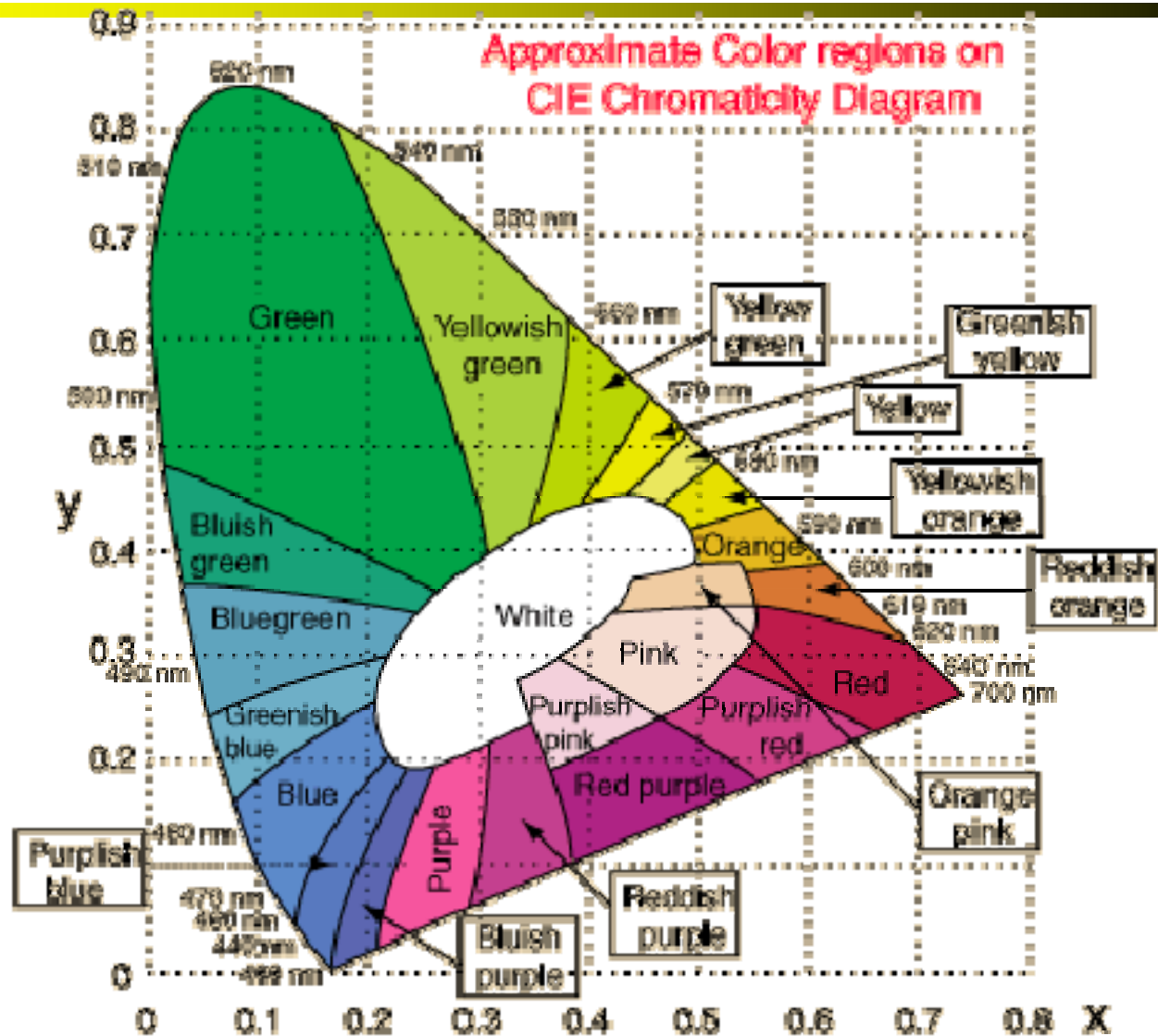
Todos los colores de la misma cromaticidad pero diferente luminancia se representan por el mismo punto.

Los colores de la periferia son puros. Se generan a partir de una única frecuencia de luz.

La luz blanca estándar es el punto central que queda cerca de $x=y=z=1/3$.

Observe en la transparencia anterior que cualquier rayo que salga de ese punto maneja un mismo color con distinto grado de saturación.

