

Espacios de representación del color

Sumario

- Introducción
- Observador patrón colorimétrico CIE - 1931 RGB
- Cambio de primarios: matriz de cambio de base
- El espacio de color CIE - XYZ
 - Propiedades
 - Representación XYZ de fuentes de luz
 - Representación XYZ de objetos

OBJETIVO PRINCIPAL: OC2
Asimilar los fundamentos matemáticos de codificación y representación de colores

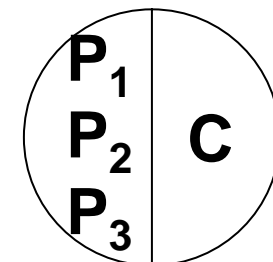
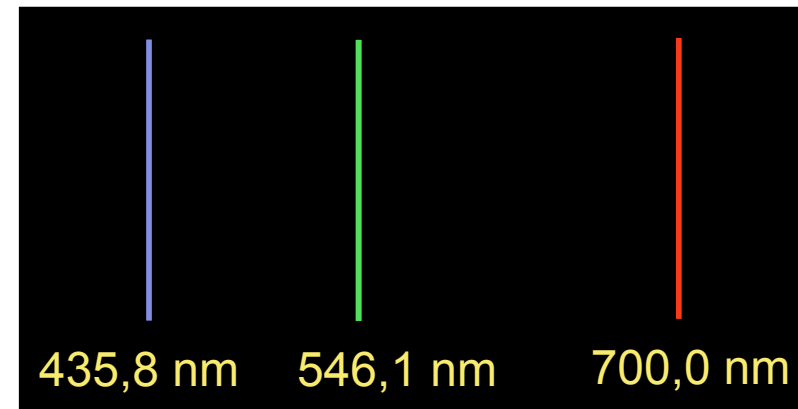
Introducción

- ¿Cuál es el mejor espacio de representación del color?
 - Espacio de color \equiv lenguaje (idioma) de color
 - Espacios RGB (monitor, TV, colorímetro visual)
 - Inconvenientes o defectos:
 - \exists valores triestímulo negativos para colores reales
 - ¿Por qué pasa esto?
 - ¿Mejoraría seleccionando primarios monocromáticos?

CIE-1931 RGB

- La Comisión Internacional de Iluminación y Color (CIE) propone:

- $P_1 \equiv \lambda_R = 700 \text{ nm}$
- $P_2 \equiv \lambda_G = 546.1 \text{ nm}$
- $P_3 \equiv \lambda_B = 435.8 \text{ nm}$
- $W \equiv E$ (blanco equienergético)
- $Y_W(R) = 1 \text{ lm}$
- $Y_W(G) = 4.5907 \text{ lm}$
- $Y_W(B) = 0.0601 \text{ lm}$



