

# Computación Gráfica

Eduardo Fernández

# Luz Acromática y Cromática

Basado en: **Capítulo 11**

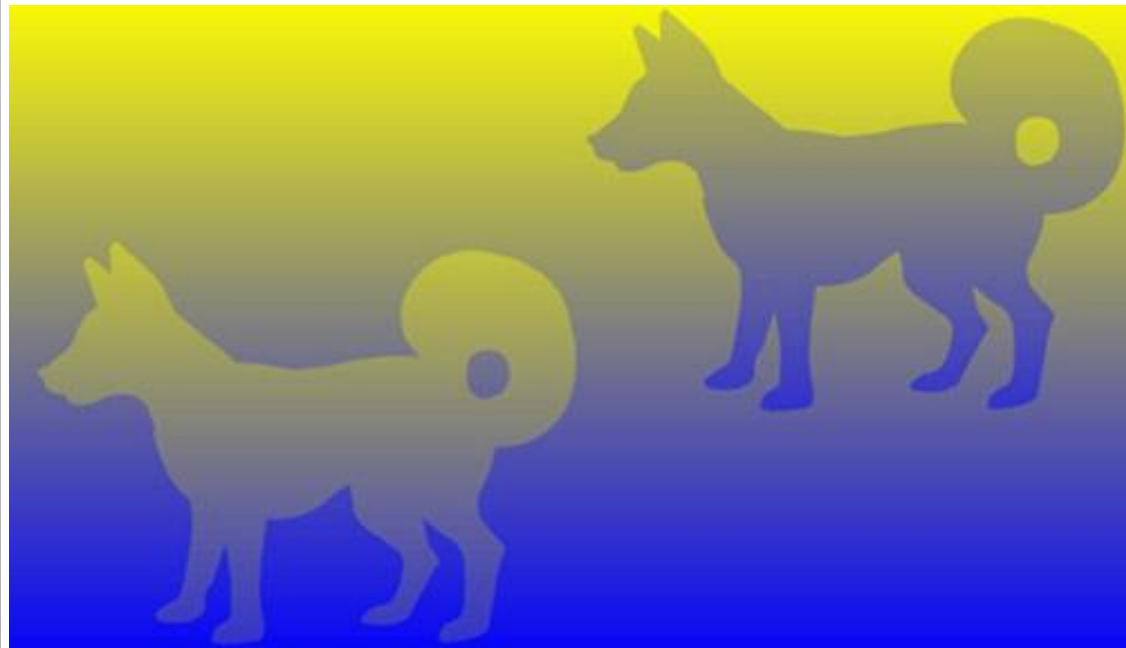
Del Libro: **Introducción a la Graficación  
por Computador**

*Foley – Van Dam – Feiner – Hughes - Phillips*

# Introducción y Motivación

- Unas cuantas sombras en gris mejoran notablemente la apariencia de un objeto.
- El tema color mezcla conceptos físicos, fisiológicos, psicológicos, arte y diseño gráfico.
- Hay objetos que reflejan luz y otros la transmiten.
- El color de un objeto depende del propio objeto, de la luz incidente, de las áreas que lo rodean y del sistema visual humano.

El color de un objeto depende del propio objeto, de la luz incidente, de las áreas que lo rodean y del sistema visual humano.



**Sagrado (el color de un objeto afecta a otro objeto) e ilusión óptica de color. Ambos perros son iguales, pero debido al entorno se perciben diferentes...**

El color de un objeto depende del propio objeto, de la luz incidente, de las áreas que lo rodean y del sistema visual humano.



**Sangrado (el color de un objeto afecta a otro objeto) e ilusión óptica de color. Ambos perros son iguales, pero debido al entorno se perciben diferentes...¡o no!**

Luz

Acromática

# Luz Acromática

- La luz acromática es la que se emite en un TV 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).
- Se relaciona el 0 con el negro, el 1 con el blanco, y los grises con valores intermedios.
- Los televisores despliegan distintas intensidades en un mismo píxel, las impresoras no.

# Selección de Intensidades

El ojo humano es más sensible a la relación entre intensidades (cociente) que a valores absolutos.

La distancia entre 50 y 100 Watts parece mayor que la distancia entre 100 y 150 Watts, dado que:

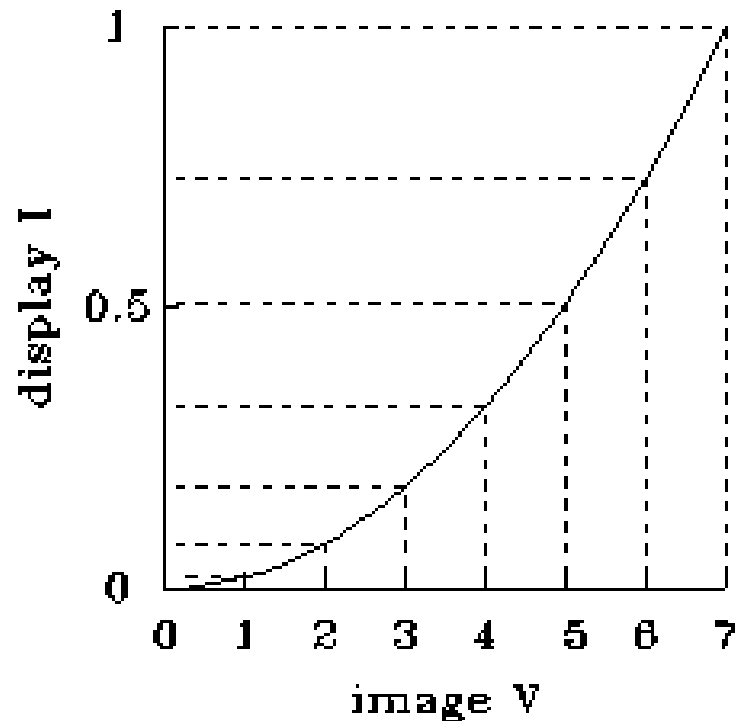
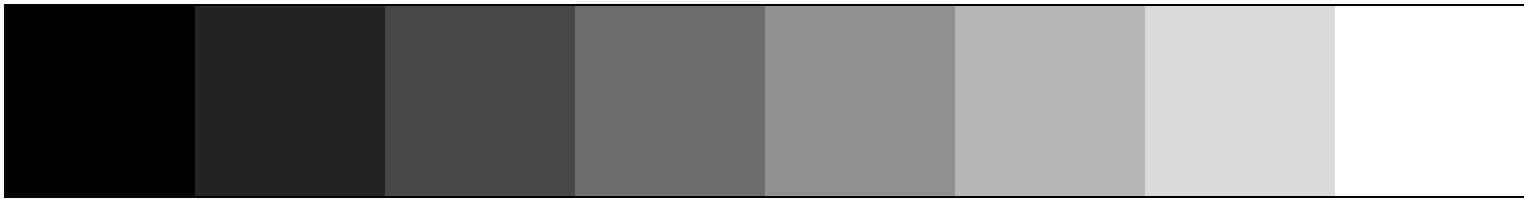
$$1.5 = 150/100 < 100/50 = 2$$

Los niveles de intensidad se espacian logarítmicamente y no linealmente



# Selección de Intensidades

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



# Selección de Intensidades

Para encontrar 256 intensidades 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

- $I_0$  está entre  $1/40$  y  $1/200$  para un CRT.
- 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-linearidades del CRT. Para superar las dificultades se utiliza la **corrección gama**.
- ¿Cuántas intensidades son suficientes? (para que haya continuidad en las tonalidades). Esto se logra cuando  $r \leq 1.01$

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>
<b>CRT</b>	50-200	400-530
<b>Impresiones fotográficas</b>	100	465
<b>Diapositivas fotográficas</b>	1000	700
<b>Papel revestido impreso en B/N</b>	100	465
<b>Papel revestido impreso en color</b>	50	400
<b>Papel periódico impreso en B/N</b>	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

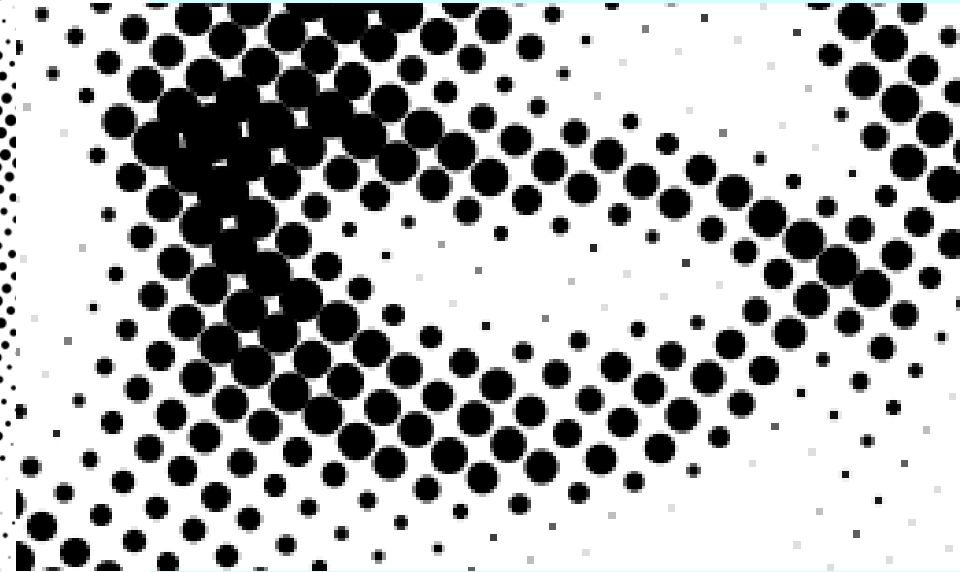
## **El ojo tiene la propiedad de integración espacial:**

- 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 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.

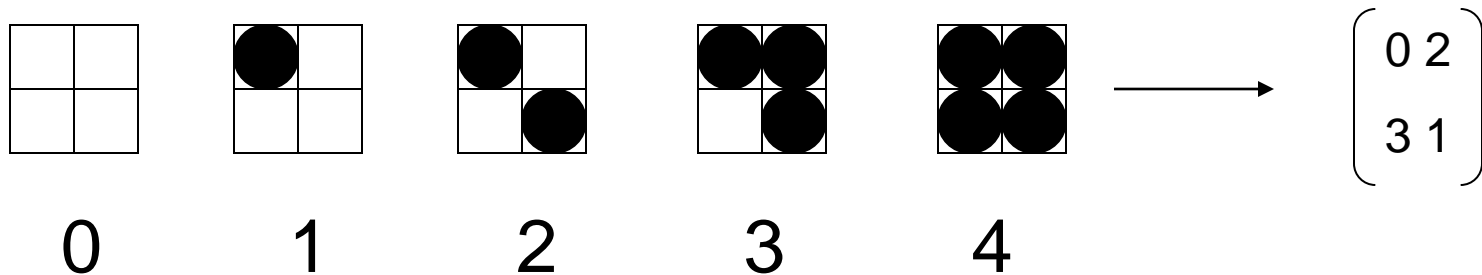
# Aproximación por medios tonos



# Aproximación por medios tonos

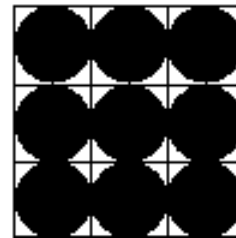
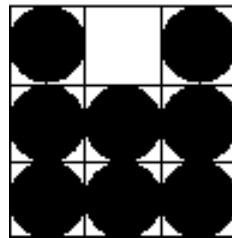
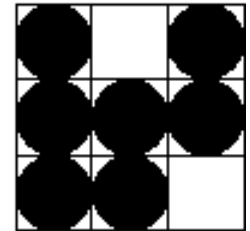
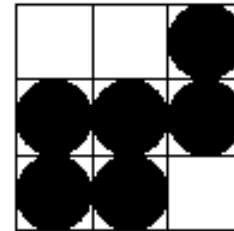
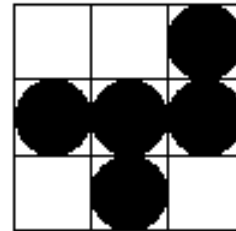
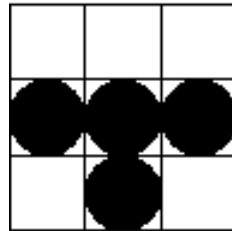
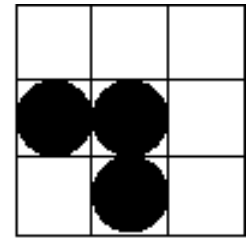
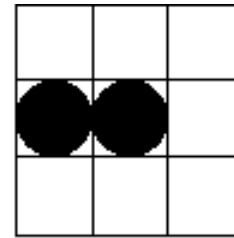
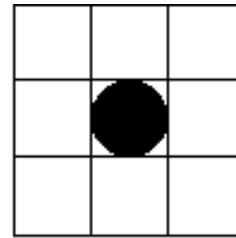
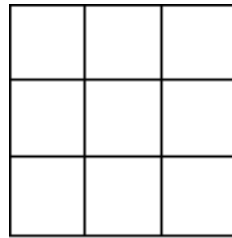
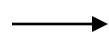
Los periódicos utilizan de 60 a 80 áreas por pulgada, y los libros y revistas de 110 a 200 áreas por pulgada.

En las impresoras se aproximan las áreas variables por áreas de  $n \times n$  píxeles para lograr  $n^2 + 1$  niveles de intensidad diferentes



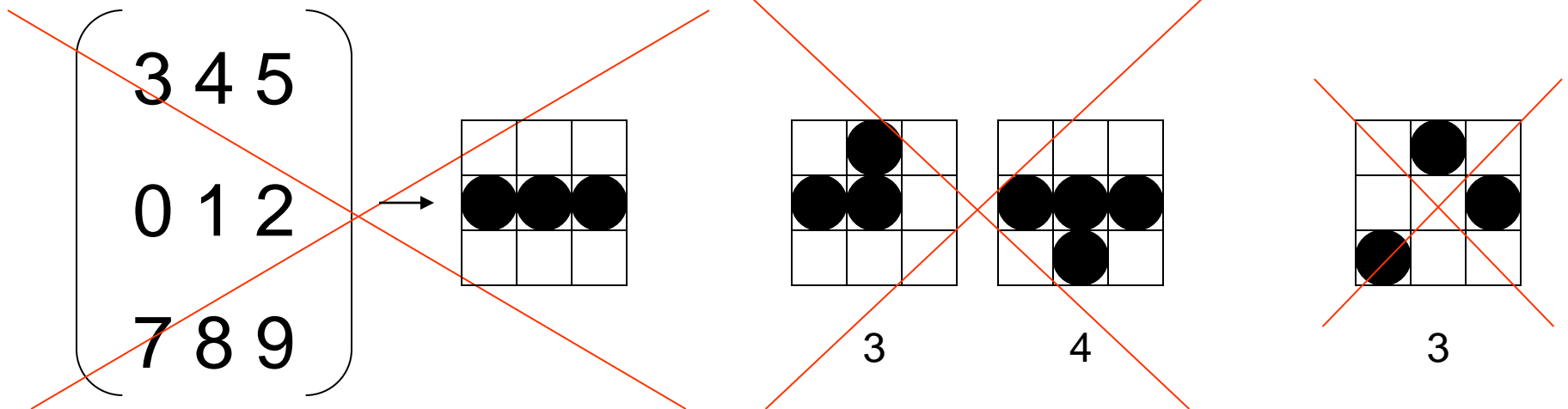
# Aproximación por medios tonos

6 8 4  
1 0 3  
5 2 7



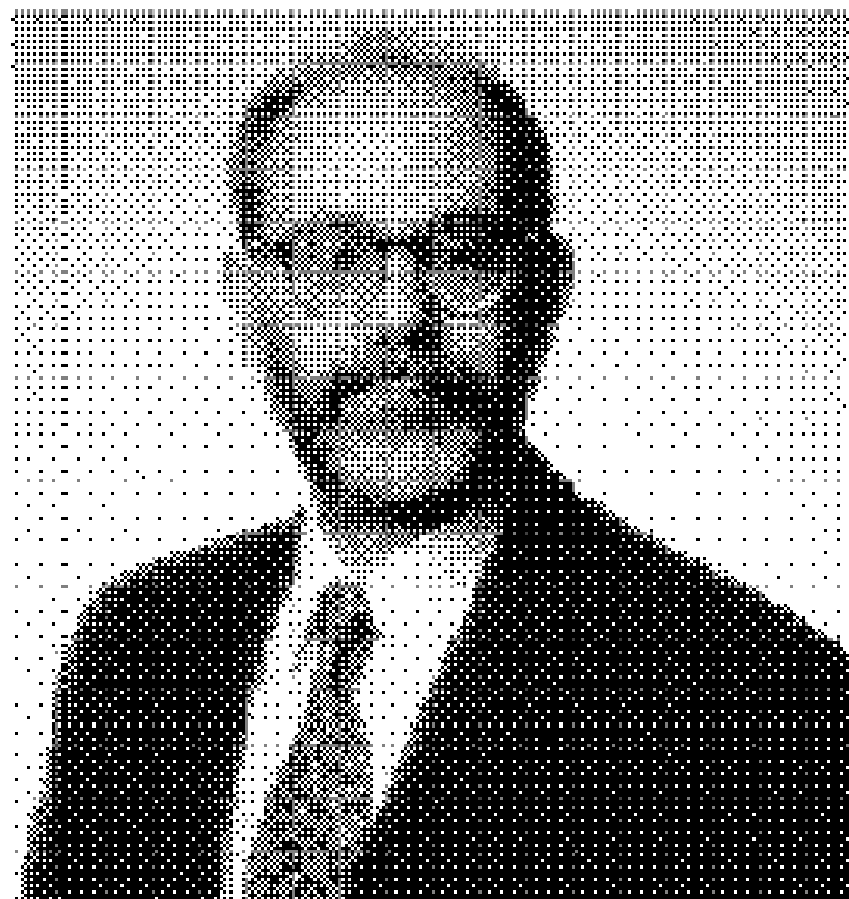
# Aproximación por medios tonos

- Propiedades de los patrones:
  1. Que no haya efectos visuales artificiales
  2. Formar una secuencia creciente
  3. Crecer hacia afuera desde el centro.
  4. Deben estar agrupados





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



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

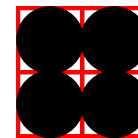
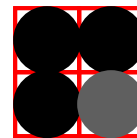
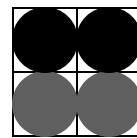
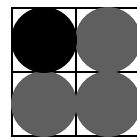
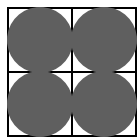
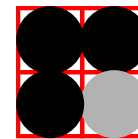
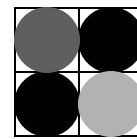
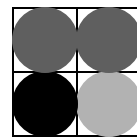
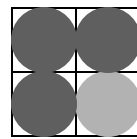
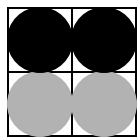
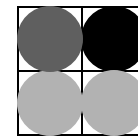
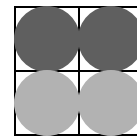
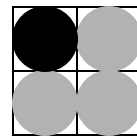
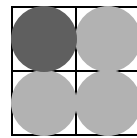
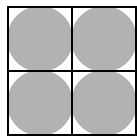
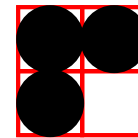
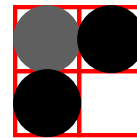
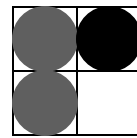
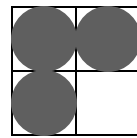
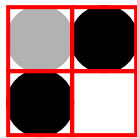
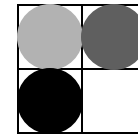
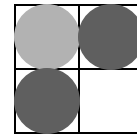
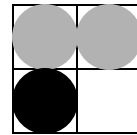
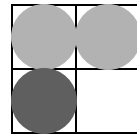
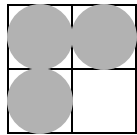
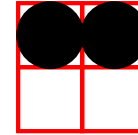
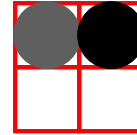
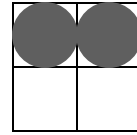
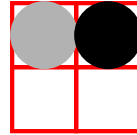
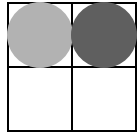
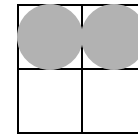
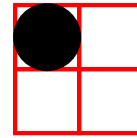
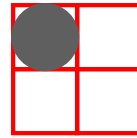
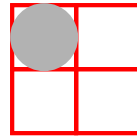
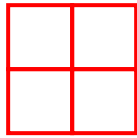
# Aproximación por medios tonos

Los medios tonos no solo se aplican cuando hay 2 niveles de intensidad. Si hay 2 bits por píxel => son 4 niveles de intensidad.