Graficación de x e y para todos los colores visibles



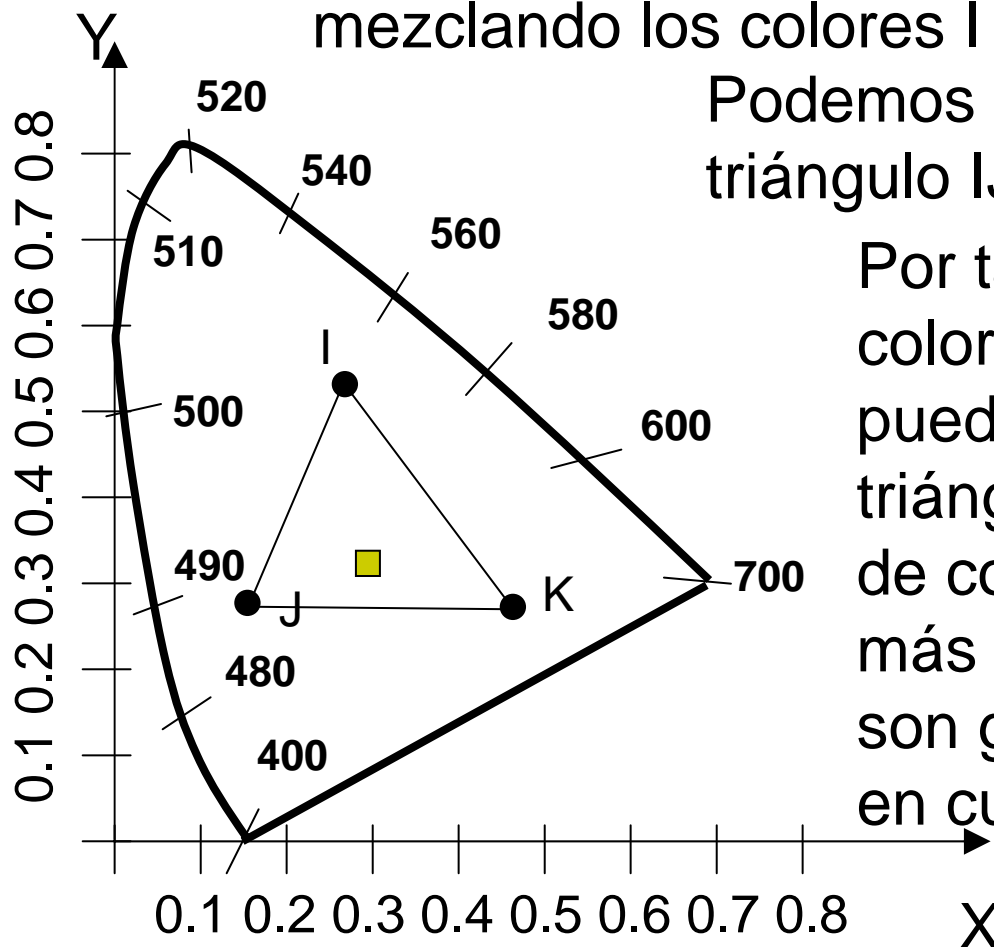
Mezcla de colores



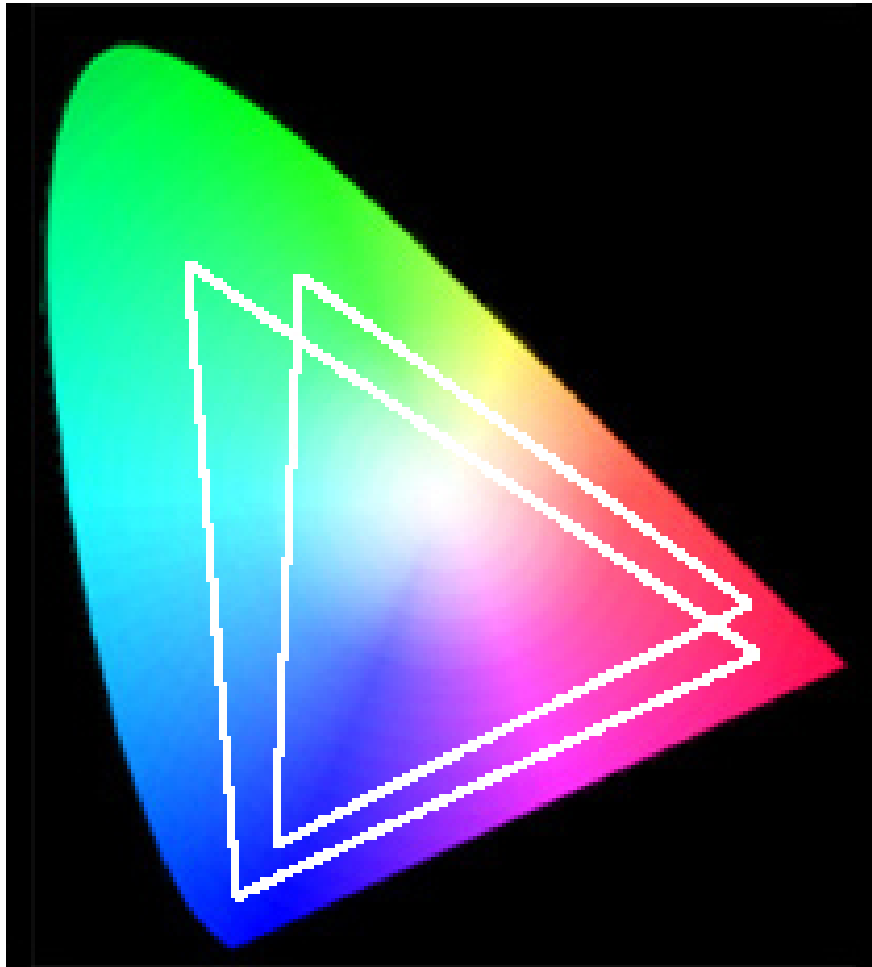
Podemos crear todos los colores en la línea IJ mezclando los colores I y J

Podemos crear todos los colores en el triángulo IJK mezclando los colores I, J, K

Por tanto, si sé cuales son los colores primarios de un dispositivo, puedo, a través de estos triángulos, conocer cuál es el rango de colores generables, y lo que es más interesante, qué colores no son generables por el dispositivo en cuestión.