CIE-1931 RGB

Funciones de igualación

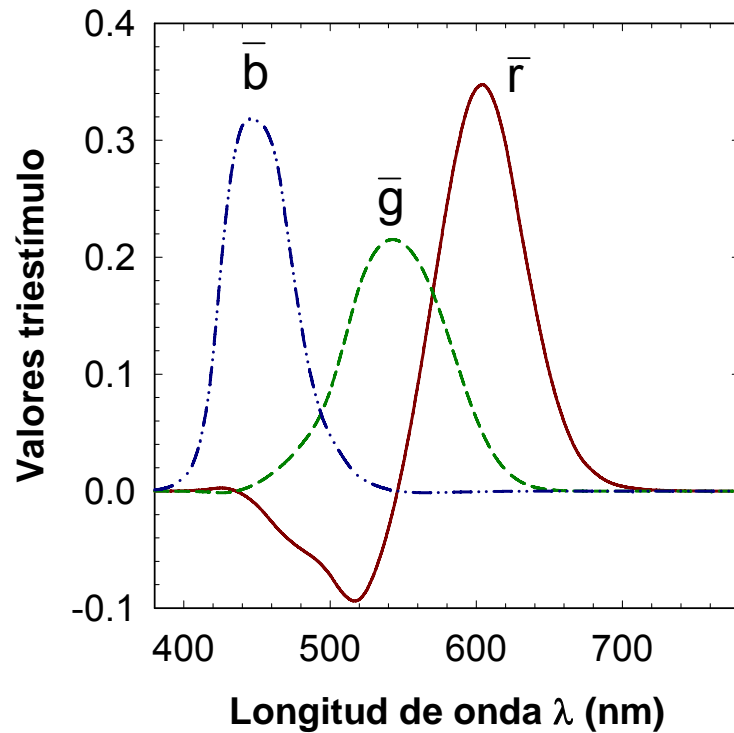
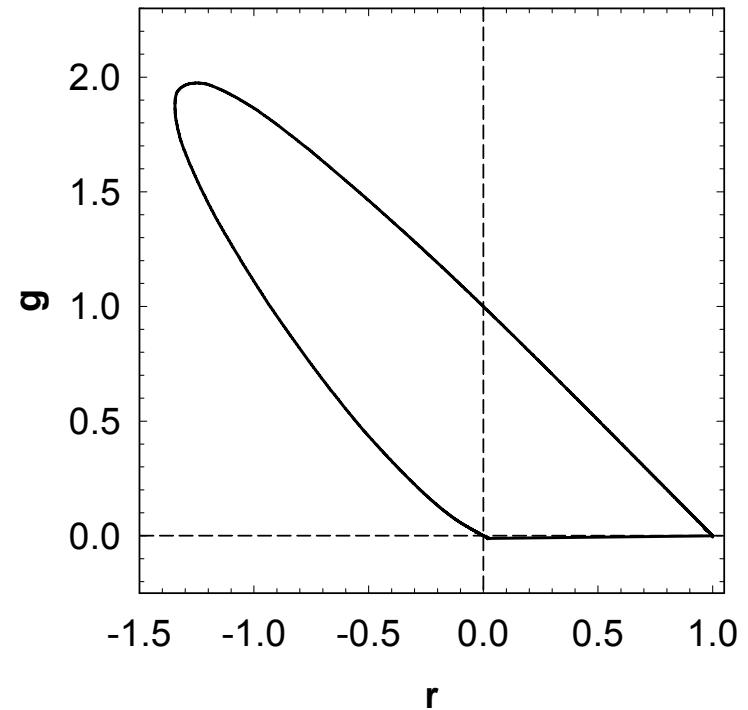


Diagrama cromático



Replanteamiento de la situación

- ¿Desaparecen en CIE - 1931 RGB los inconvenientes de trabajar con $t_i(C) < 0$?
 - No del todo
- ¿Existe alguna solución?
 - Sí, pasar de primarios reales a “irreales” o imaginarios
 - Colores reales: cuyo espectro es siempre positivo, $C(\lambda_k) > 0 \forall \lambda$
 - Colores imaginarios: cuyo espectro puede tener partes negativas

Cambio de primarios: matriz de cambio de base

- Matriz M: diccionario entre espacios (idiomas) de color
 - ¿Podemos pasar de datos RGB según el sistema 1 a datos RGB según el sistema 2 sin usar las funciones de igualación?
- Planteamiento inicial:

Inicio: espacio-color “viejo”

Final: espacio-color “nuevo”

$$\mathbf{T}(\mathbf{C}) = \begin{bmatrix} T_1(\mathbf{C}) \\ T_2(\mathbf{C}) \\ T_3(\mathbf{C}) \end{bmatrix} \begin{array}{c} \leftarrow \\ \text{?} \\ \rightarrow \\ \mathbf{T}' = \mathbf{M} \cdot \mathbf{T} \end{array} \mathbf{T}'(\mathbf{C}) = \begin{bmatrix} T_1'(\mathbf{C}) \\ T_2'(\mathbf{C}) \\ T_3'(\mathbf{C}) \end{bmatrix}$$

Cámaras
Observ.

pantallas

| Funciones espectrales conocidas | | | |
|--|-------------------------|---|----------------------------------|
| INICIO | FINAL | | Observaciones |
| Primarios P (CRT, LCD, etc) | CMF T' (CIE-XYZ) | $M = T'^t \cdot P$ | |
| CMF T | Primarios P' | $M = (T^t \cdot P')^{-1}$ | |
| Primarios P | Primarios P' | $M = (T^t \cdot P')^{-1} (T^t \cdot P)$ | T indica CMF cualesquiera |
| CMF T | CMF T' | $T'^t = M \cdot T^t$ | Mediante regresión lineal |
| Un espacio de color especificado en términos del otro | | | |
| VALORES TRIESTÍMULO CONOCIDOS | | CÓMO CONSTRUIR M | |
| Primarios iniciales P conocidos en el esp. final P' | | Colocarlos en las columnas de M : $P = P' \cdot M$ | |
| CMF iniciales T en el espacio final T' | | Colocarlos en las filas de M^{-1}: $T = T' \cdot (M^{-1})^t$ | |
| Primarios finales P' en el espacio inicial P | | Colocarlos en las columnas de M^{-1} | |
| CMF finales T' en el espacio inicial T | | Colocarlos en las filas de M | |