Una matriz de 2x2 con 4 intensidades por píxel, genera:

$$(2 \times 2) \times (4 - 1) + 1 = 13 \text{ intensidades.}$$

¿Por qué?





0

1

2

3

4

5

6

7

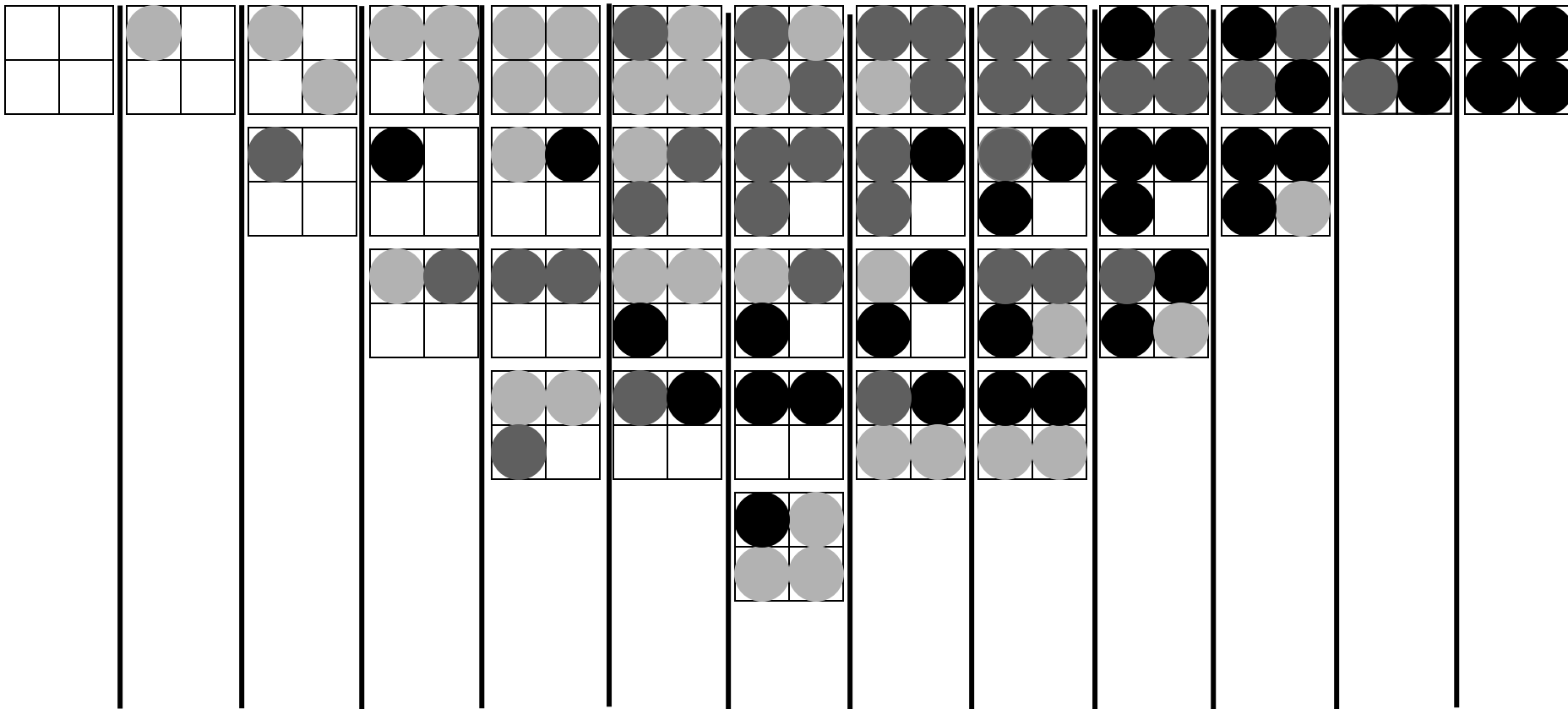
8

9

10

11

12



# Aproximación por medios tonos

$$\begin{pmatrix} 0 & 3 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$$

0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	2	1	2	1	2	2
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2

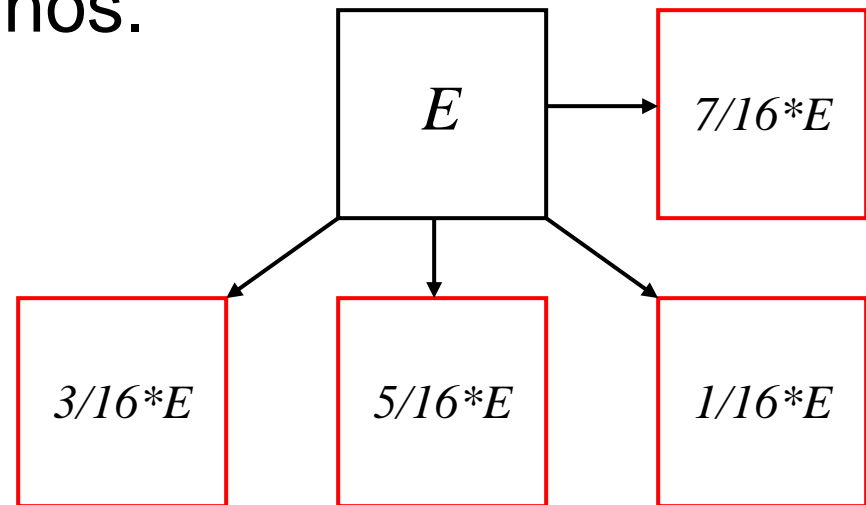
0      1      2      3      4      5      6      7      8

3	2	3	2	3	2	3	3
2	2	2	3	3	3	3	3

9      10      11      12

# Método de difusión de errores

- Se aplica cuando sólo se puede utilizar un píxel de representación por cada píxel de imagen.
- El “error  $E$ ” (la diferencia entre el valor exacto del píxel y el que presenta) se suma a los valores de los algunos píxeles vecinos.



# Método de difusión de errores

$K = \text{aproximar}(S[x][y]);$  /\*valor más cercano representable\*/

$L[x][y] = K;$  /\* Dibujar el píxel en (x,y) \*/

$\text{Error} = S[x][y] - K;$  /\* Término de error. Debe ser de tipo float \*/

$S[x+1][y] += 7 * \text{Error} / 16;$

$S[x-1][y-1] += 3 * \text{Error} / 16;$

$S[x][y-1] += 5 * \text{Error} / 16;$

$S[x+1][y+1] += \text{Error} / 16;$

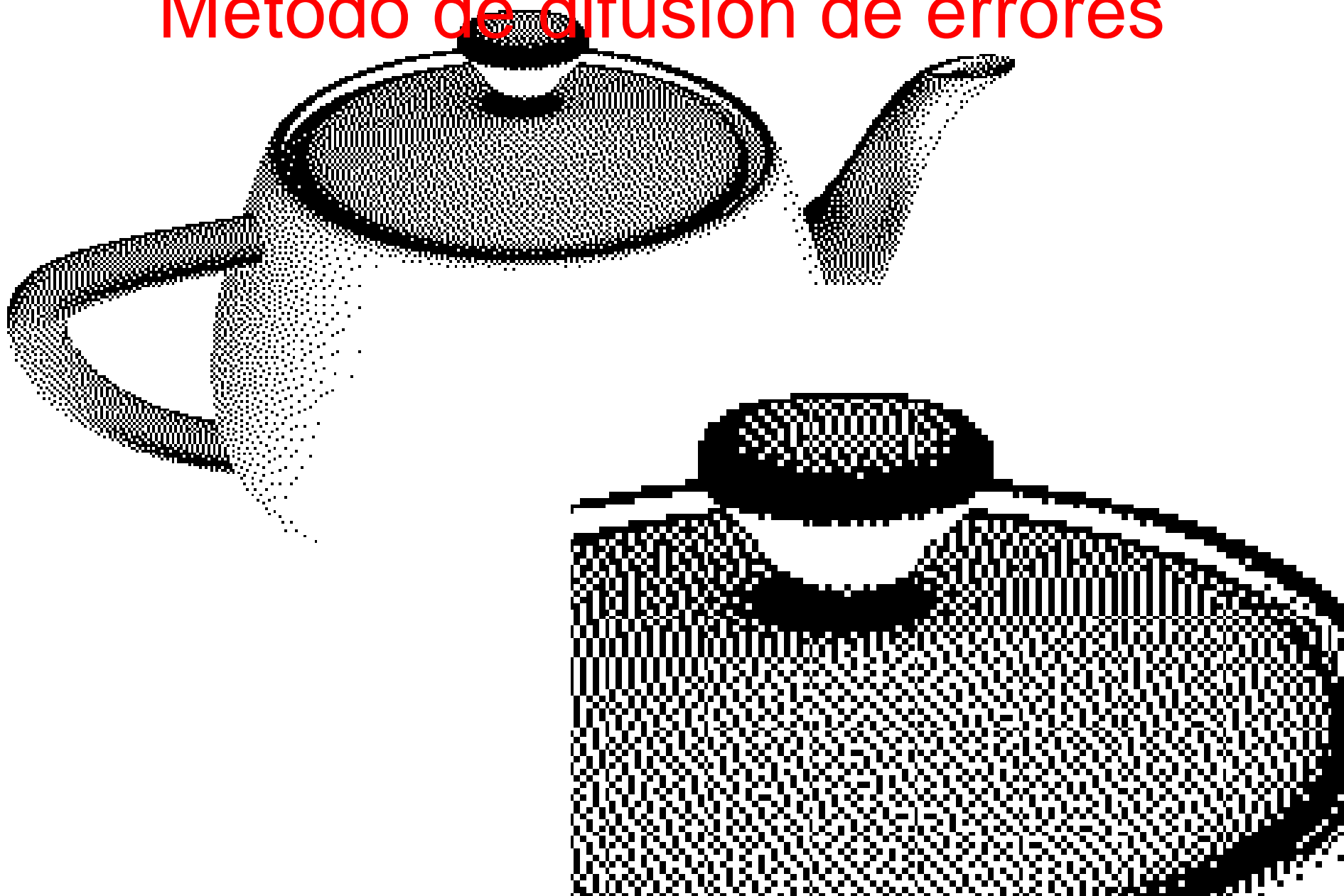
# Método de difusión de errores



# Método de difusión de errores



# Método de difusión de errores



# Luz

# Cromática

Link interesante: <http://www.jiscdigitalmedia.ac.uk/search/googleresults/296cc9a02b167493f6ff885c48ca71ff>



# Conceptos iniciales (percepción)

**Tinte:** distinción entre colores (rojo, verde, violeta, etc.)

**Saturación:** distancia entre un color y el gris de la misma intensidad (el rojo tiene mucha saturación y el rosa tiene poca).

**Claridad:** intensidad percibida de un objeto reflejante

**Brillantez:** intensidad percibida de un objeto que emite luz.

## Conceptos iniciales (pintores)

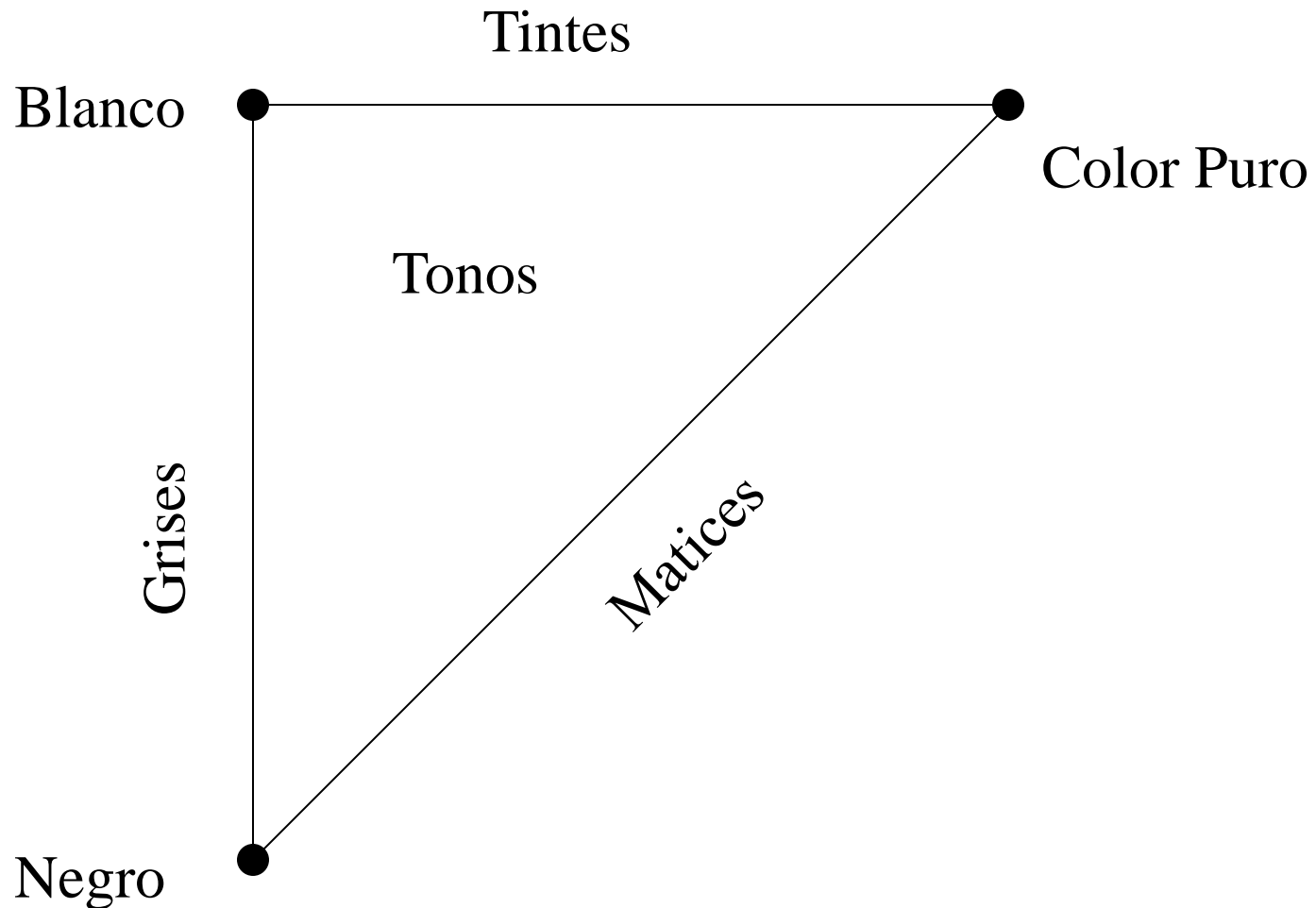
**Se obtiene una tinta:** al añadir un pigmento blanco a un pigmento puro (disminuye la saturación).