Mezcla de colores (2 monitores)

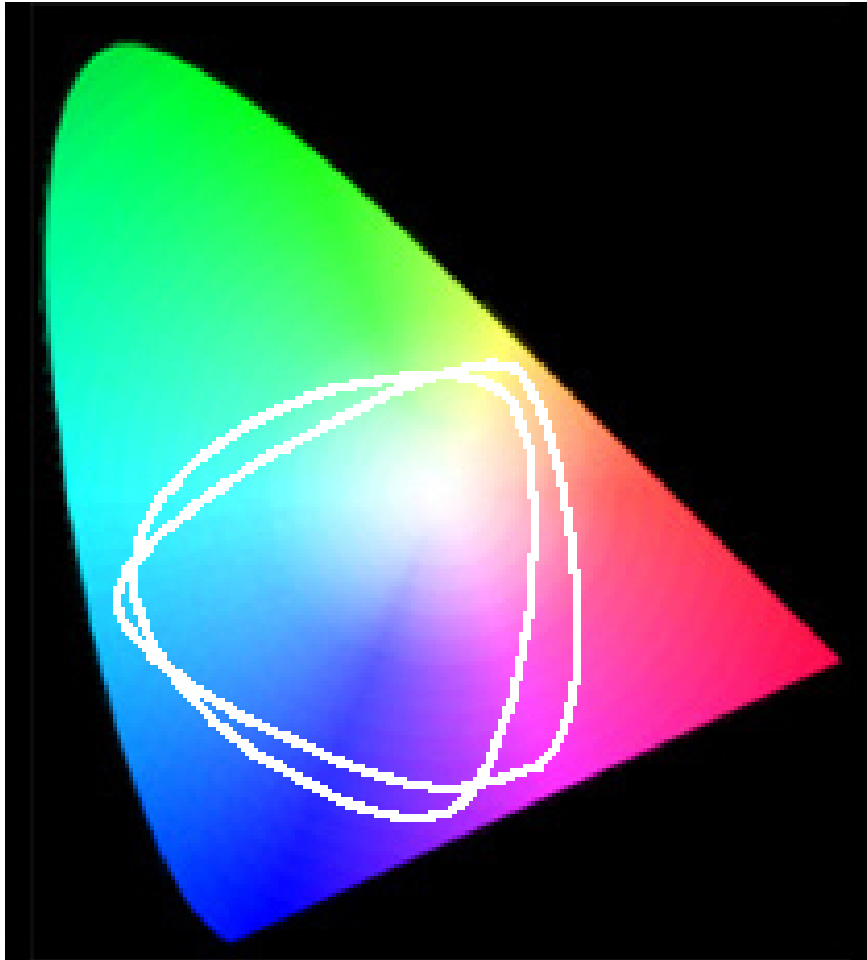


Aquí vemos el rango posible para dos monitores.

Hay colores que solo uno de los monitores puede generar. Si se quiere lograr que otra persona vea en su monitor propio lo que Ud. ve en el suyo, debe considerar los siguientes temas:

- Manejar solamente colores visibles en ambos monitores.
- Transformar los valores de los colores primarios para ajustarlos a los del monitor destino. Por ejemplo, ese punto se puede generar en un monitor combinando verde y rojo, y en otro monitor combinando verde y azul.

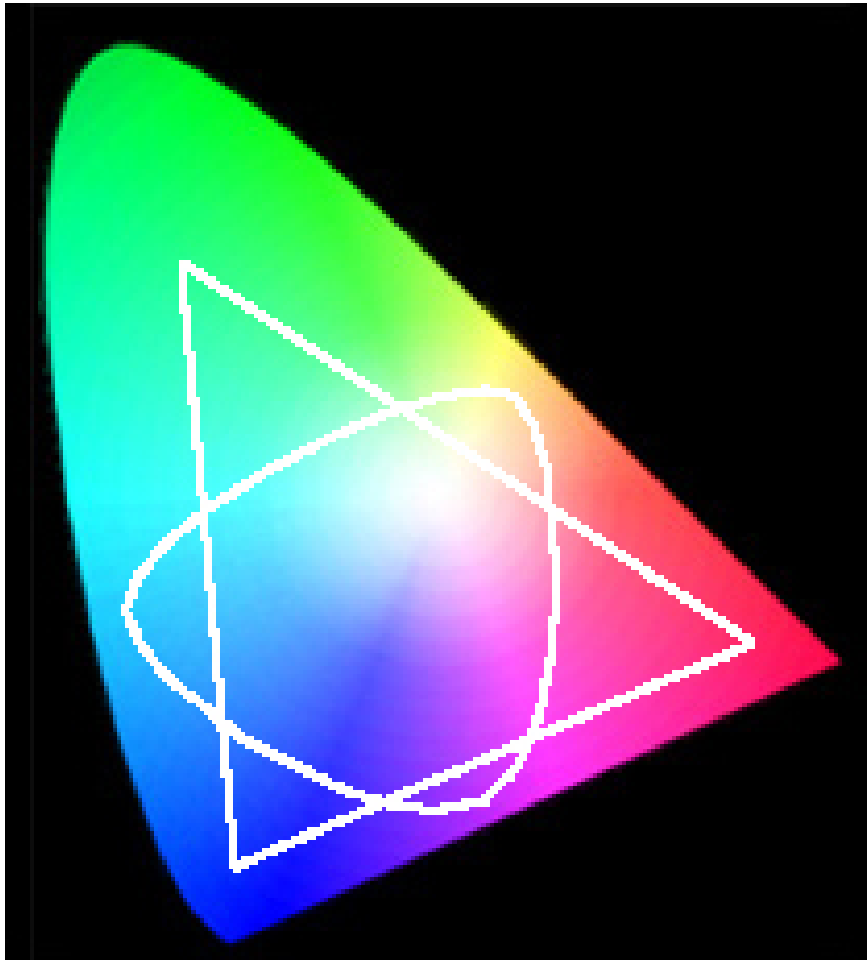
Mezcla de colores (2 impresoras)