Cambio de primarios: matriz de cambio de base

- Paso del espacio “viejo” al “nuevo”:

$$\mathbf{T}'(\mathbf{C}) = \mathbf{M}_{\mathbf{P} \rightarrow \mathbf{P}'} \cdot \mathbf{T}(\mathbf{C})$$

$$\begin{bmatrix} T_1'(\mathbf{C}) \\ T_2'(\mathbf{C}) \\ T_3'(\mathbf{C}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_1'(\mathbf{P}_1) & T_1'(\mathbf{P}_2) & T_1'(\mathbf{P}_3) \\ T_2'(\mathbf{P}_1) & T_2'(\mathbf{P}_2) & T_2'(\mathbf{P}_3) \\ T_3'(\mathbf{P}_1) & T_3'(\mathbf{P}_2) & T_3'(\mathbf{P}_3) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_1(\mathbf{C}) \\ T_2(\mathbf{C}) \\ T_3(\mathbf{C}) \end{bmatrix}$$

- Paso del espacio “nuevo” al “viejo”:

$$\mathbf{T}(\mathbf{C}) = \mathbf{M}_{\mathbf{P}' \rightarrow \mathbf{P}} \cdot \mathbf{T}'(\mathbf{C})$$

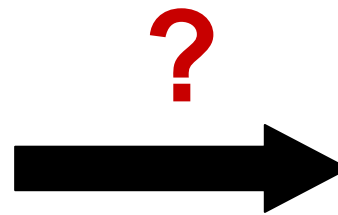
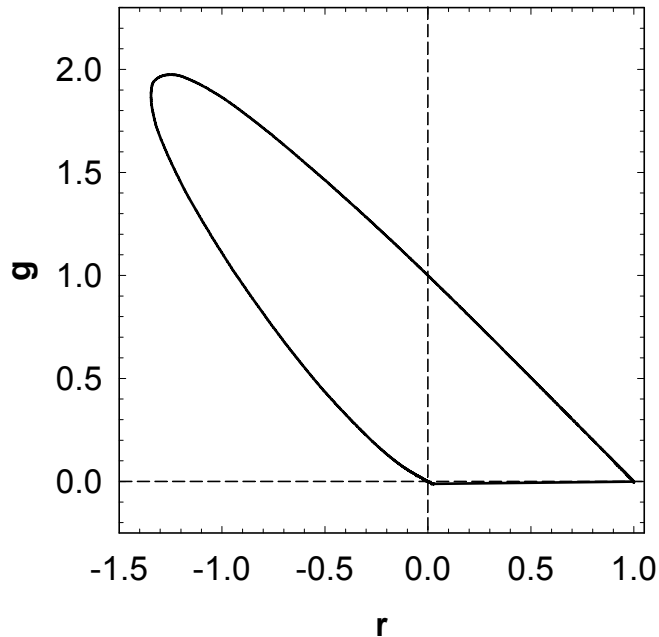
$$\begin{bmatrix} T_1(\mathbf{C}) \\ T_2(\mathbf{C}) \\ T_3(\mathbf{C}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_1(\mathbf{P}'_1) & T_1(\mathbf{P}'_2) & T_1(\mathbf{P}'_3) \\ T_2(\mathbf{P}'_1) & T_2(\mathbf{P}'_2) & T_2(\mathbf{P}'_3) \\ T_3(\mathbf{P}'_1) & T_3(\mathbf{P}'_2) & T_3(\mathbf{P}'_3) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_1'(\mathbf{C}) \\ T_2'(\mathbf{C}) \\ T_3'(\mathbf{C}) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{M}_{\mathbf{P}' \rightarrow \mathbf{P}} = (\mathbf{M}_{\mathbf{P} \rightarrow \mathbf{P}'})^{-1}$$