**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)



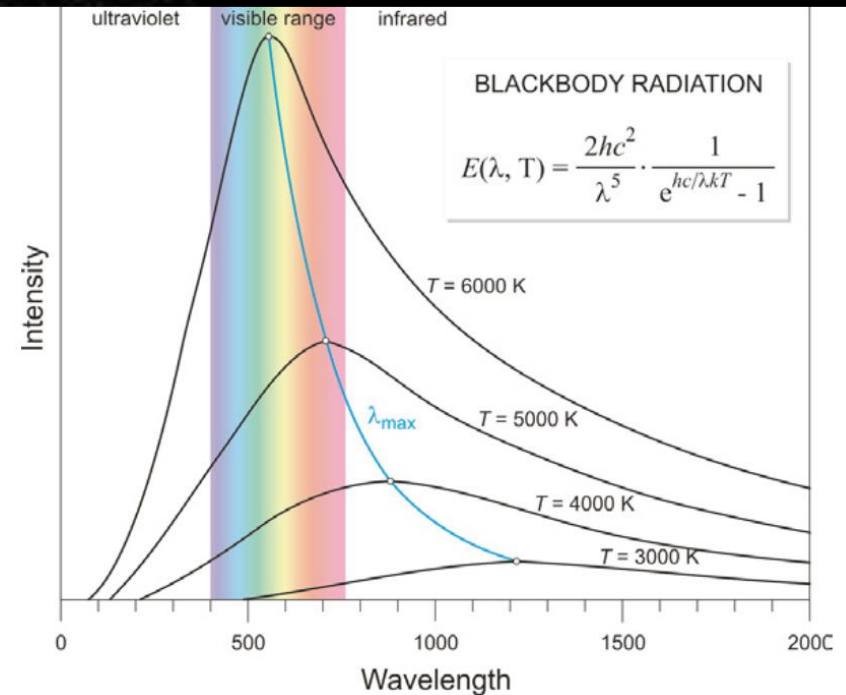
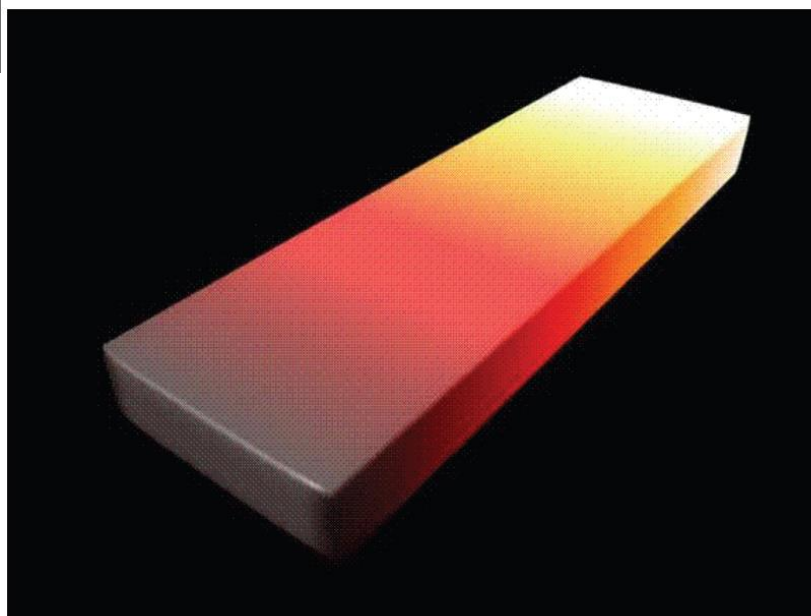
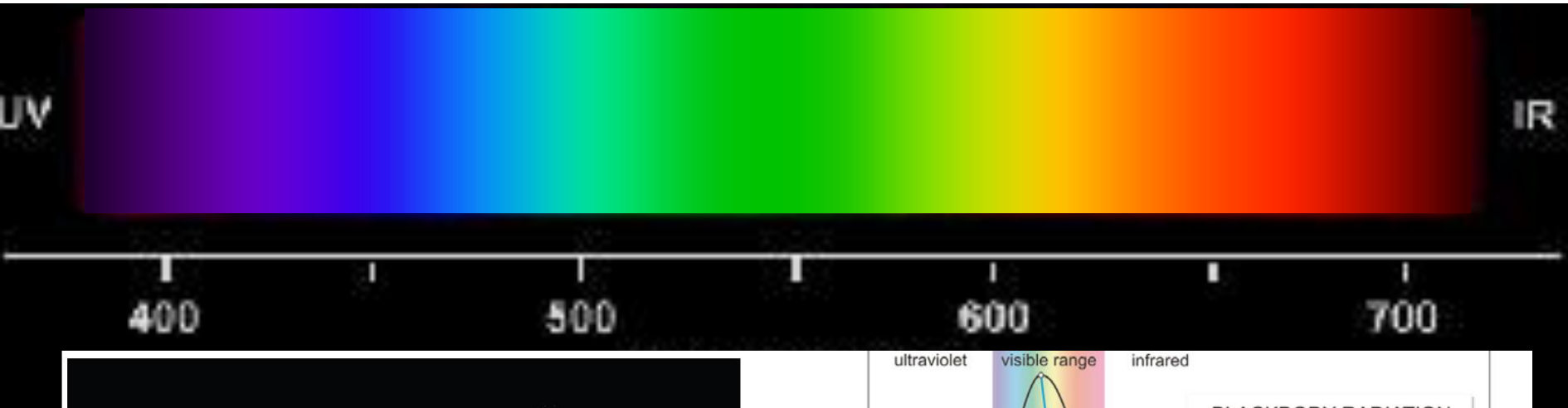
# Conceptos iniciales de Psicofísica

**Longitud de onda dominante:** es la longitud de onda del color que “vemos”, y se corresponde con **Tinte**

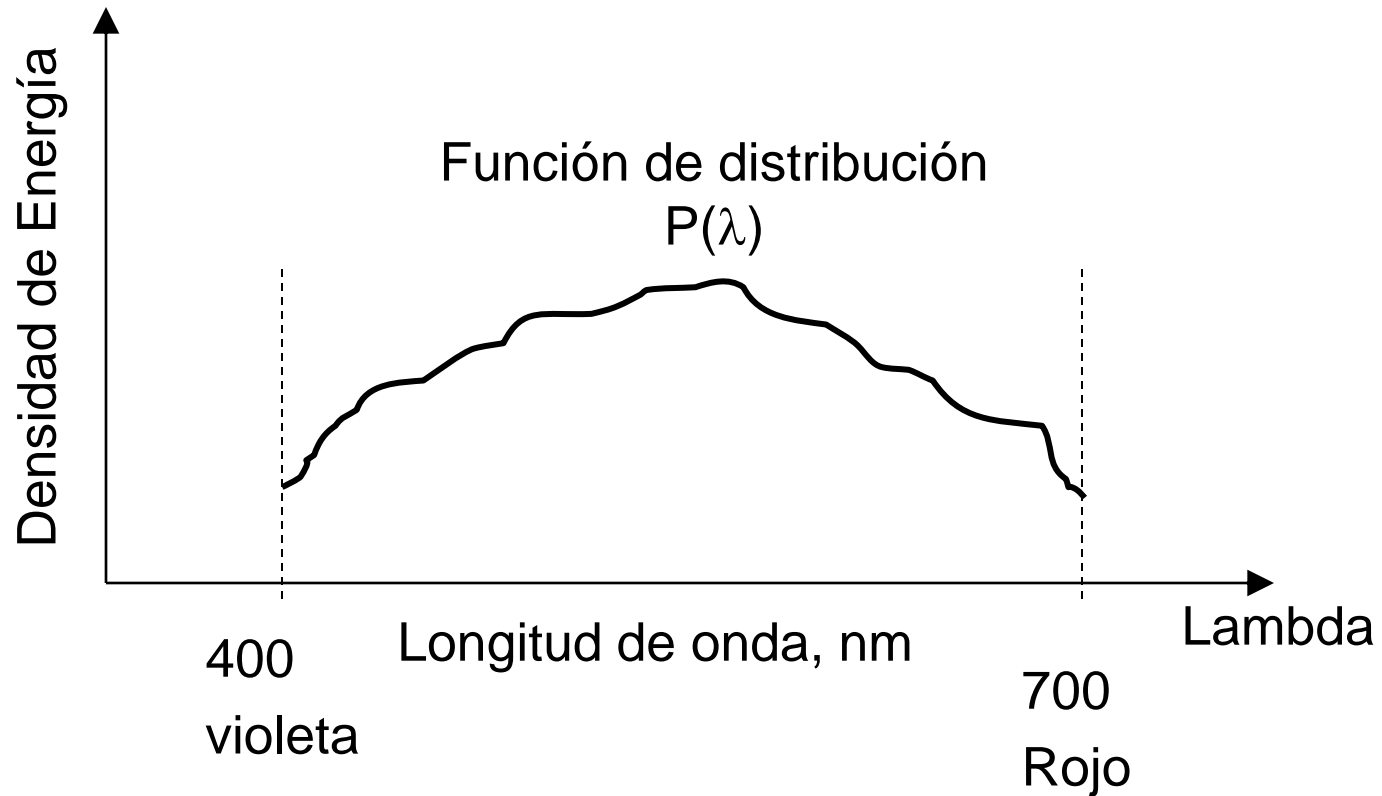
**Pureza de excitación** se corresponde con **Saturación**

**Luminancia** es la cantidad o intensidad de luz, y se corresponde con **Claridad** y **Brillantez**

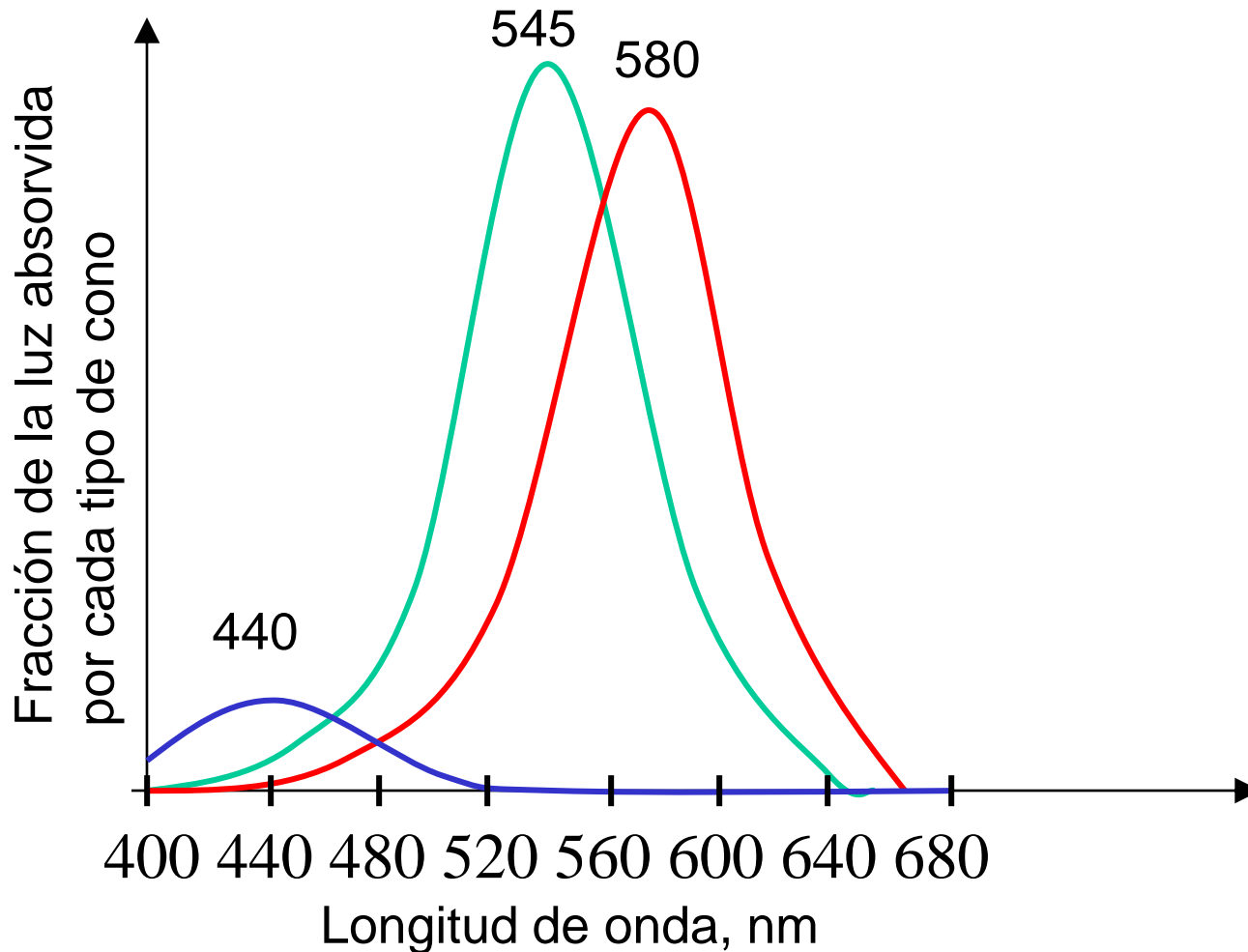
# Espectro visible de la luz



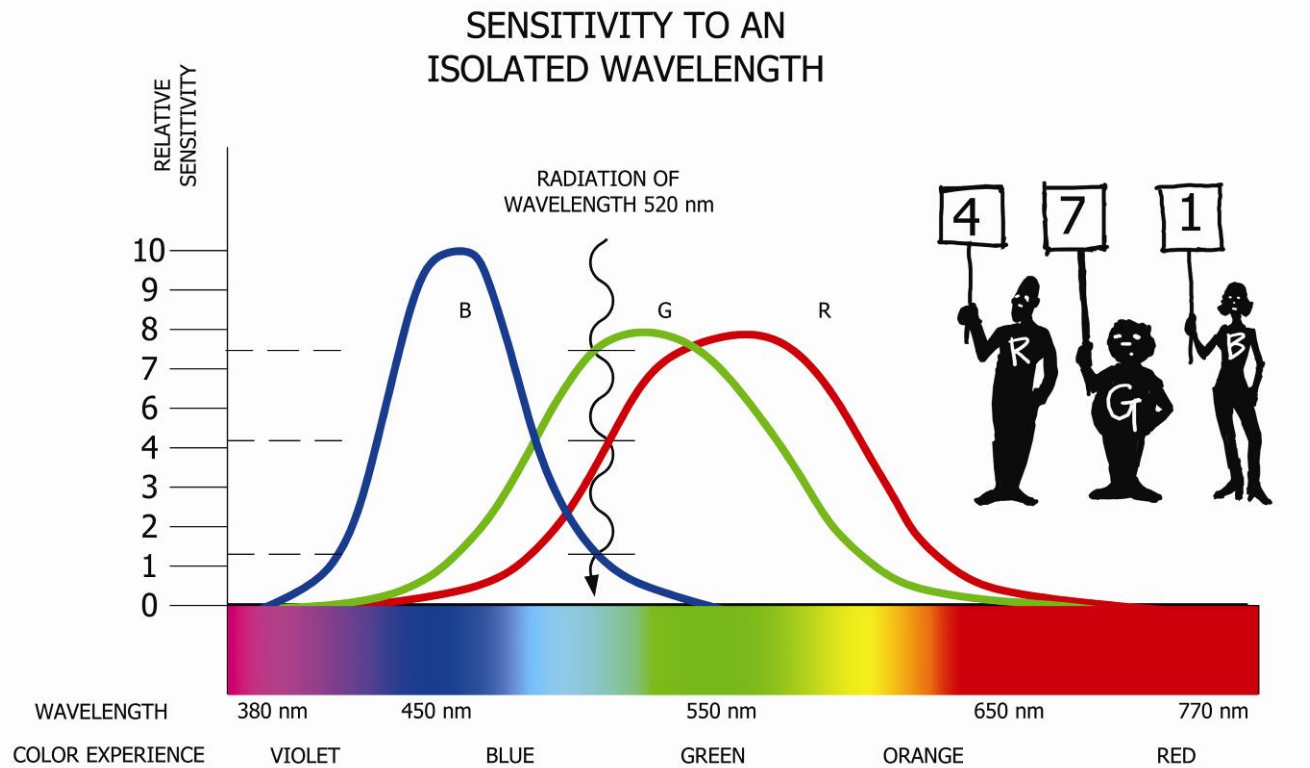
# Distribución espectral típica de la luz



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

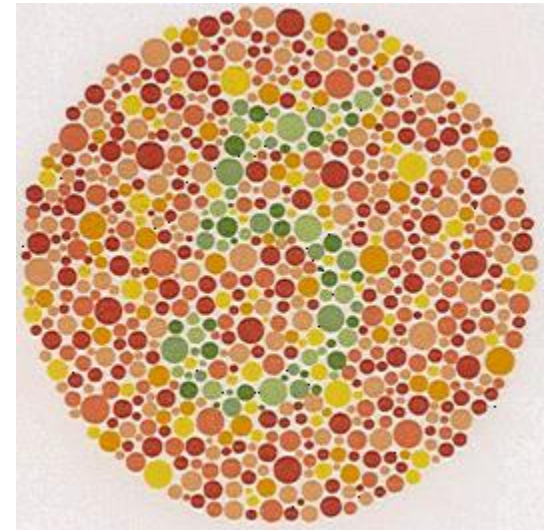
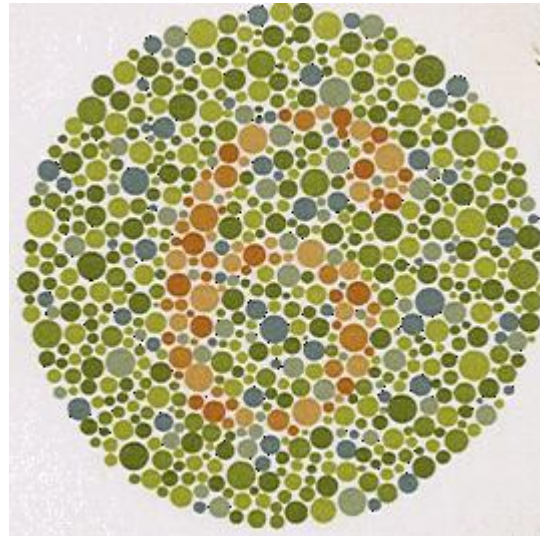
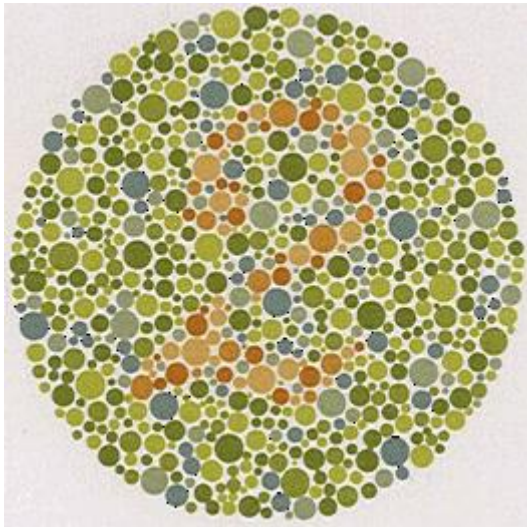


# Funciones de respuesta espectral de los tres tipos de conos en la retina humana.



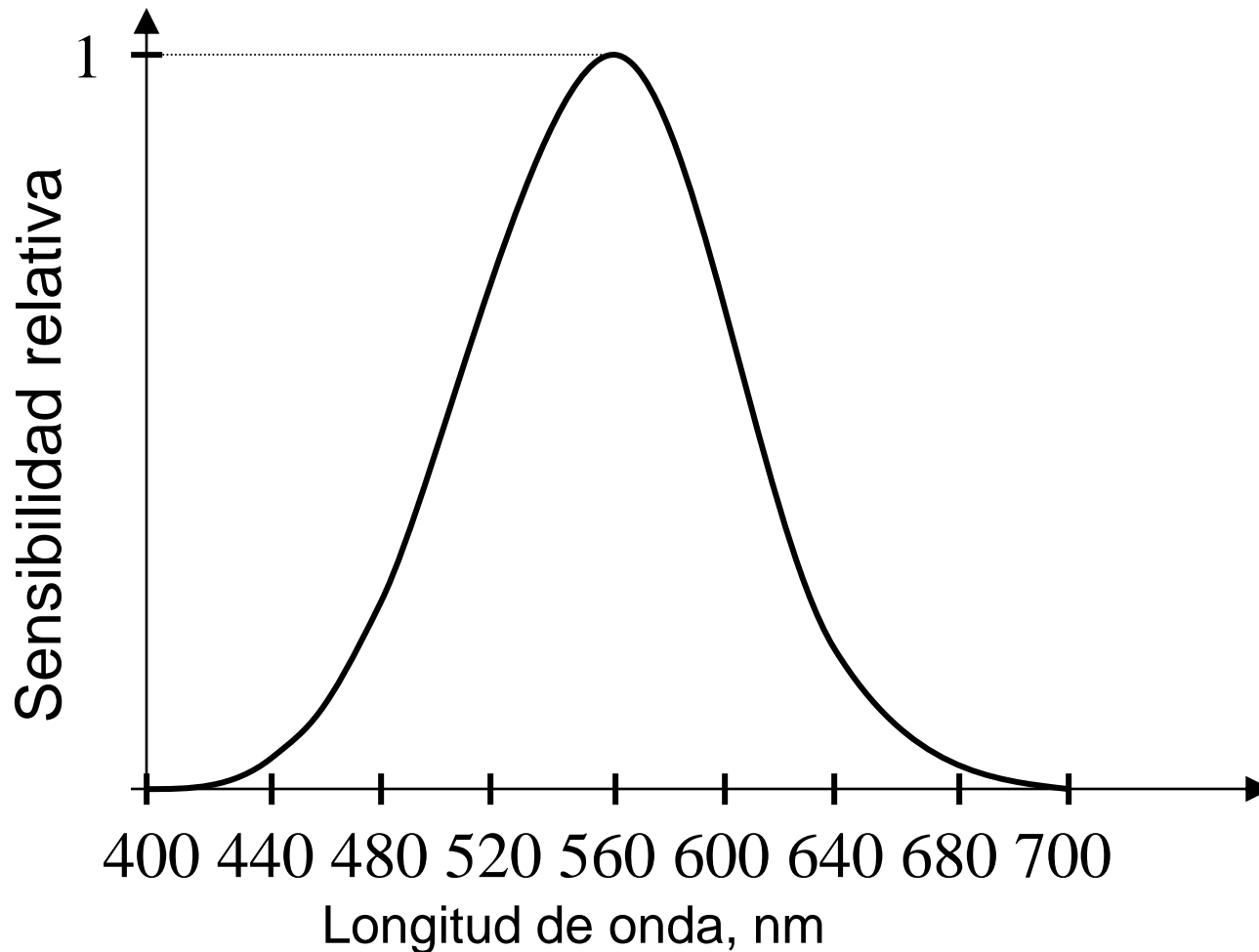


No todos pueden percibir bien los colores.