También las impresoras tienen su triángulo.

Por diversos problemas los triángulos no están tan definidos como en los monitores.

Mezcla de colores (impresoras y monitor)



Los mismos problemas que existen entre 2 monitores, se ven magnificados entre una impresora y un monitor.

Algunos paquetes de diseño gráfico manejan este tipo de esquemas para simplificar el trabajo y alertar a los diseñadores sobre las posibles dificultades en la impresión.

Modelos de colores para gráficos de trama



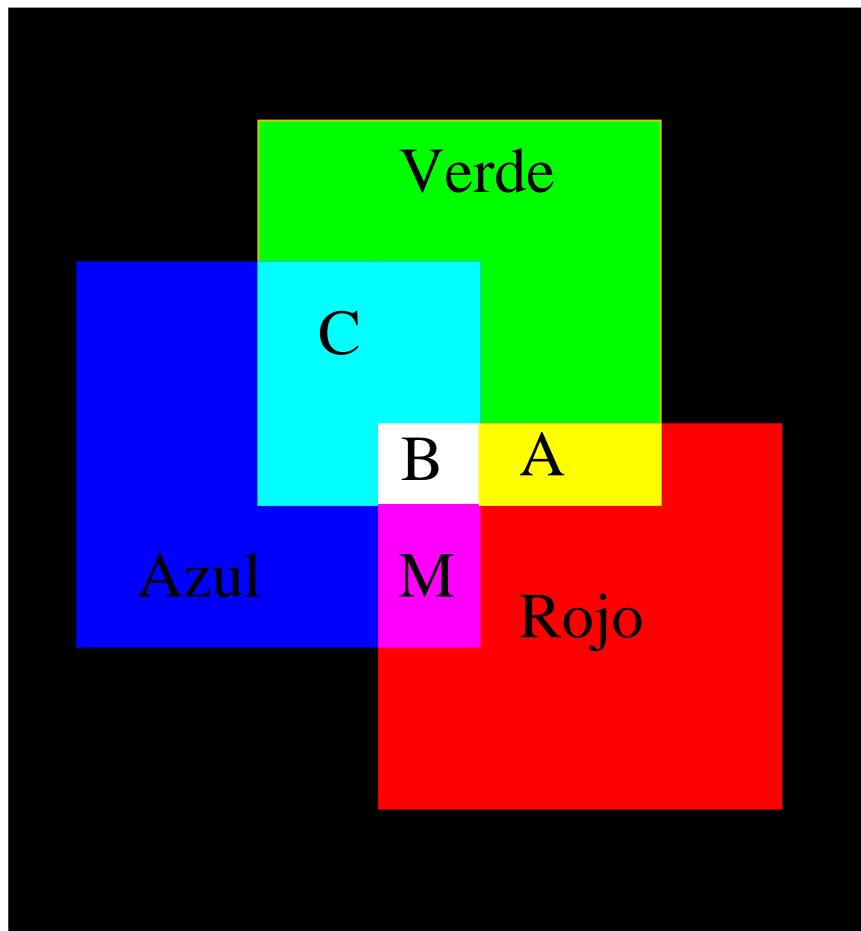
RGB (monitores)

CMY (impresoras)

YIQ (televisión)

HSV o HSB (para manejo intuitivo del color)