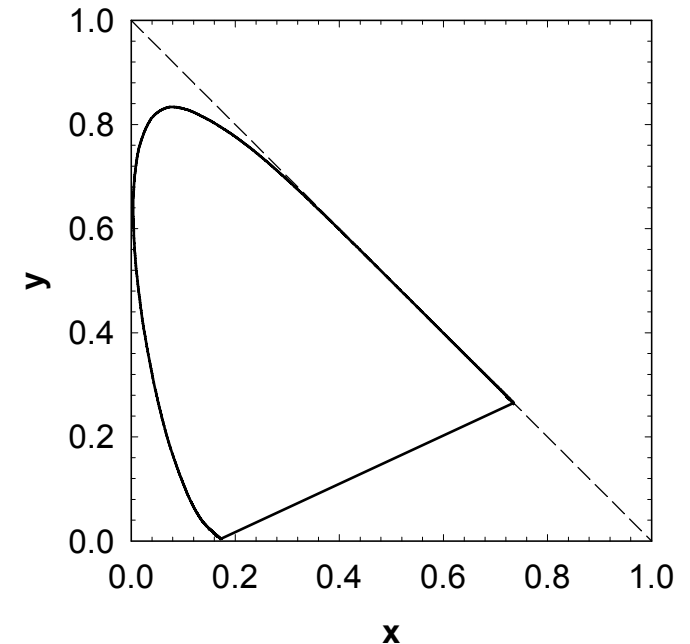
El espacio CIE-XYZ

- ¿Cómo elegir un sistema de representación del color de forma que el locus espectral tenga siempre coordenadas cromáticas positivas?

**Diagrama cromático
CIE-1931 RGB**



**Diagrama cromático
CIE-XYZ**



El espacio CIE-XYZ

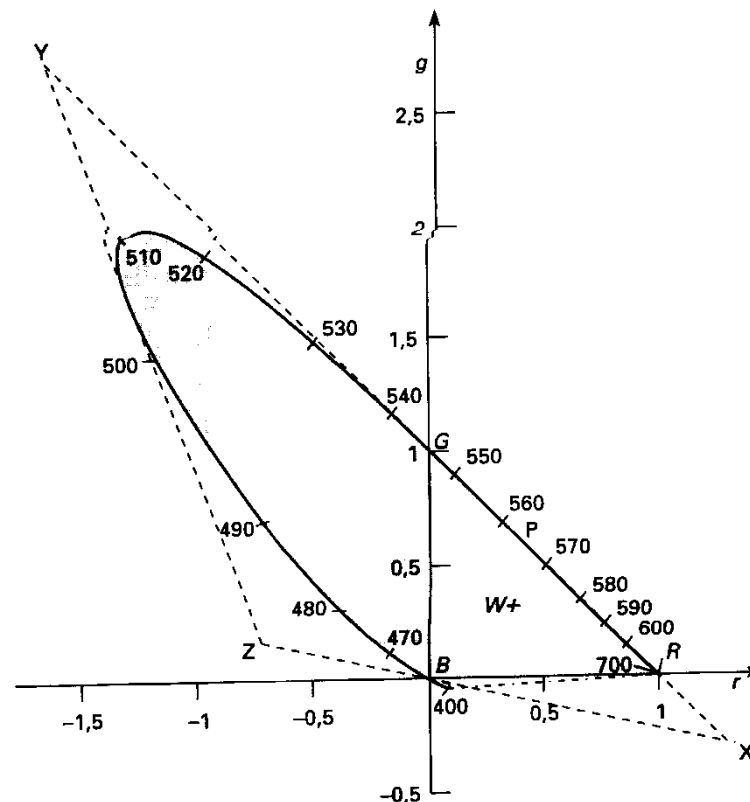
- Cambio a primarios XYZ usando coordenadas cromáticas:

- $r(X) = 1.2751$; $g(X) = -0.2779$; $b(X) = 0.0028$
- $r(Y) = -1.7401$; $g(Y) = 2.7675$; $b(Y) = -0.0274$
- $r(Z) = -0.7426$; $g(Z) = 0.1409$; $b(Z) = 1.6018$

- ¿Cómo obtener $M_{RGB \rightarrow XYZ}$?