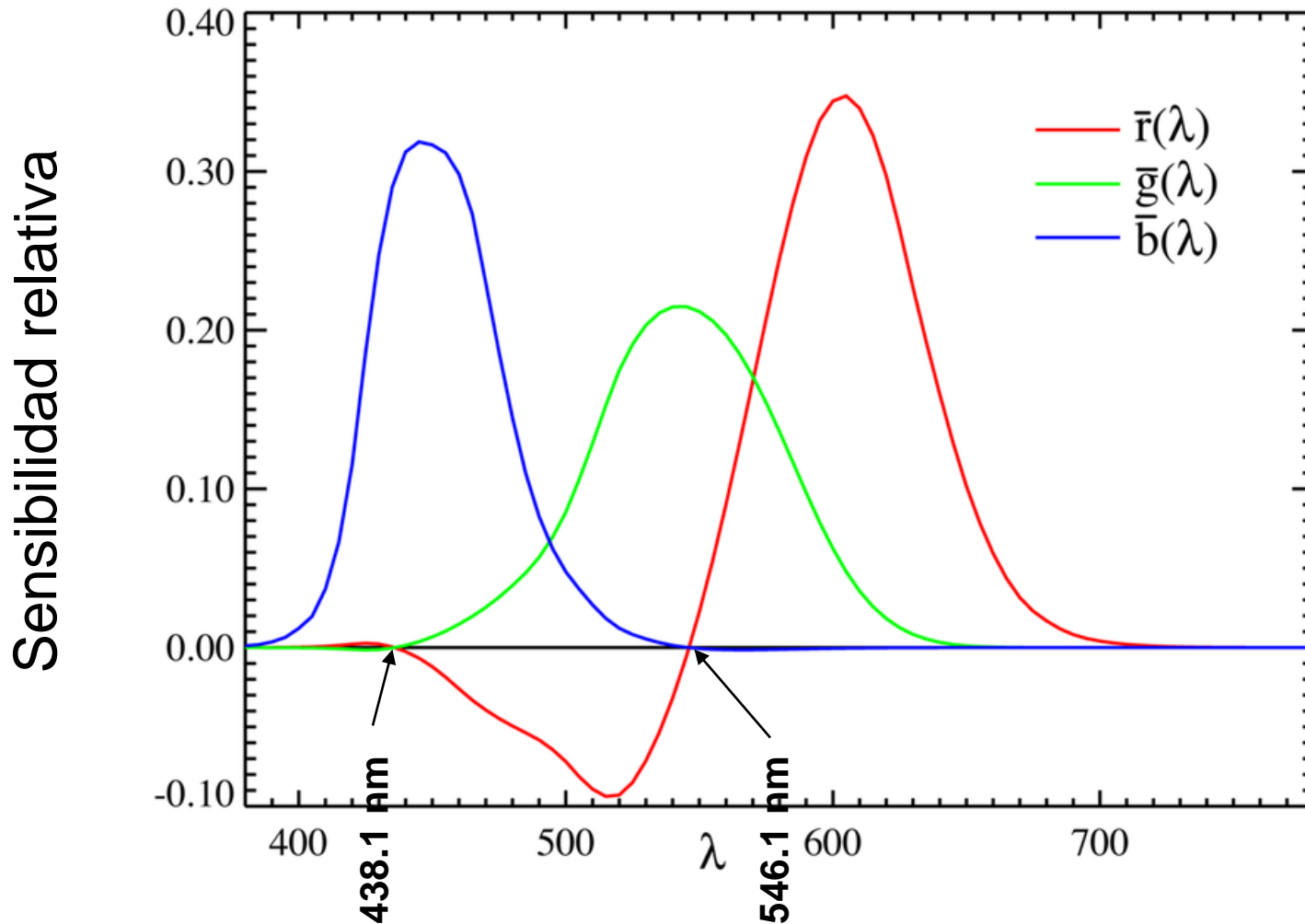


Hay personas que padecen de daltonismo o ceguera al color (color blindness). Dichas personas tienen problemas para distinguir los símbolos representados en estas gráficas

# Funciones de eficiencia luminosa (luminancia) para el ojo humano.



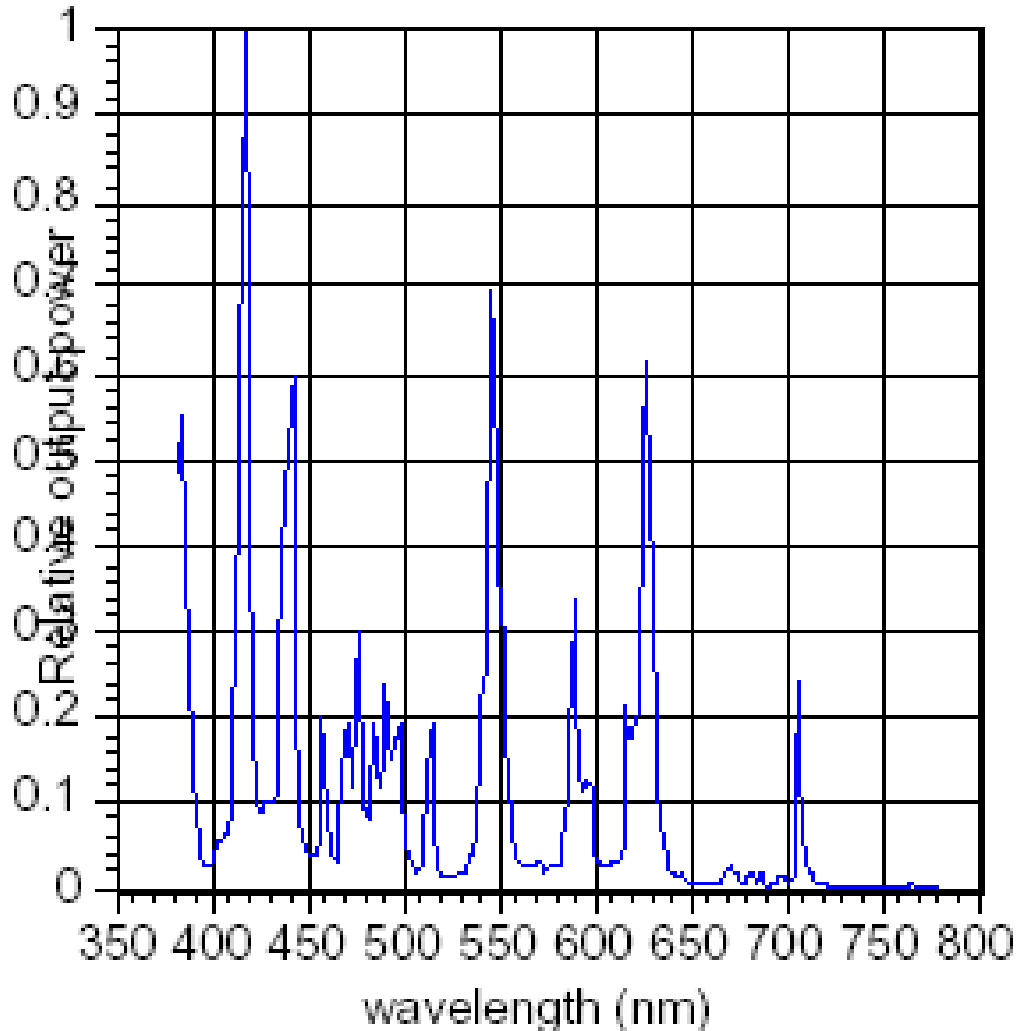
Funciones de equivalencia de colores.  
Cantidades de los 3 colores primarios necesarios para  
igualar las longitudes de onda del espectro visible.



# Percepción del ojo humano

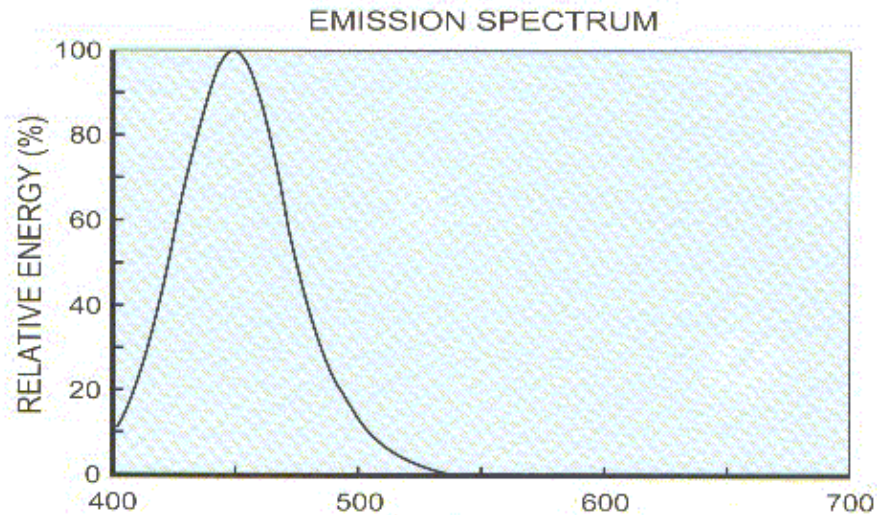
- Percibe cientos de miles de colores (hay que juzgar entre colores que se encuentren uno al lado del otro y solo hay que juzgar si son iguales o distintos).
- Cuando colores solo difieren en el tinte, la longitud de onda mínima varía entre 10nm (en los extremos del espectro) a menos de 2nm entre 480nm (azul) y 580nm (amarillo)

# Percepción del ojo humano

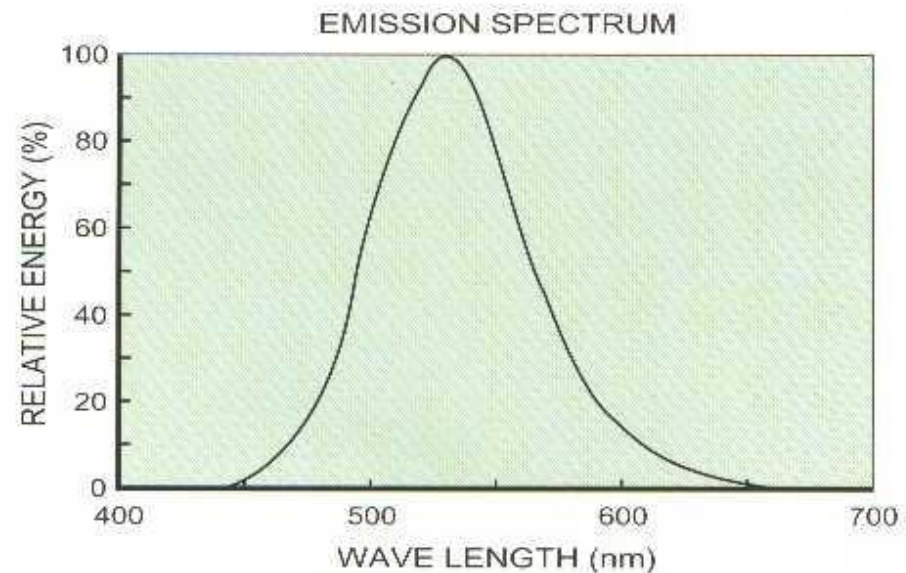
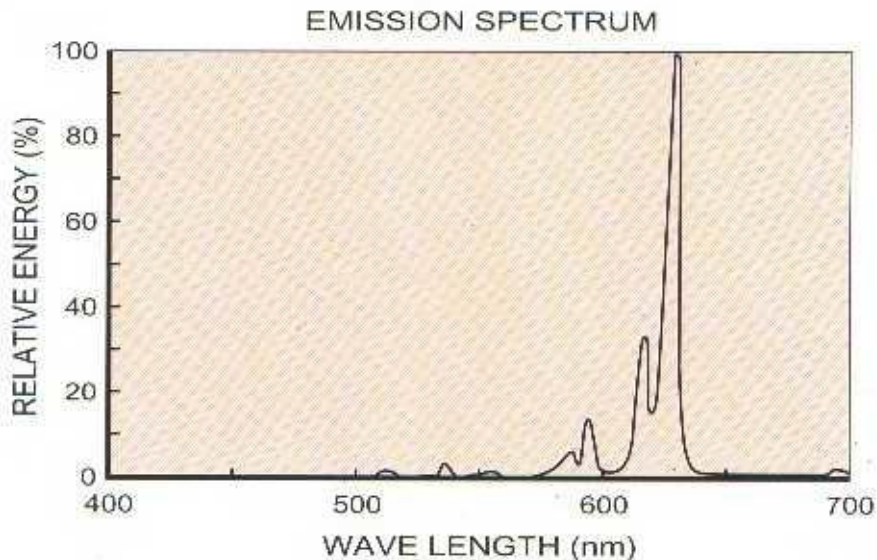


- Espectro de un CRT que emite “luz blanca”
- No emite en todas las frecuencias, pero si emite en longitudes de onda alta, media y baja.
- Con esto alcanza para ser percibido como luz blanca.

# Emisiones del fósforo de los monitores

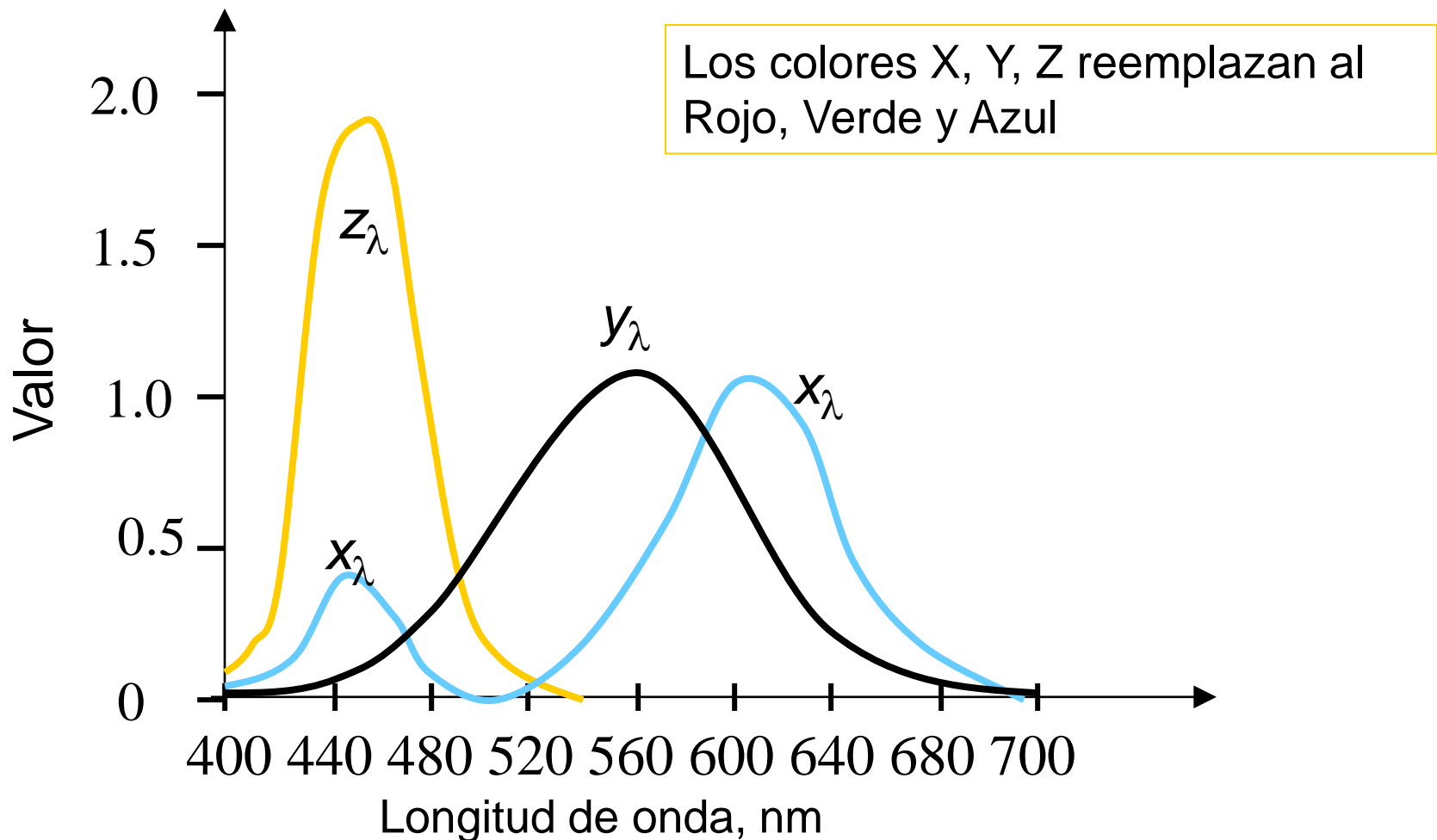


- Espectro de los distintos fósforos de un monitor CRT.



# Diagrama de Cromaticidad CIE

Funciones de equivalencia  $x_\lambda$ ,  $y_\lambda$ ,  $z_\lambda$  para los colores primarios X, Y, Z



# Diagrama de Cromaticidad CIE

- **Y** corresponde con la eficiencia luminosa (luminancia)
- **Z** es similar a la sensibilidad del cono azul.
- **X** es una combinación lineal de la sensibilidad de los conos, elegida para ser siempre positiva y ortogonal a la luminancia.