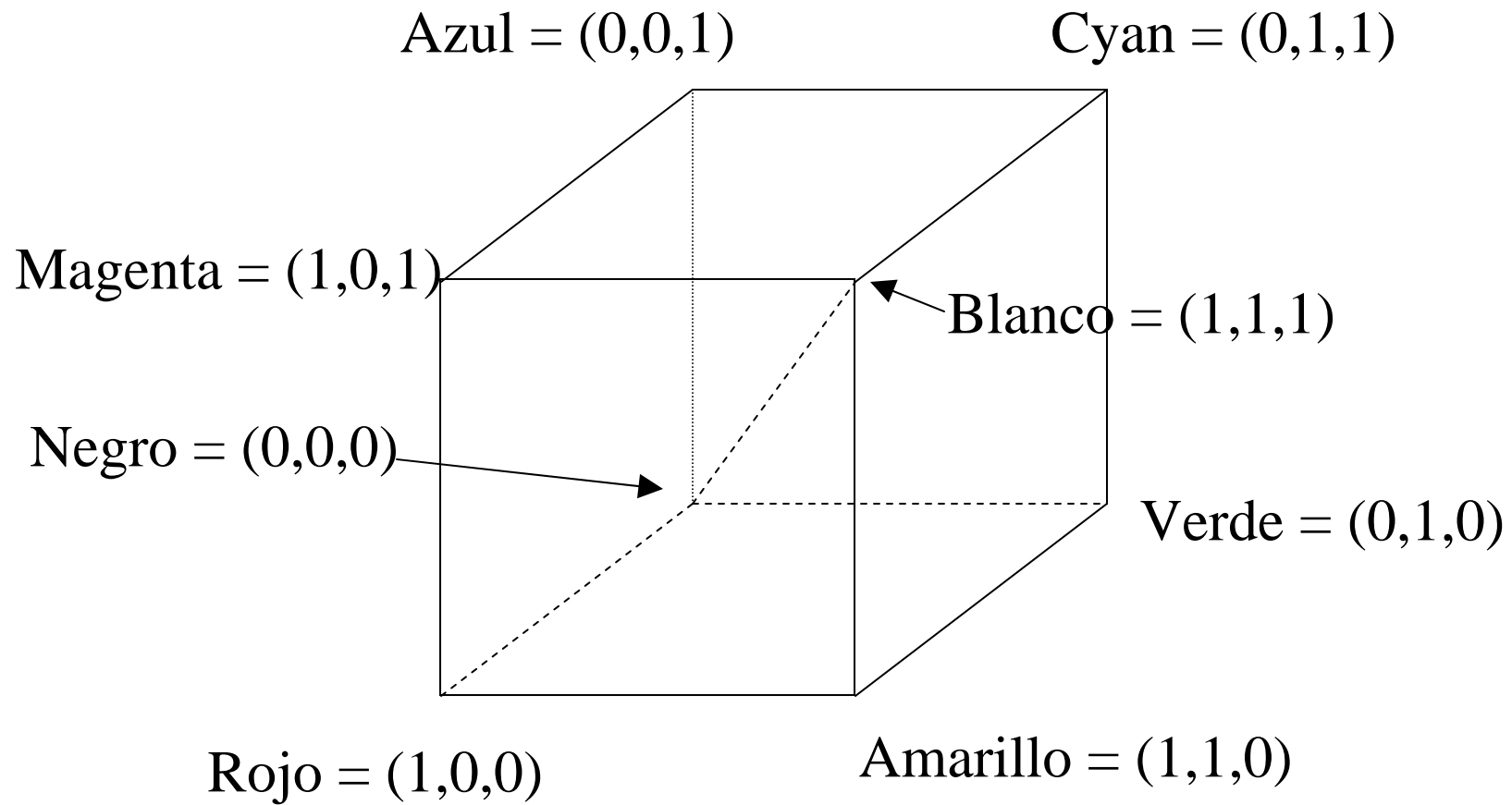
RGB



RGB es aditivo (la suma de colores agrega luz, y la combinación de todos los colores genera el blanco).

Aquí se observa cómo las combinaciones de los distintos colores primarios generan nuevos colores.

RGB



Conversión de XYZ a RGB



$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2406 & -1.5372 & -0.4986 \\ -0.9689 & 1.8758 & 0.0415 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

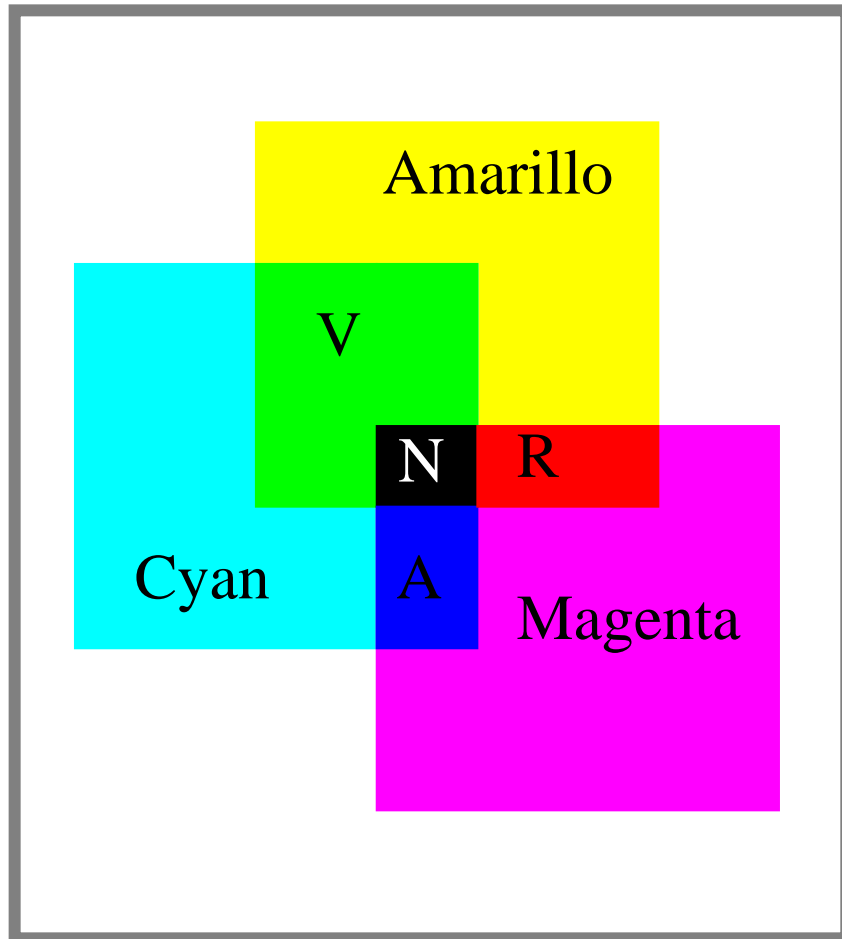
- Then convert to nonlinear (standard) sRGB values by applying the following to each component C :