- Conocemos los primarios nuevos en el espacio viejo

$$M_{P' \rightarrow P} \equiv M_{XYZ \rightarrow RGB} = \begin{bmatrix} R(X) & R(Y) & R(Z) \\ G(X) & G(Y) & G(Z) \\ B(X) & B(Y) & B(Z) \end{bmatrix}$$



El espacio CIE-XYZ

Conocemos:

$$r(X) = 1.2751 ; g(X) = -0.2779 ; b(X) = 0.0028$$

$$r(Y) = -1.7401 ; g(Y) = 2.7675 ; b(Y) = -0.0274$$

$$r(Z) = -0.7426 ; g(Z) = 0.1409 ; b(Z) = 1.6018$$

Para obtener los valores triestímulo aplicamos la relación conocida:

$$T_i(C) = \frac{Y(C)}{\sum_{k=1}^3 Y_w(P_k) t_k(C)} t_i(C) \longrightarrow R = \frac{Y}{1 * r + 4.59 * g + 0.06 * b} r$$

$$\mathbf{M}_{P' \rightarrow P} \equiv \mathbf{M}_{XYZ \rightarrow RGB} = \begin{bmatrix} R(X) & R(Y) & R(Z) \\ G(X) & G(Y) & G(Z) \\ B(X) & B(Y) & B(Z) \end{bmatrix}$$

El espacio CIE-XYZ

- ¿ $M_{\text{RGB} \rightarrow \text{XYZ}}$? O lo sé directamente, o puedo calcular la matriz $M_{\text{XYZ} \rightarrow \text{RGB}}$ y luego calcular su inversa:

$$\mathbf{M}_{\text{XYZ} \rightarrow \text{RGB}} = \begin{bmatrix} 0.4185 & -0.1587 & -0.0828 \\ -0.0912 & 0.2524 & 0.0157 \\ 0.0009 & -0.0025 & 5.1786 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{M}_{\text{RGB} \rightarrow \text{XYZ}} = \begin{bmatrix} 2.7689 & 1.7517 & 1.1302 \\ 1 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0 & 0.0565 & 5.5943 \end{bmatrix}$$

El espacio CIE-XYZ

- Otra forma:

$$\mathbf{M}_{\text{XYZ} \rightarrow \text{RGB}} = \begin{bmatrix} R(X) & R(Y) & R(Z) \\ G(X) & G(Y) & G(Z) \\ B(X) & B(Y) & B(Z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r(X) & r(Y) & r(Z) \\ g(X) & g(Y) & g(Z) \\ b(X) & b(Y) & b(Z) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S(X) & 0 & 0 \\ 0 & S(Y) & 0 \\ 0 & 0 & S(Z) \end{bmatrix}$$

- S: masa colorimétrica, $S(X) = R(X) + G(X) + B(X)$
- ¿S(X), S(Y), S(Z)? Necesitamos conocer un color en los dos espacios

$$T(C) = M_{P',-P} T'(C) = \begin{bmatrix} r(X) & r(Y) & r(Z) \\ g(X) & g(Y) & g(Z) \\ b(X) & b(Y) & b(Z) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S(X) & 0 & 0 \\ 0 & S(Y) & 0 \\ 0 & 0 & S(Z) \end{bmatrix} T'(C)$$

El espacio CIE-XYZ

$$\begin{bmatrix} r(X) & r(Y) & r(Z) \\ g(X) & g(Y) & g(Z) \\ b(X) & b(Y) & b(Z) \end{bmatrix}^{-1} T(C) = \begin{bmatrix} S(X) & 0 & 0 \\ 0 & S(Y) & 0 \\ 0 & 0 & S(Z) \end{bmatrix} T'(C)$$

Imponemos que el blanco W en CIE-XYZ sea E , el mismo que en CIE-1931 RGB $[1,1,1]$, salvo una constante de escalado de la luminancia

$$\begin{bmatrix} S(X) \\ S(Y) \\ S(Z) \end{bmatrix} = \frac{Y(w')}{Y(w)} \begin{bmatrix} r(X) & r(Y) & r(Z) \\ g(X) & g(Y) & g(Z) \\ b(X) & b(Y) & b(Z) \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3282 \\ 0.0912 \\ 0.1115 \end{bmatrix}$$