# Diagrama de Cromaticidad CIE

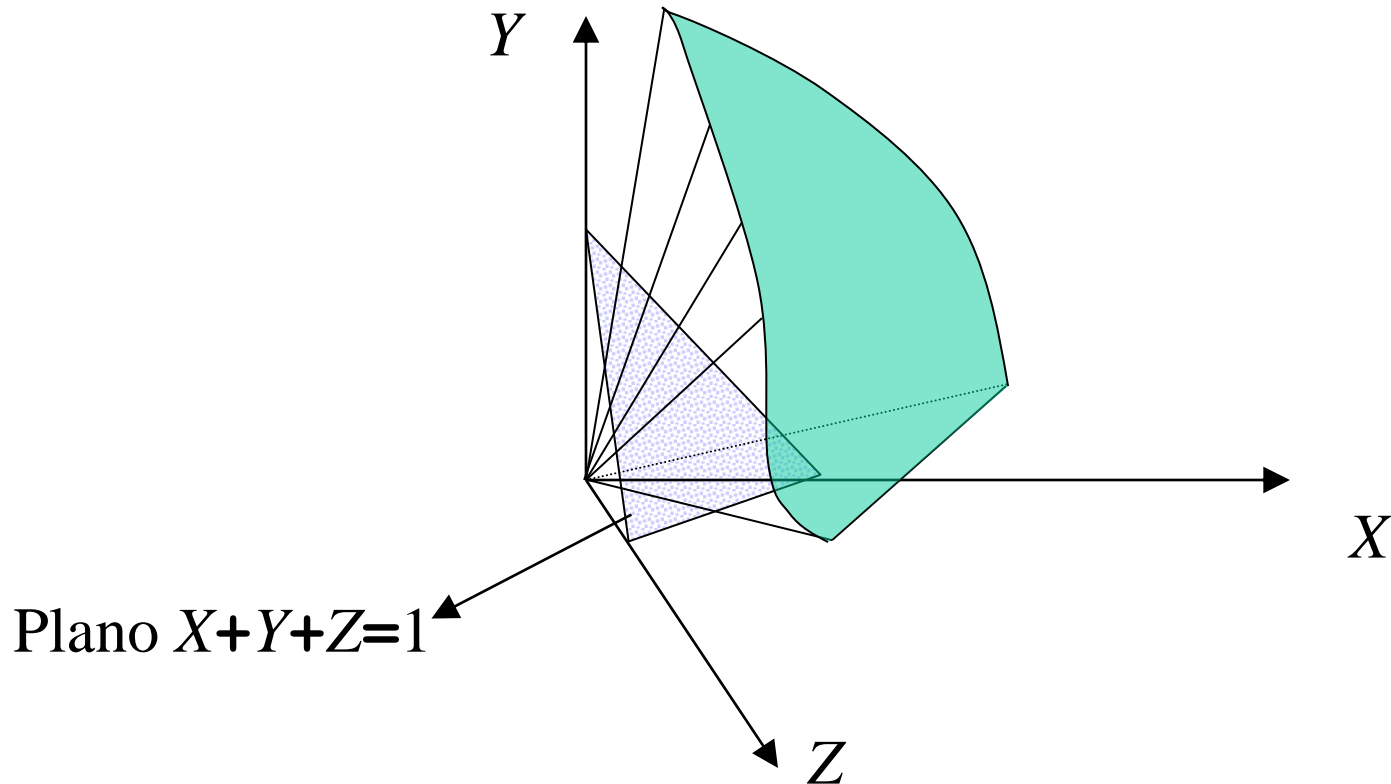
- **X**, **Y**, **Z** se usan para igualar todos los colores que podemos ver, solamente con ponderaciones positivas.

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

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

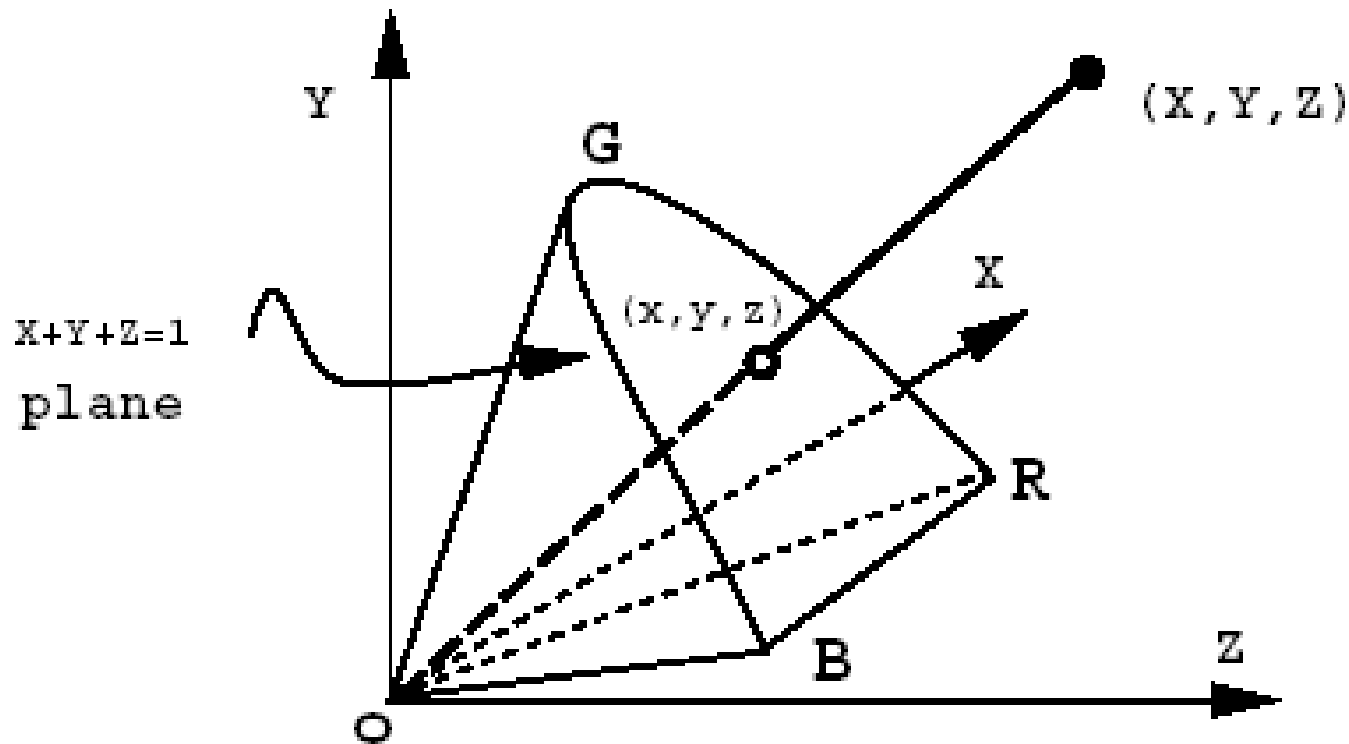
$$XX + YY + ZZ = C$$

# Cono de los colores visibles en el espacio de colores CIE



# Diagrama de Cromaticidad CIE

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



# Diagrama de Cromaticidad CIE

$$x=X/(X + Y + Z) , y=Y/(X + Y + Z) , z=Z/(X + Y + Z)$$

$$x + y + z = 1$$

⇒A partir de  $x$  e  $y$  se puede calcular  $z$

⇒A partir de  $x$  e  $y$  **NO** se puede calcular  $X, Y, Z$

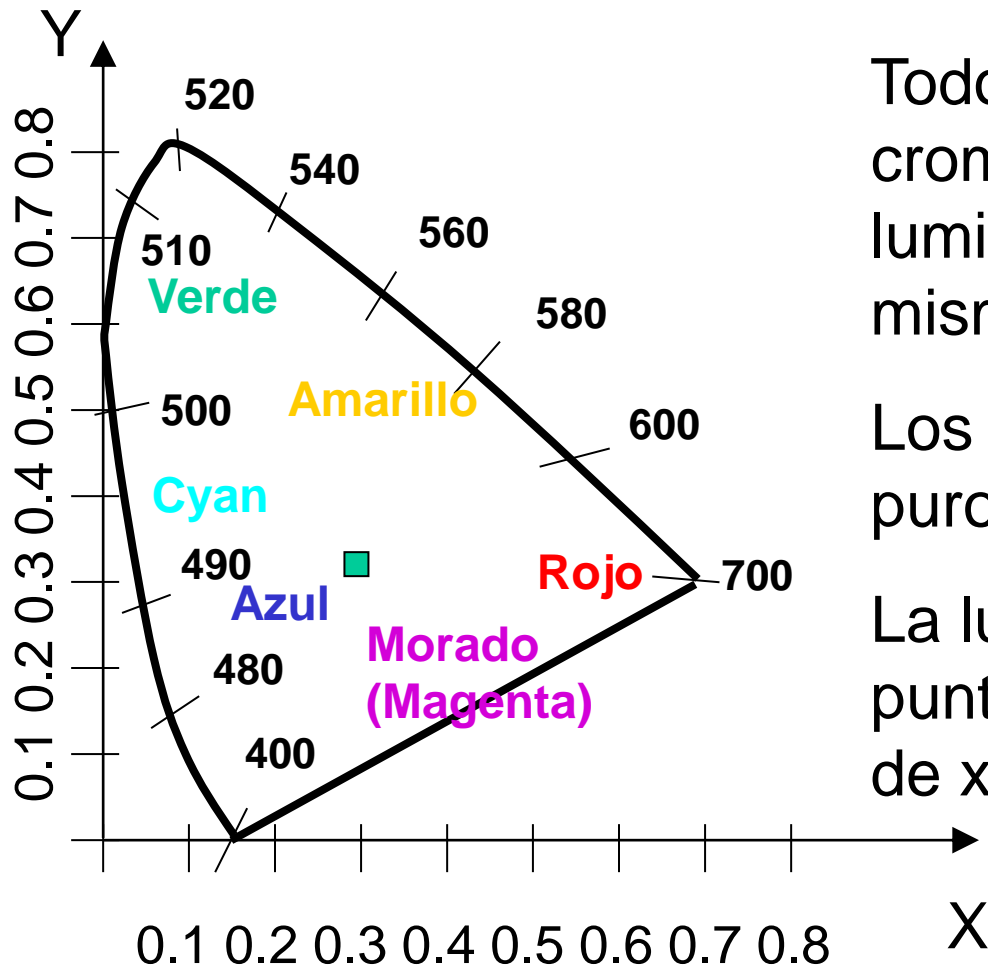
⇒A partir de  $x, y$  e  $Y$  (luminancia) **SÍ** se puede calcular  $X, Y, Z$

$$X = Y \cdot x/y , Z = (1-x-y) \cdot y/Y , Y = y$$

Graficación de  $x$  e  $y$  para todos los colores visibles  
(proyección sobre el plano  $(X,Y)$  del plano  $X + Y + Z = 1$ )



# Graficación de x e y para todos los colores visibles (proyección sobre el plano $(X,Y)$ del plano $X + Y + Z = 1$ )

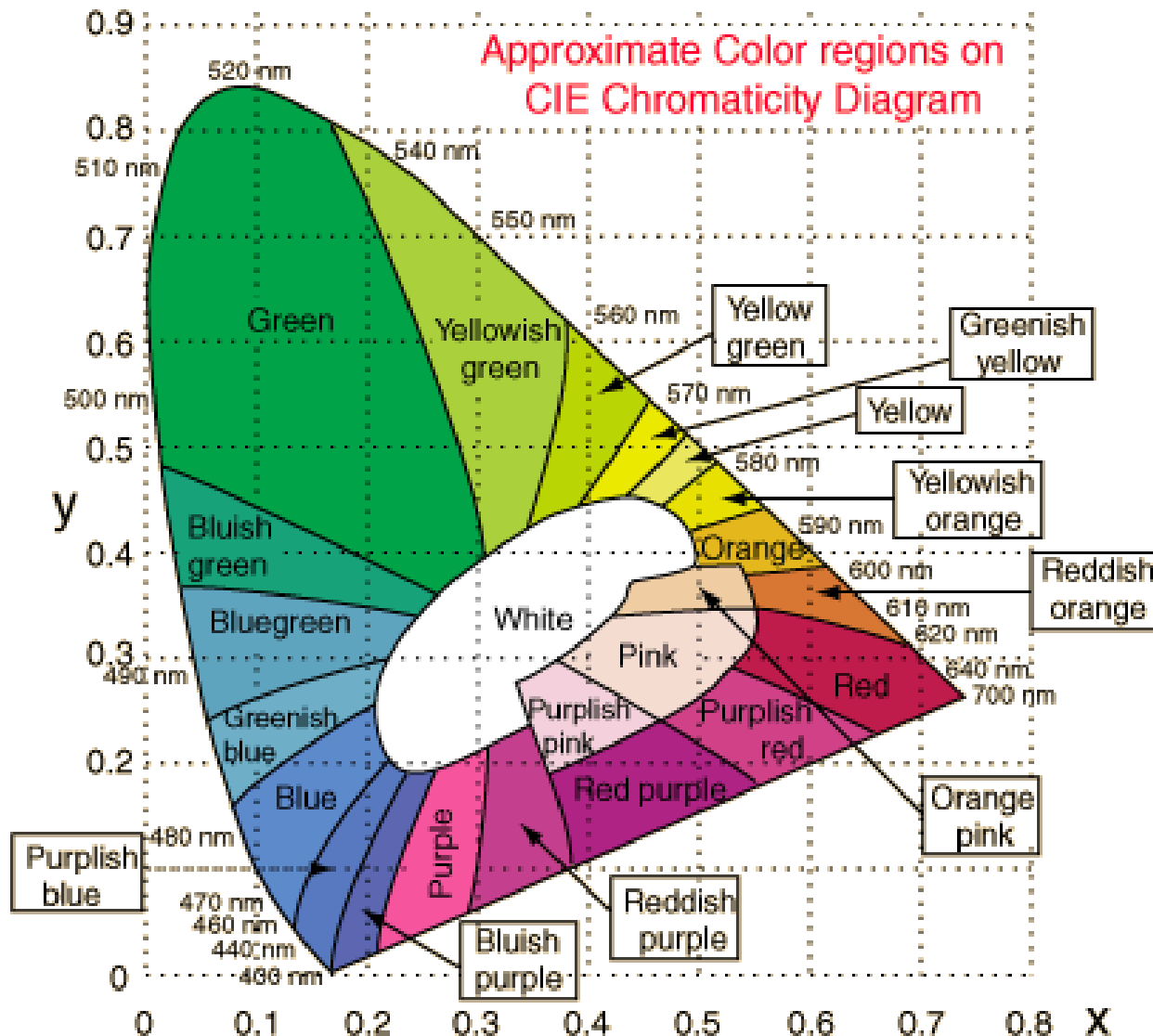


Todos los colores de la misma cromaticidad pero diferente luminancia se representan por el mismo punto

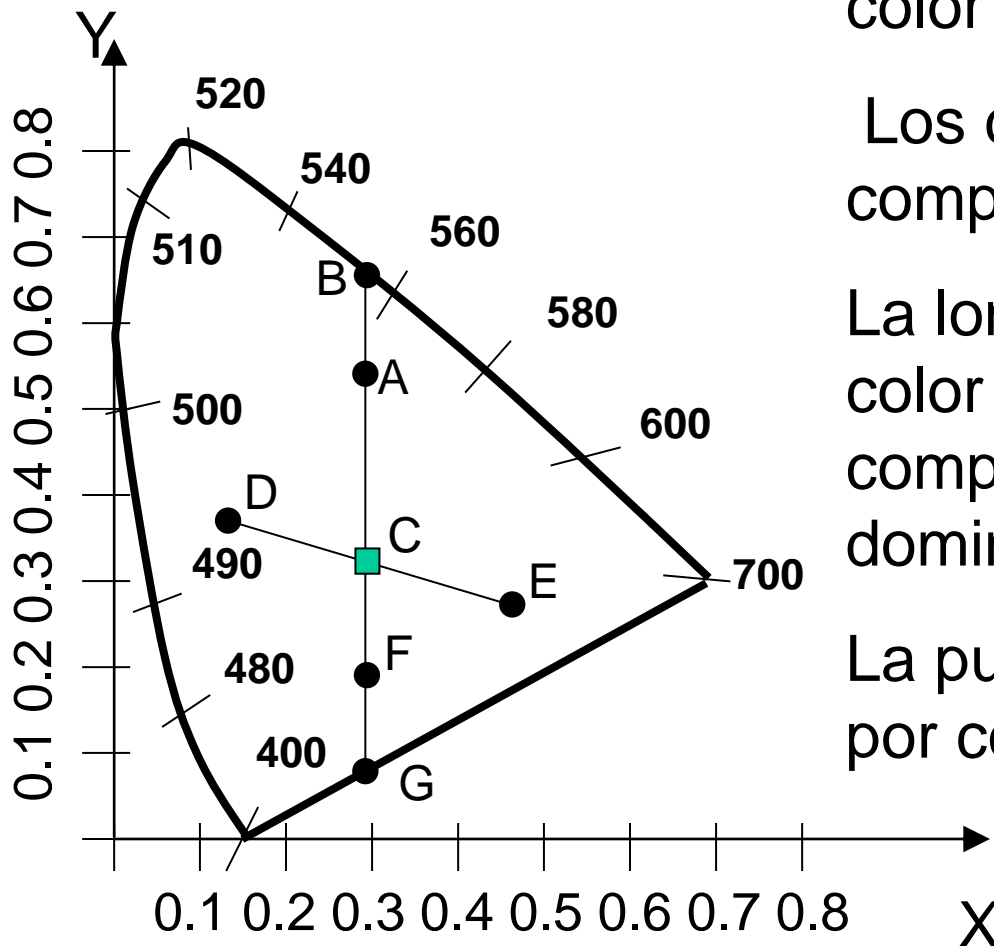
Los colores de la periferia son puros.

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

# Graficación de x e y para todos los colores visibles (proyección sobre el plano $(X, Y)$ del plano $X + Y + Z = 1$ )



# Colores en el diagrama de cromaticidad



La longitud de onda dominante del color A es la del color B.

Los colores D y E son complementarios.

La longitud de onda dominante del color F se define como el complemento de la longitud de onda dominante del color A.