$$C' = \begin{cases} 12.92C & \text{if } C \leq 0.0031308 \\ 1.055C^{1/2.4} - 0.055 & \text{if } C > 0.0031308 \end{cases}$$
$$c = \text{round}(255C').$$

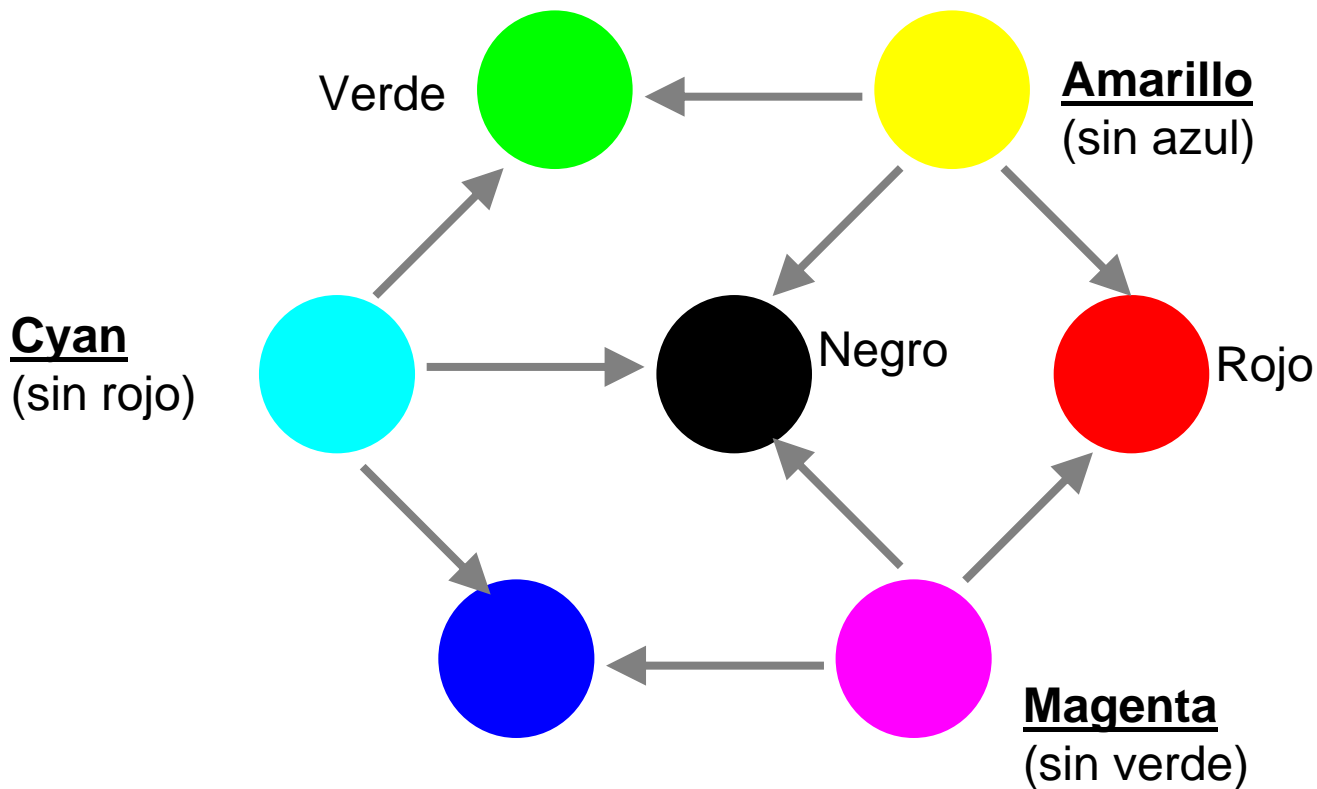
Extraído de

<http://www.cgl.uwaterloo.ca/~mmccool/cs788/Lectures/radiometry.pdf>

CMY



CMY son colores primarios sustractivos. Se parte del blanco y cada color quita luz al papel. La suma de todos los colores genera el negro.