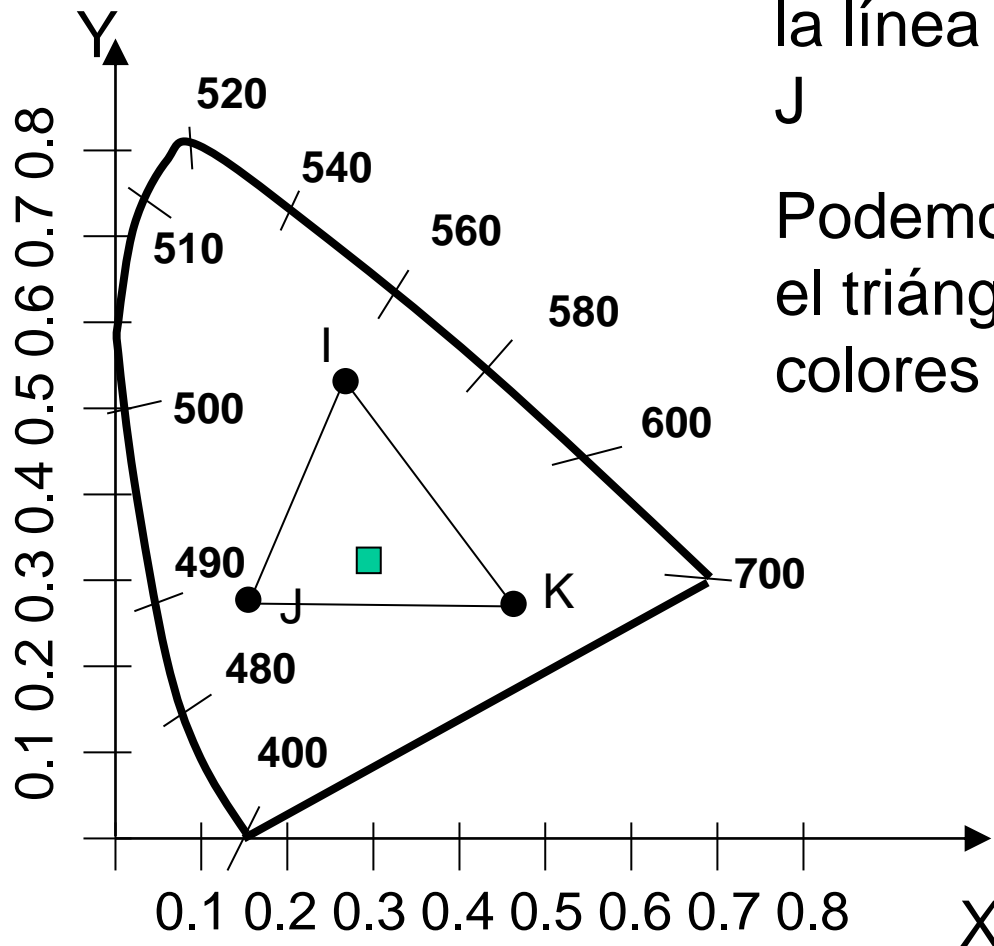
La pureza de excitación se define por cocientes:  $\overline{CA}/\overline{CB}$  ;  $\overline{CF}/\overline{CG}$



# Mezcla de colores

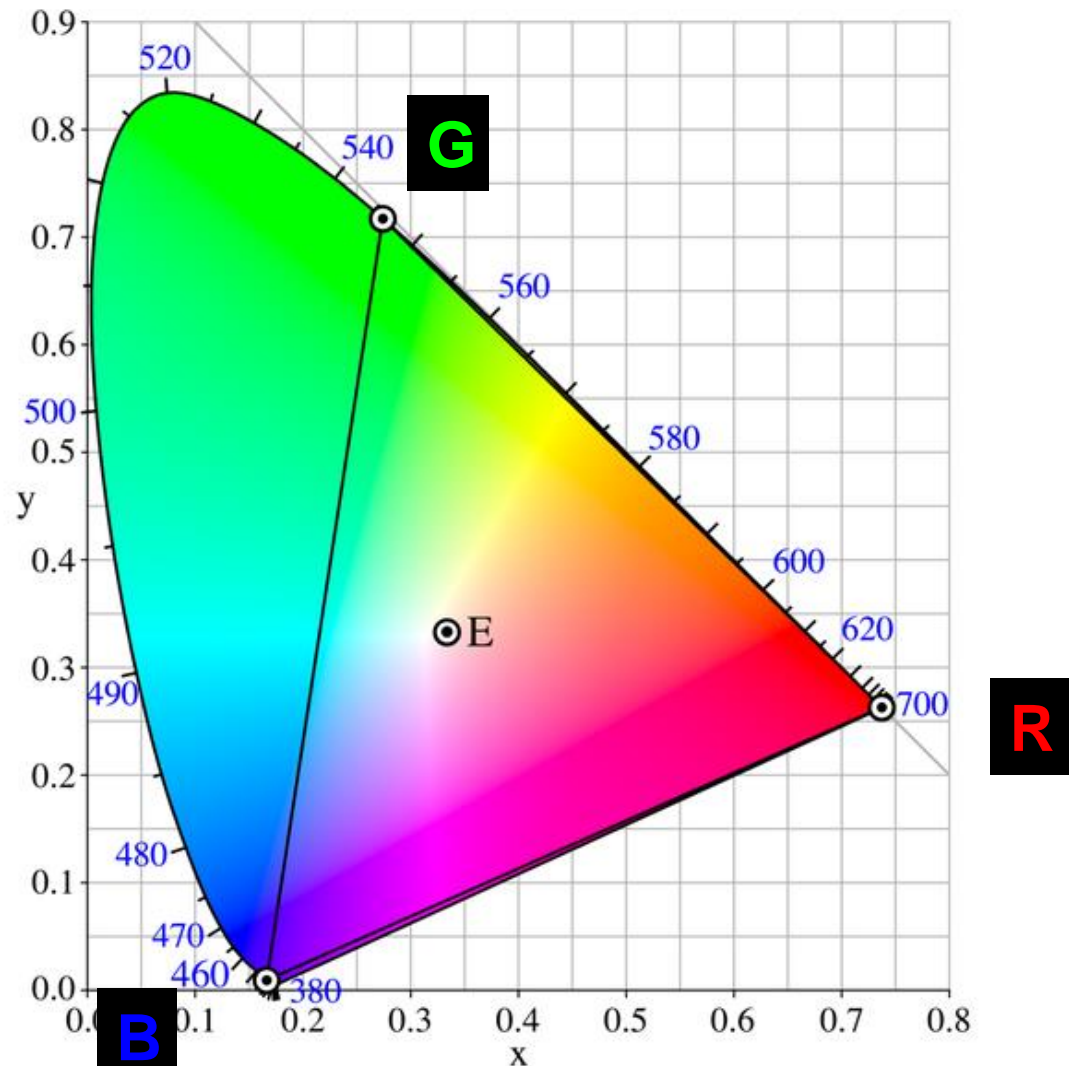
Podemos crear todos los colores en la línea IJ mezclando los colores I y J

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

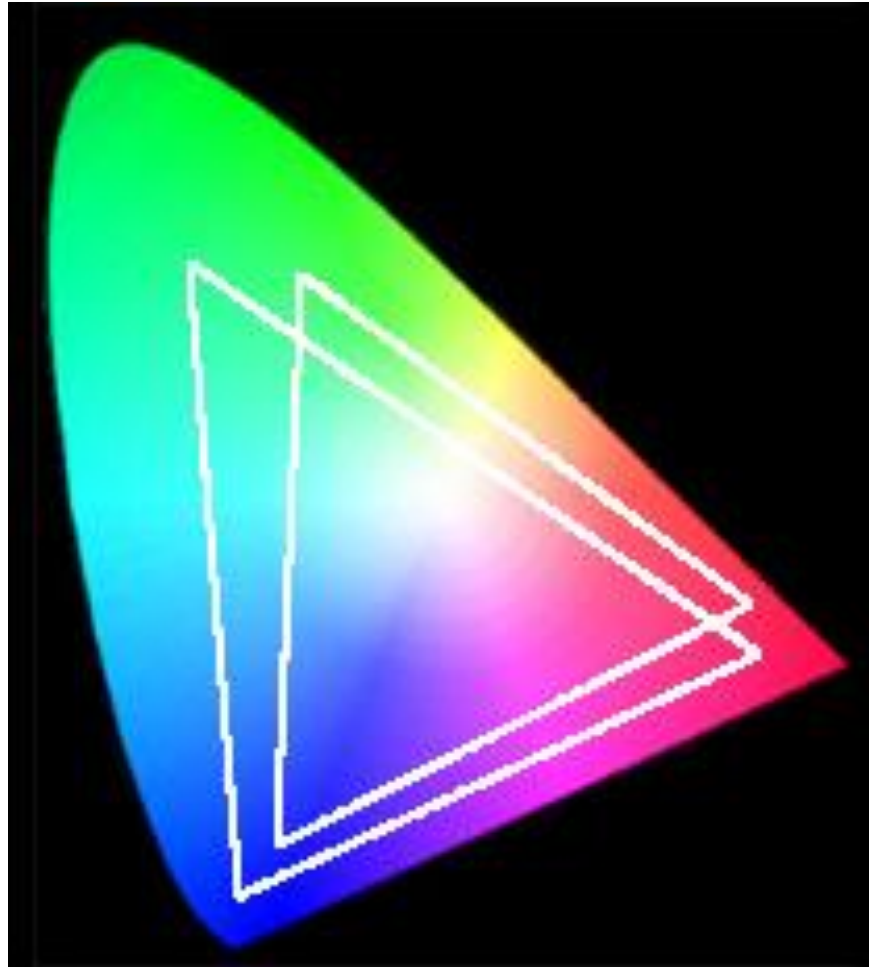


# Qué colores son posibles generar con RGB

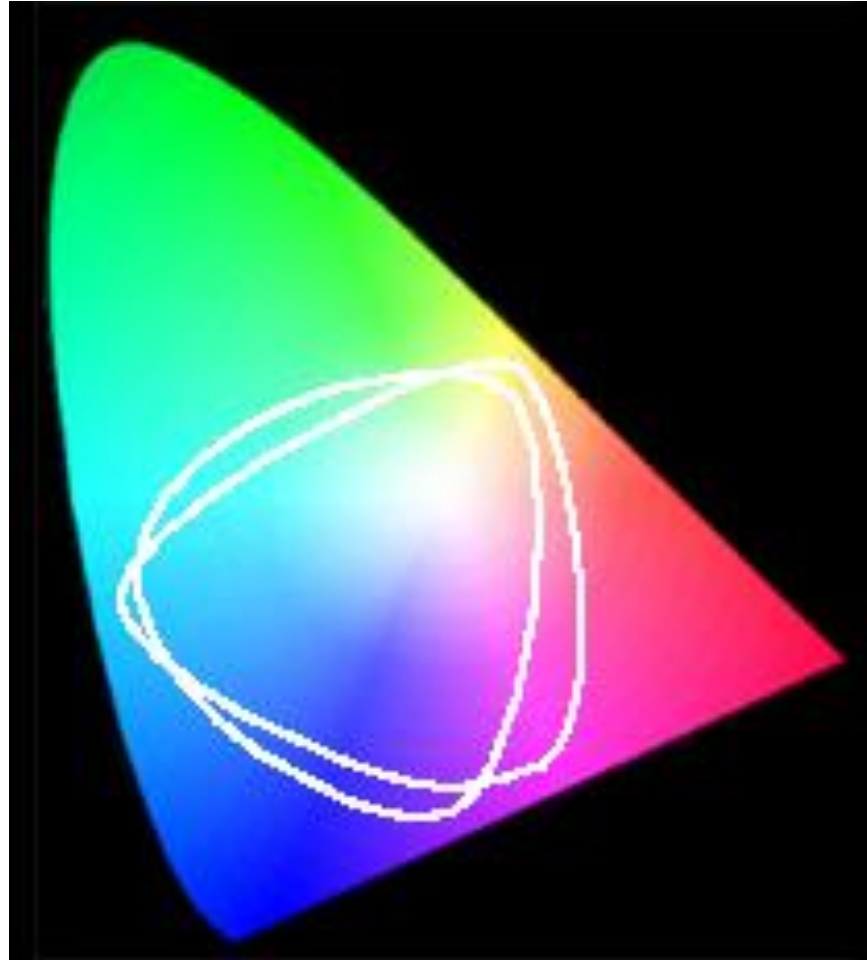
Compárelo con la función de equivalencia de RGB y el espectro.



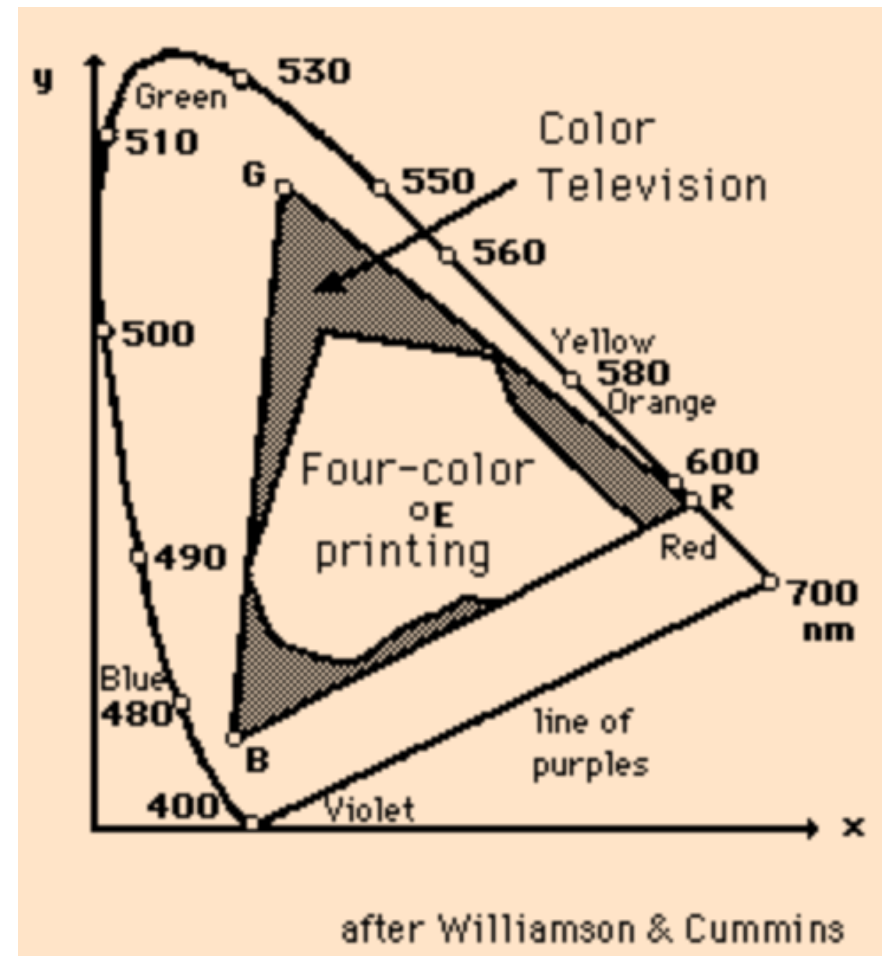
# Mezcla de colores (2 monitores diferentes)



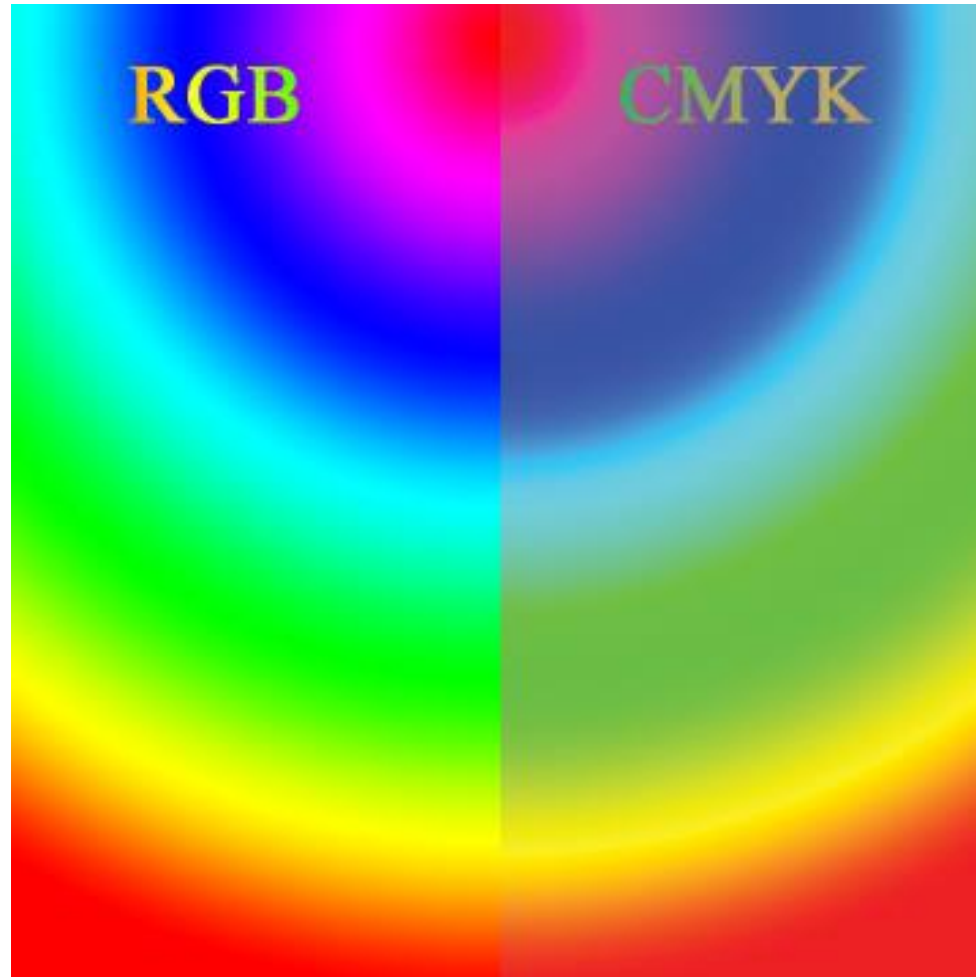
# Mezcla de colores (2 impresoras diferentes)



# Mezcla de colores (impresoras y monitor)



# Mezcla de colores (impresoras y monitor)



# Modelos de colores para gráficos de trama

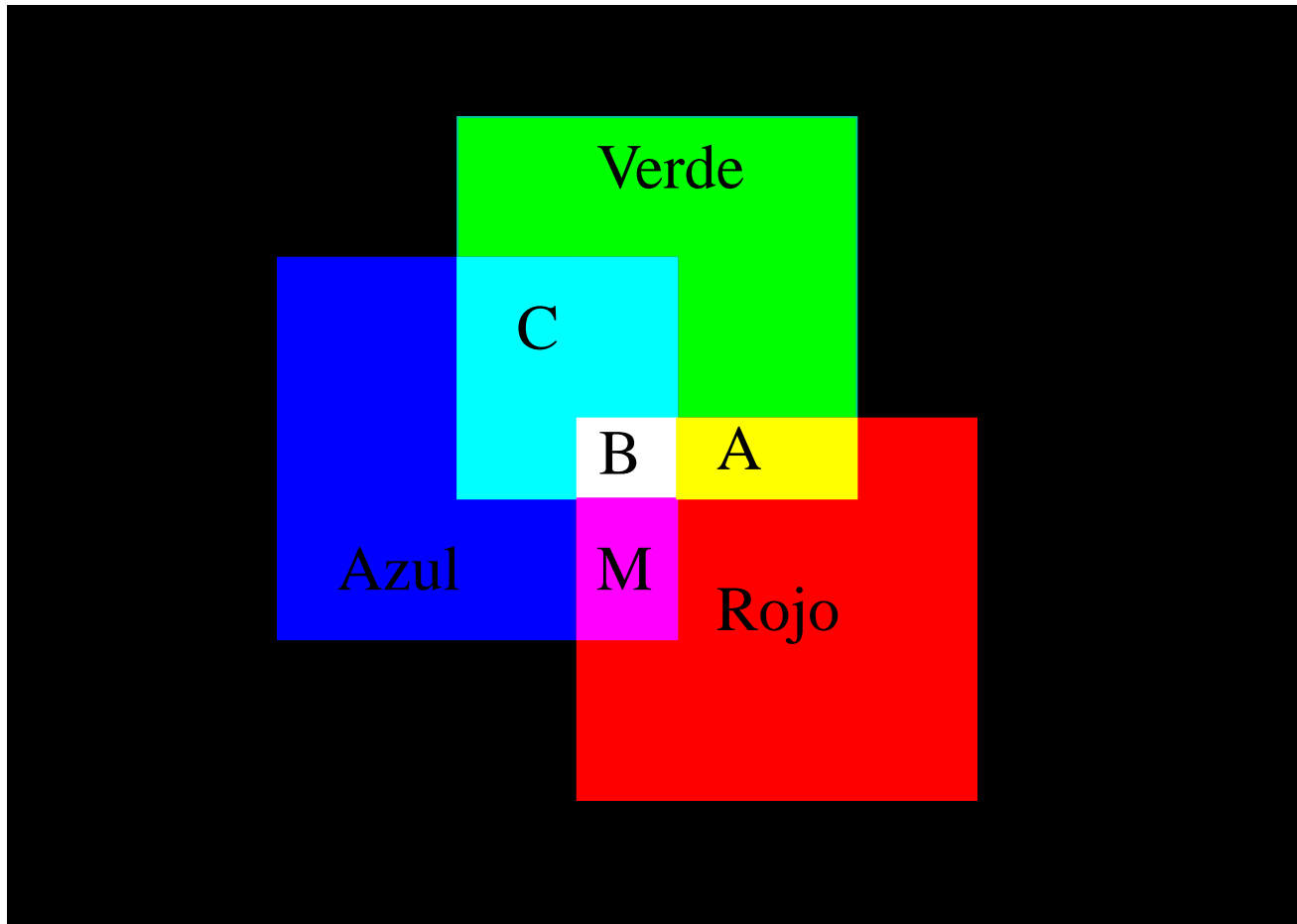
**RGB (monitores)**

**CMY (impresoras)**

**YIQ (televisión)**

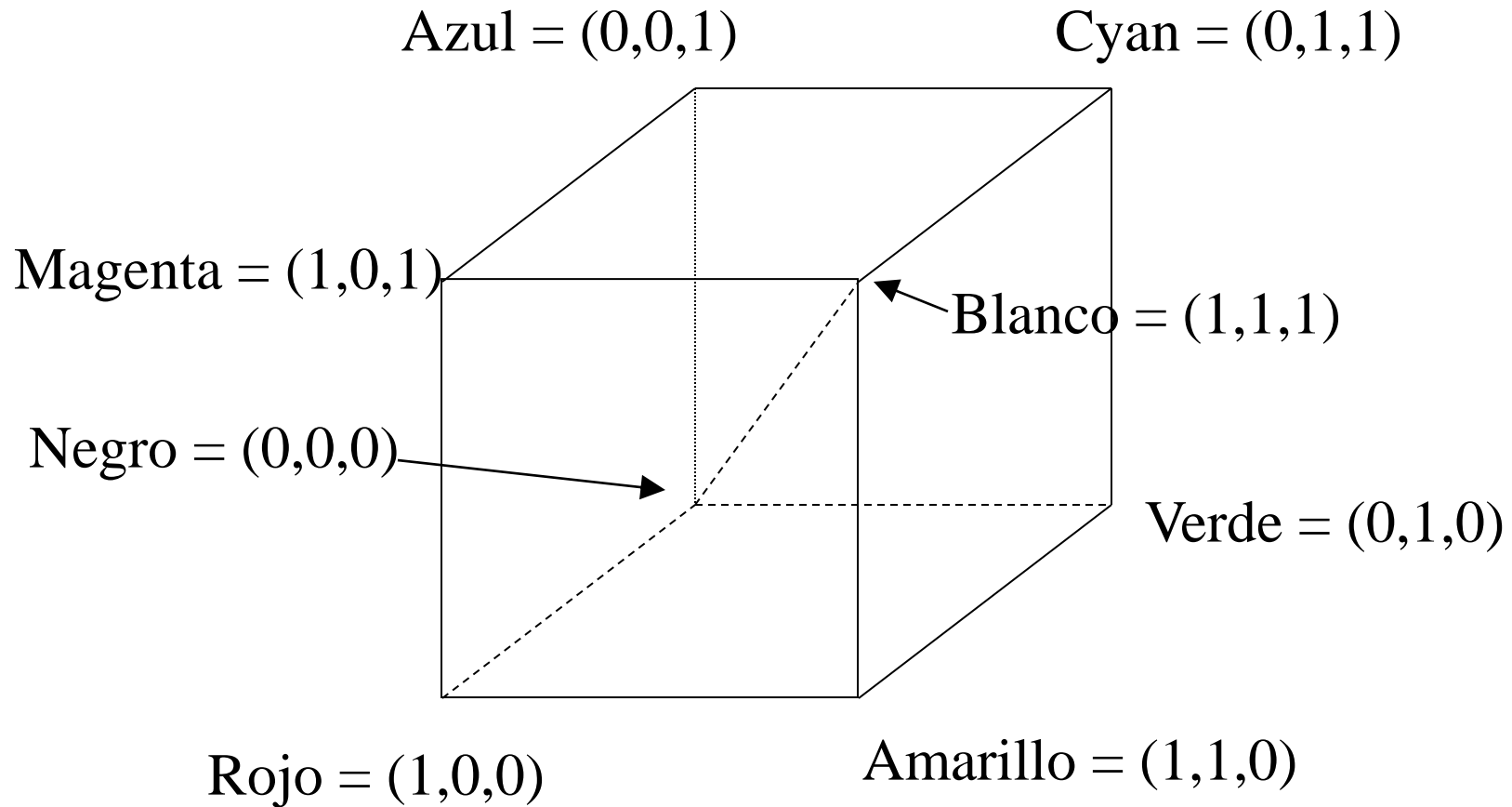
**HSV o HSB (para manejo intuitivo del color)**

# RGB





# RGB



# Conversión de XYZ a RGB

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

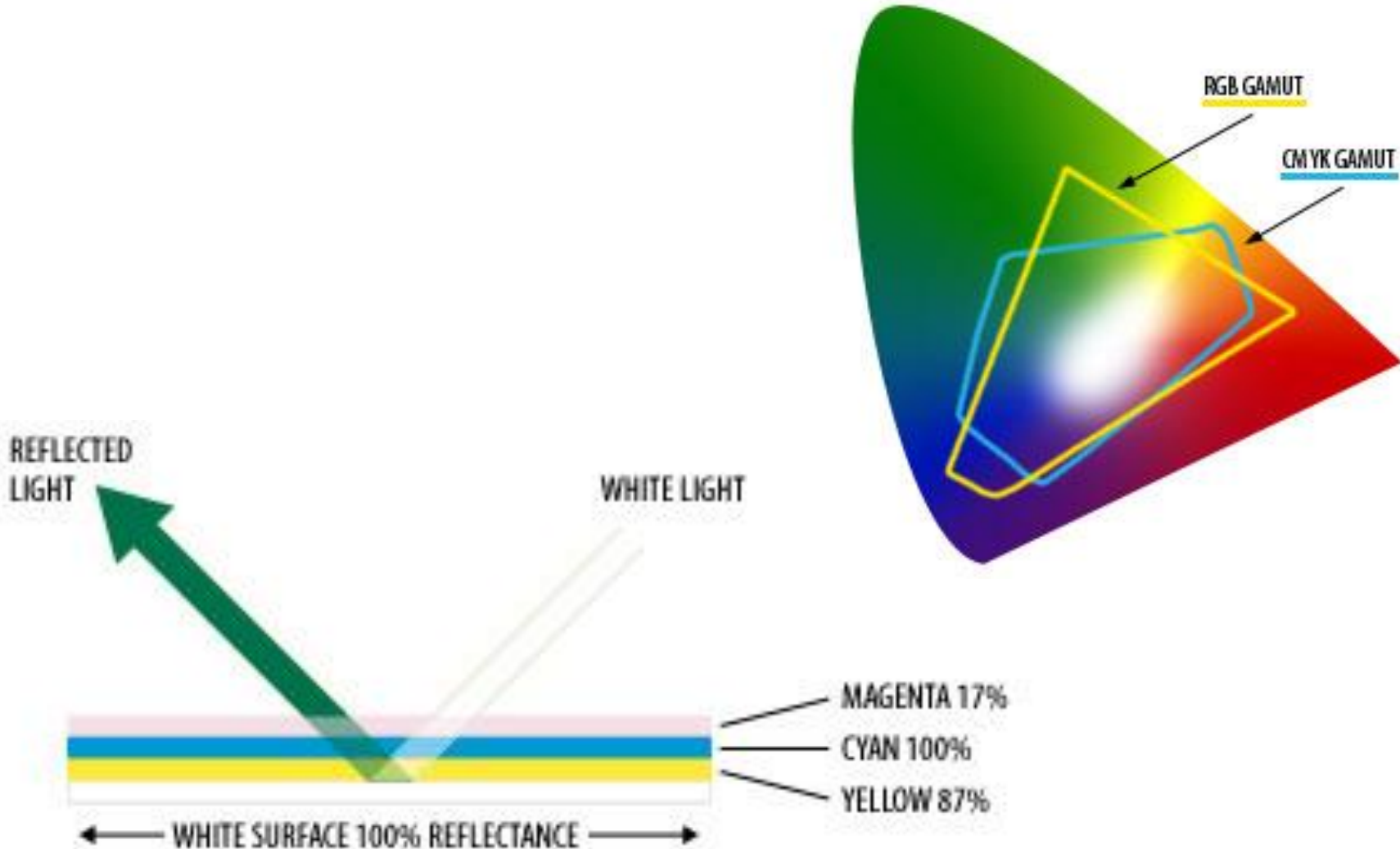
- Then convert to nonlinear (standard) sRGB values by applying the following to each component  $C$ :

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

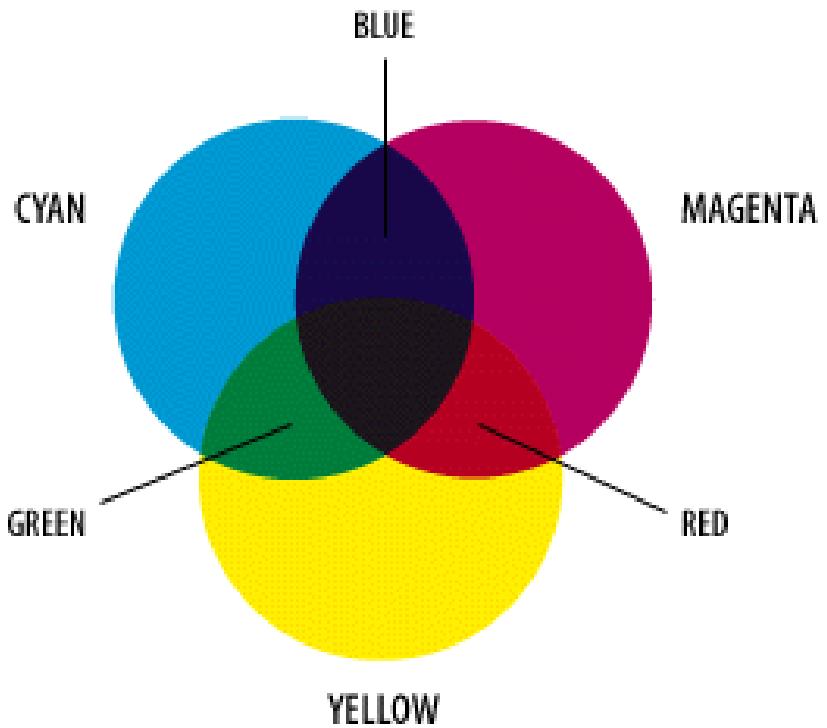
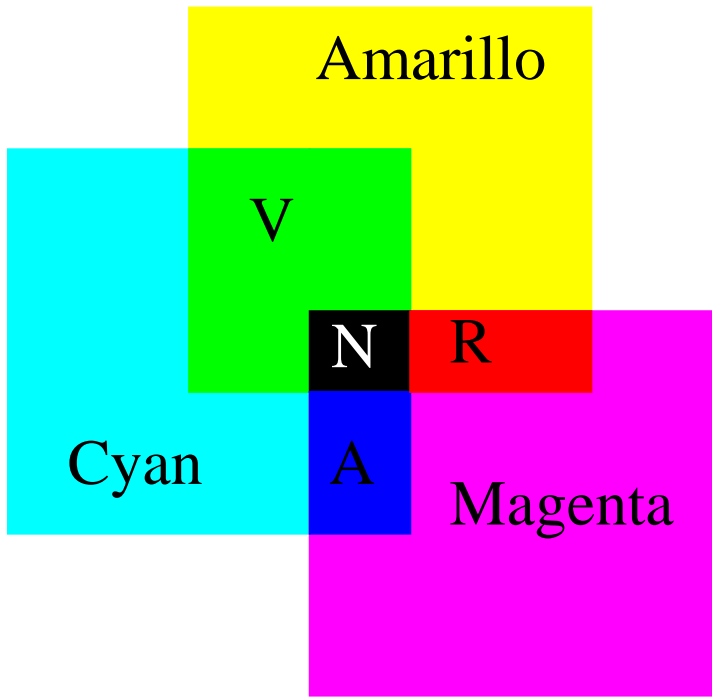
Extraído de: <http://www.cgl.uwaterloo.ca/~mmccool/cs788/Lectures/radiometry.pdf>

Mas matrices en: [http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn\\_XYZ\\_to\\_RGB.html](http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn_XYZ_to_RGB.html)

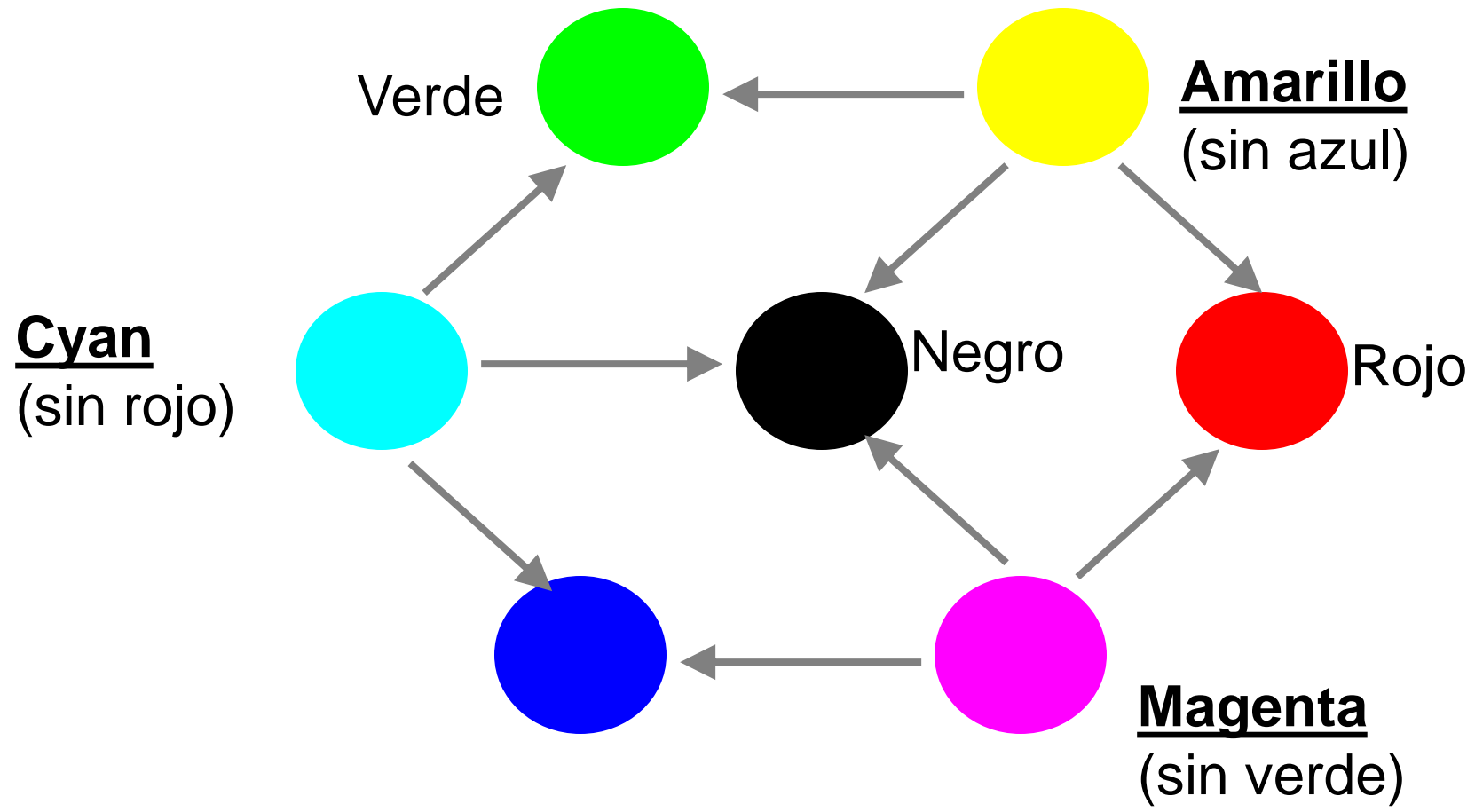
# CMY



# CMY



# CMY



# CMY

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

# CMYK

Dada una especificación CMY , se utiliza el negro en lugar de cantidades iguales de C, M y Y, de la siguiente forma:

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

$$C \leftarrow C - K$$

$$M \leftarrow M - K$$

$$Y \leftarrow Y - K$$

# YIQ (norma NTSC)

Es utilizada por la TV de USA para obtener compatibilidad con la televisión blanco y negro.