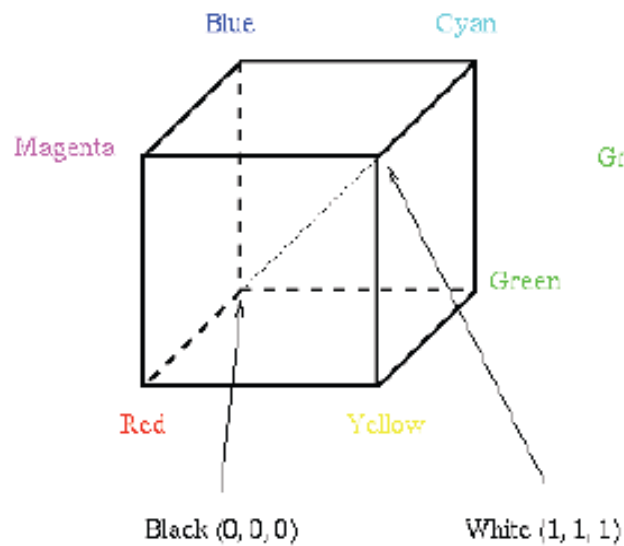
Este diagrama es similar al de la transparencia anterior. Las flechas indican cómo se forman los colores (verde se forma a partir del cyan y el amarillo).

$$\begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

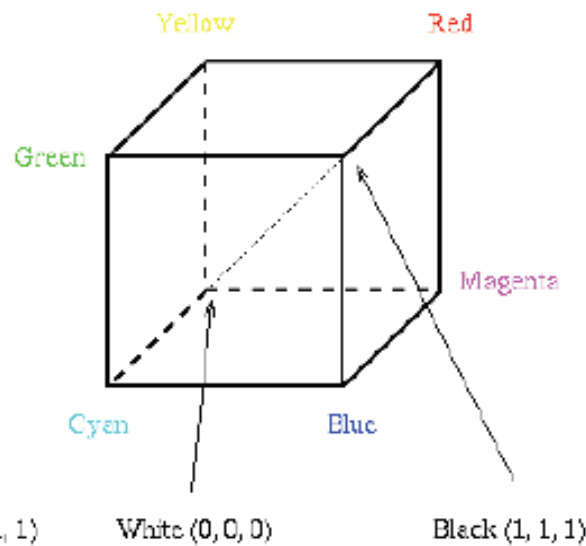
Pasar de RGB a CMY es relativamente sencillo. Basta realizar la resta vectorial indicada.

Esto no significa que los colores obtenidos en la impresora sean exactamente iguales a los originales del monitor. Ya vimos que eso muchas veces es directamente imposible.

CMY



The RGB Cube



The CMY Cube

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \\ K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \max(R, G, B) \\ \max(R, G, B) \\ \max(R, G, B) \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \\ \max(R, G, B) \end{bmatrix}$$

- En las impresoras color, generalmente hay un cartucho con el color negro (K). Dado un color representado en CMY, se puede utilizar el negro para sustituir parte de los valores de C, M y Y, de la siguiente forma:

$$K \leftarrow \min(C, M, Y)$$

$$C \leftarrow C - K$$

$$M \leftarrow M - K$$

$$Y \leftarrow Y - K$$

Como la suma de cantidades iguales de CMY genera negro, se utiliza K para el mínimo de los tres valores, y sólo se utilizan los colores para representar el componente “no gris” o “coloreado” del color.

Se utiliza por la televisión de USA para obtener compatibilidad con la televisión blanco y negro.

Y se corresponde con la luminancia
I y Q codifican la cromaticidad.

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.528 & 0.311 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Los televisores b/w
solo captan la señal
de luminancia.

YIQ



- El ojo humano es más sensible a la luminancia que al tinte o la saturación. Entonces, es preciso mayor información en Y que en I y Q.
- Cuando el campo visual de un color es pequeño, se pueden expresar adecuadamente con 1 y no con 2 dimensiones.