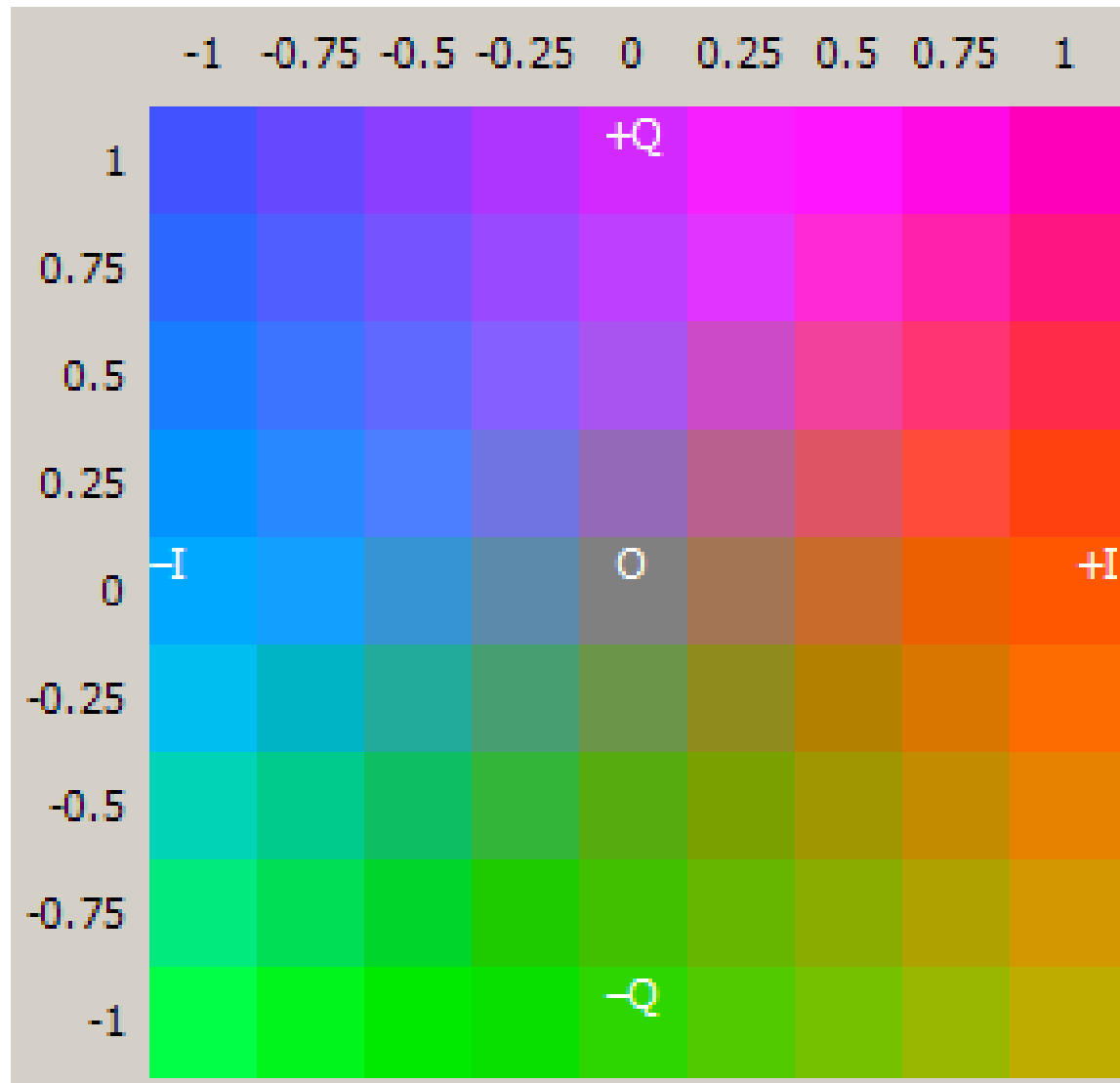
Y se corresponde con la luminancia  
I y Q codifican la cromaticidad.

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



## YIQ (norma NTSC)

Mapa de colores  
para  $Y=0.5$



## YIQ (norma NTSC)

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.

Conclusión:

4Mhz a Y; 1.5Mhz a I ; 0.6Mhz a Q

# YUV (norma PAL)

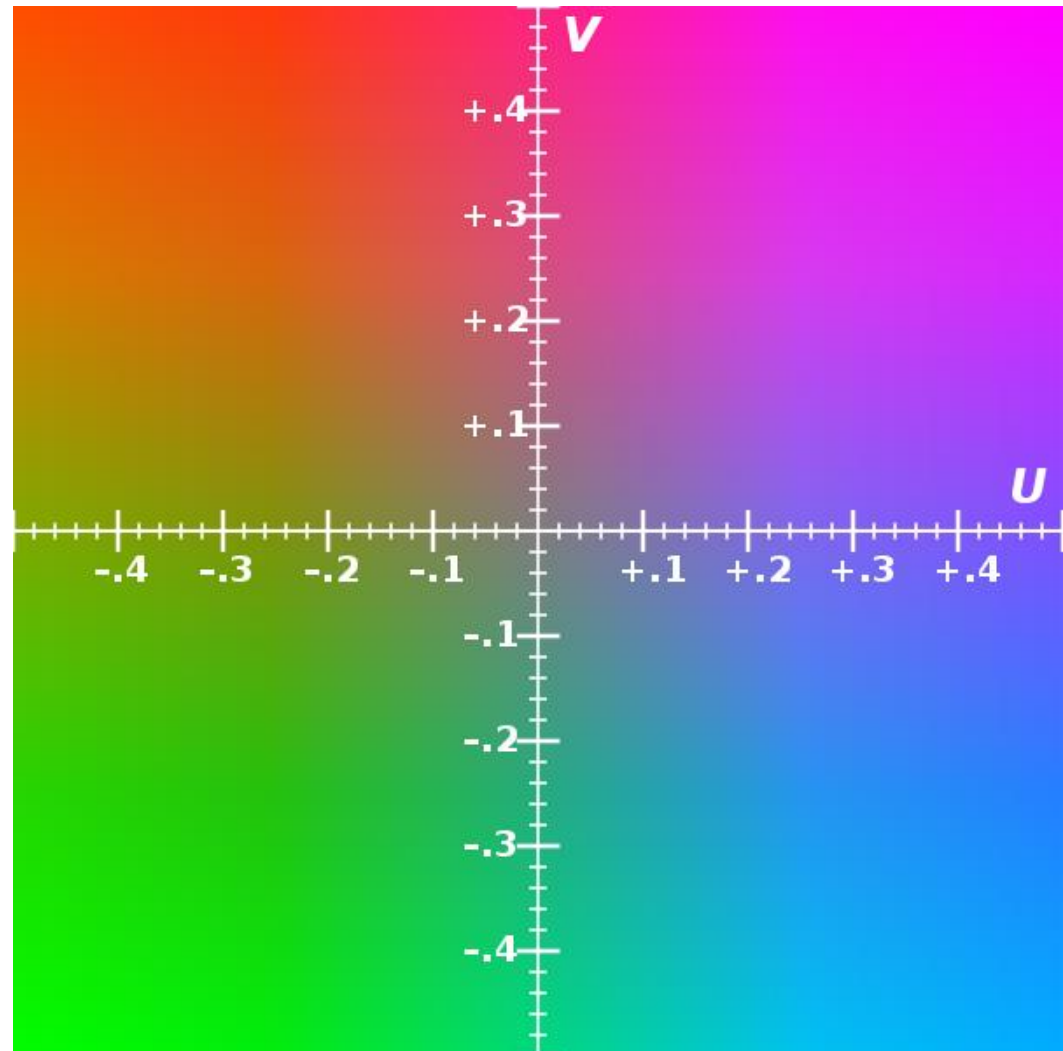
Es utilizada por la TV “uruguaya” 😊 para obtener compatibilidad con la televisión blanco y negro.

Y se corresponde con la luminancia  
U y V codifican la cromaticidad.

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.257 & 0.504 & 0.098 \\ -0.148 & -0.291 & 0.439 \\ 0.439 & -0.368 & -0.071 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

## YUV (norma PAL)

Mapa de colores  
para  $Y=0.5$



# HSV

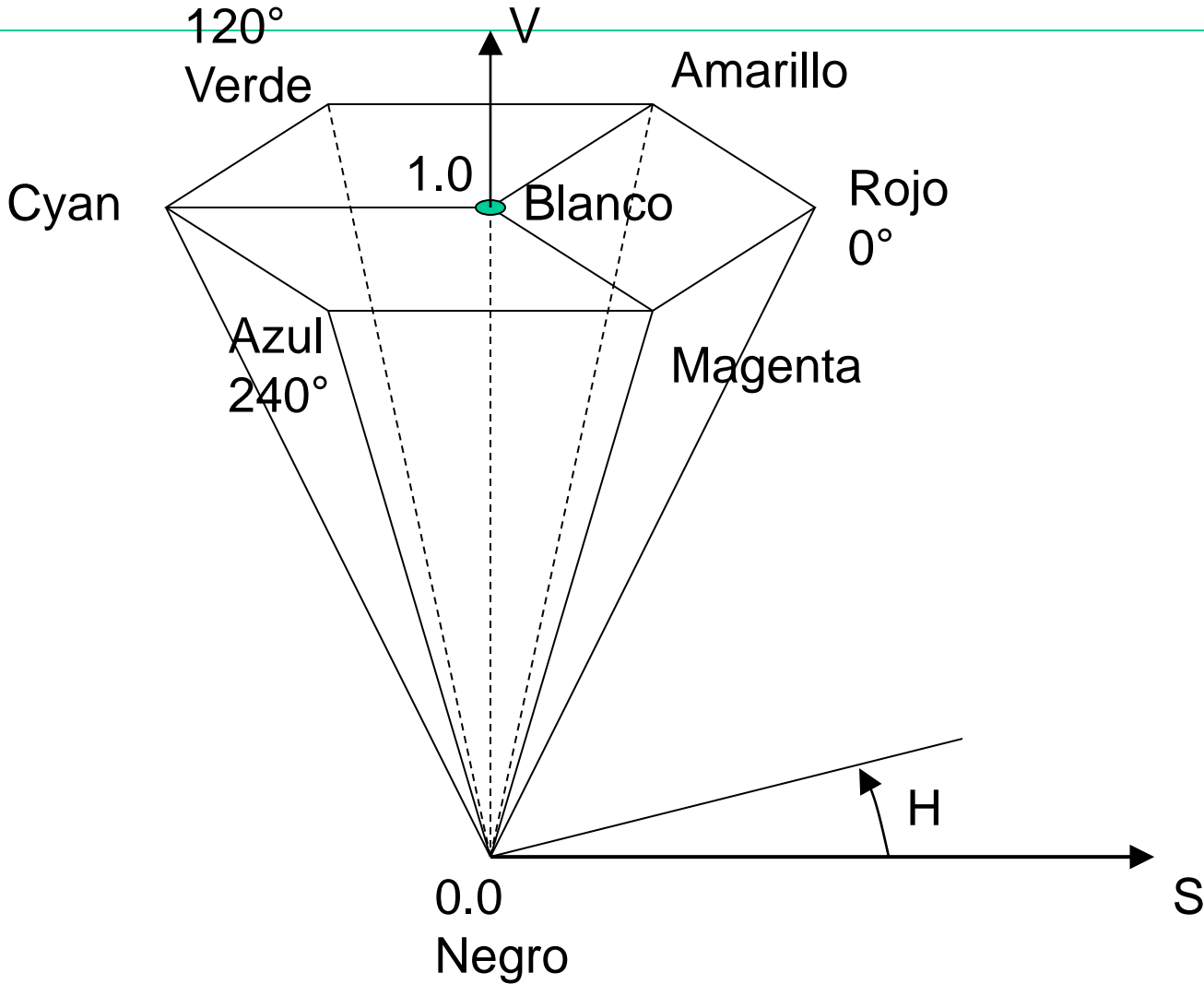
HSV → Hue (tinte), Saturation, Value

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  $S=0$

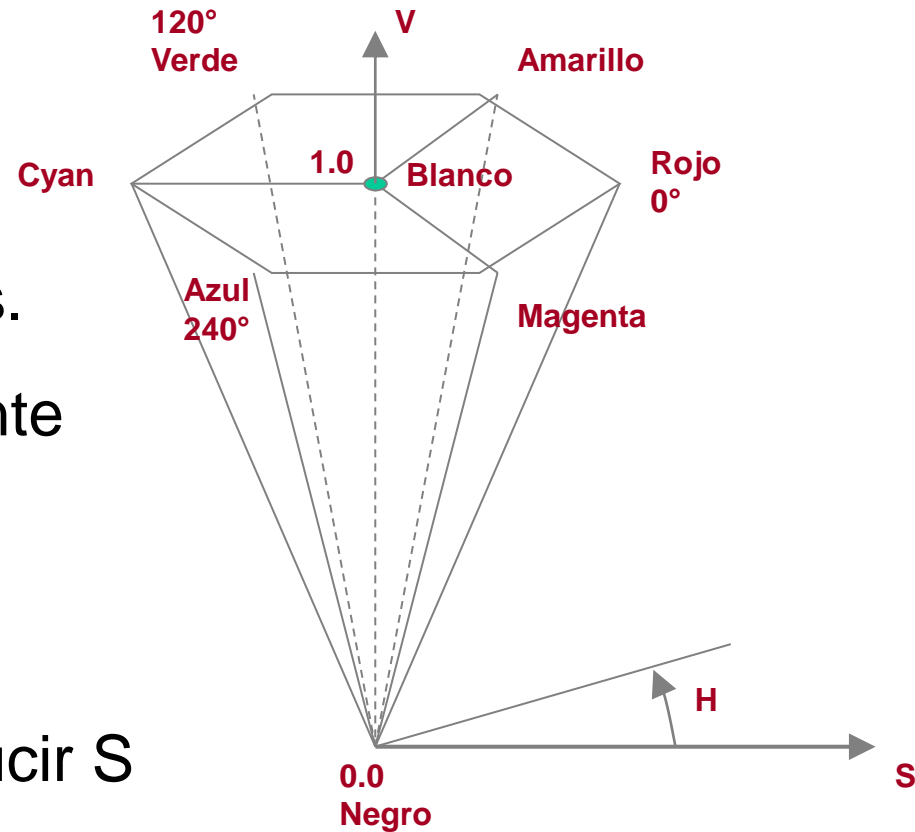
El rojo puro está en  $(0,1,1)$

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  $V$ .

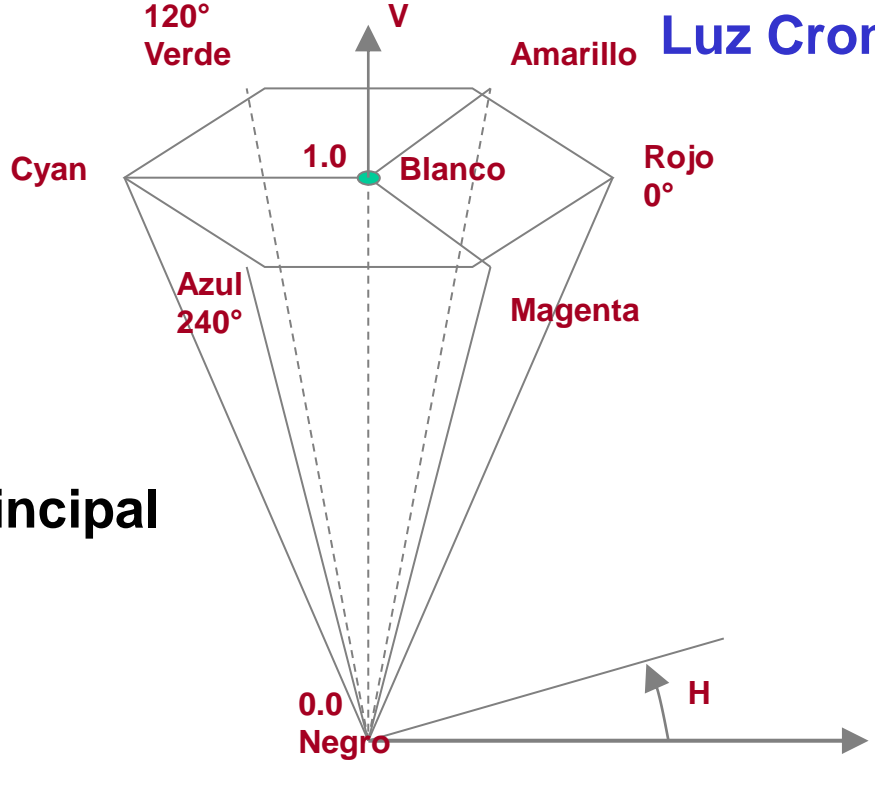
Se crean tonos reduciendo tanto  $S$  como  $V$ .



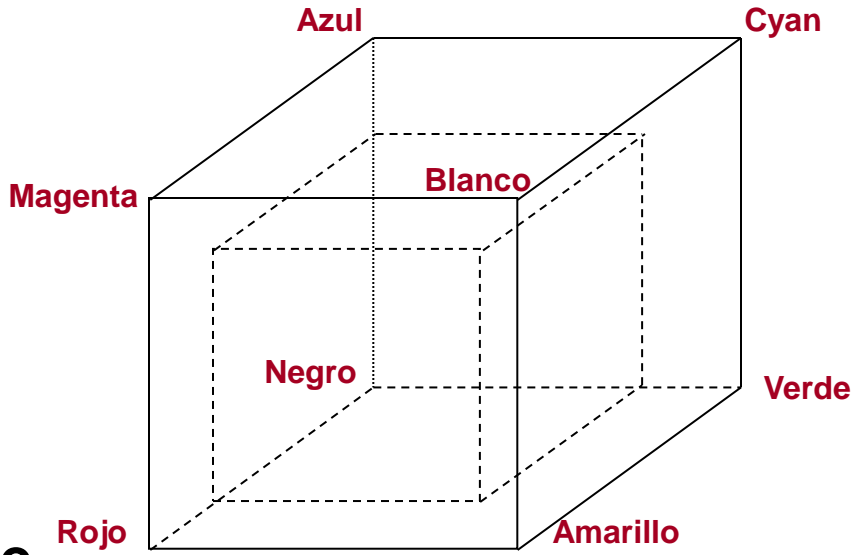
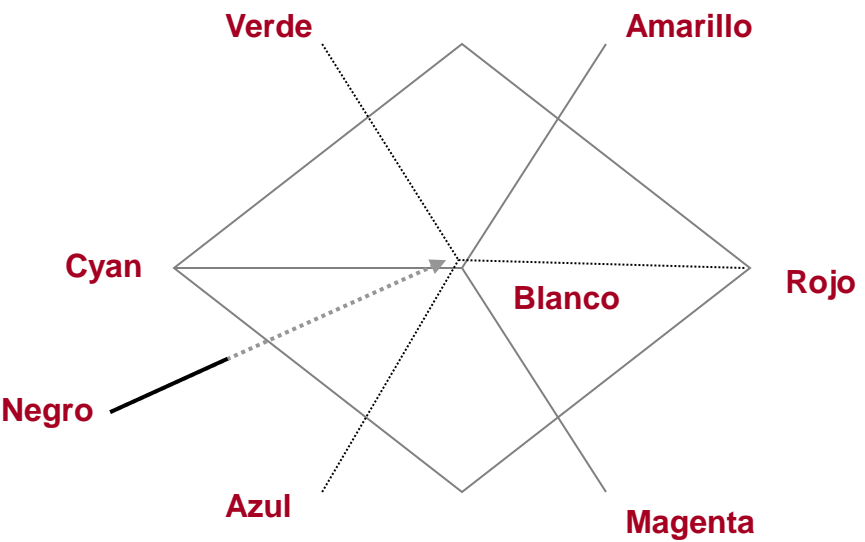
# Modelos de Colores

# Luz Cromática

## HSV







## Cubo RGB visto desde la diag. principal



## Cubo y Subcubo



# Interpolación de colores

- Se interpola en Sombreado de Gouraud, para eliminar los artefactos de discretización, para el mezclado de 2 imágenes (desvanecimiento).
- Si la conversión de un modelo de colores a otro transforma una línea recta (interpolación entre 2 colores) en otra línea recta => los resultados de interpolación son iguales en ambos modelos.
- Esto ocurre en RGB, CMY, YIQ, CIE, ASDF.
- No ocurre entre los anteriores y el HSV.
- Ejemplo:    
En RGB  $(1,0,0)$  rojo y  $(0,1,1)$  cyan lo interpolamos como  $(0.5,0.5,0.5)$  gris
-    
En HSV  $(0^\circ,1,1)$  rojo y  $(180^\circ,1,1)$  cyan se interpola como  $(90^\circ,1,1)$