HSV



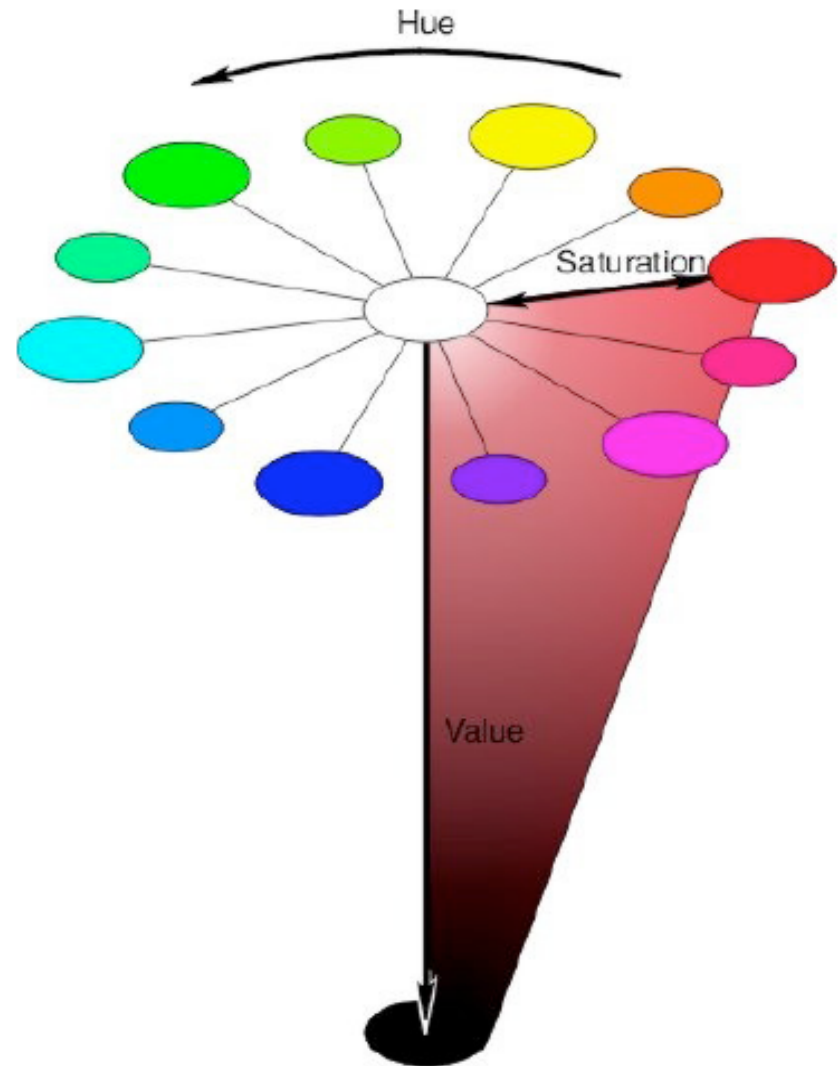
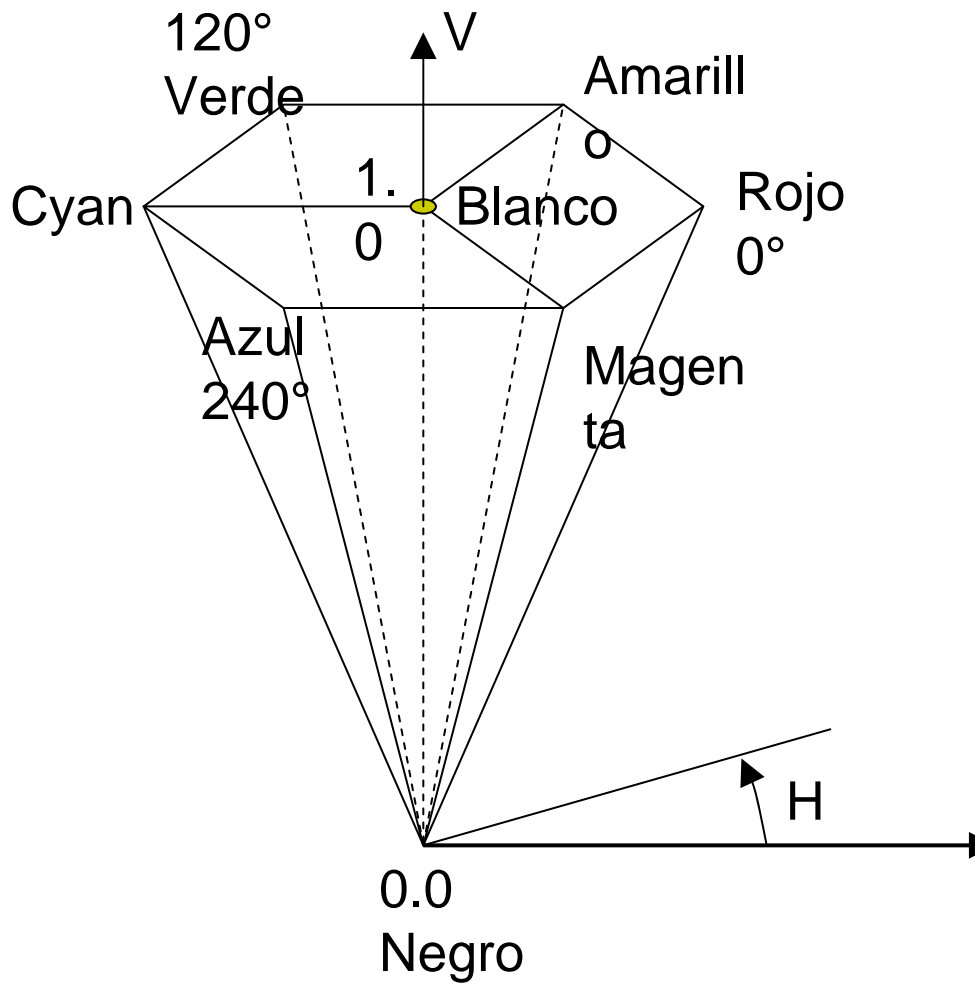
HSV → Hue (tinte), Saturation, Value

HSB → Hue (tinte), Saturation, Brillancy (Brillantéz)

Está orientado al usuario y no al hardware.

Hay un sistema de coordenadas cilíndrico, y el espacio de colores es un cono de base hexagonal.

HSV



HSV

Si $V=0$, H y S son irrelevantes.

Cuando $S=0$, el H es irrelevante

Los grises están en $S=0$

El rojo puro está en $(0,1,1)$

Adicionar blanco significa reducir S

$V=1$, $S=1$ corresponde al color puro que usa un artista como pto. de partida.

Se crean matices manteniendo $S=1$ y reduciendo V.

Se crean tonos reduciendo tanto S como V.