El espacio CIE-XYZ

Funciones de igualación

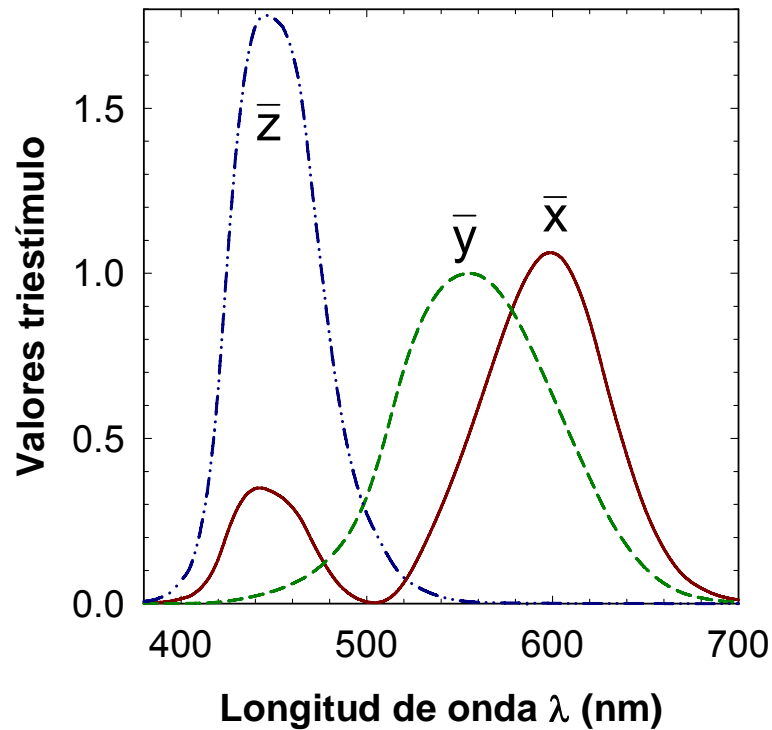
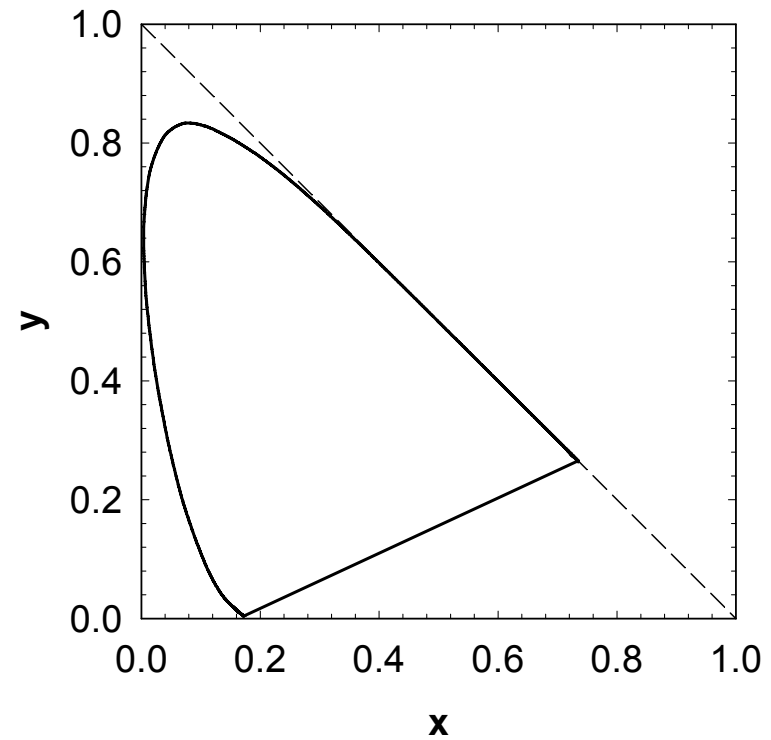
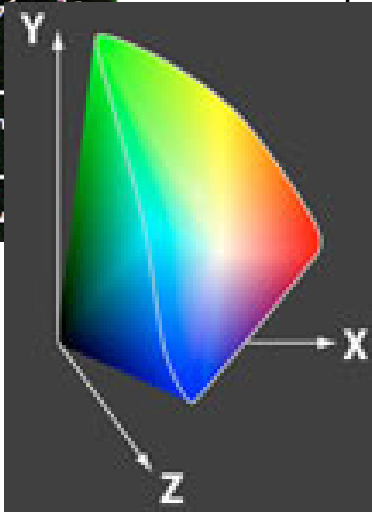
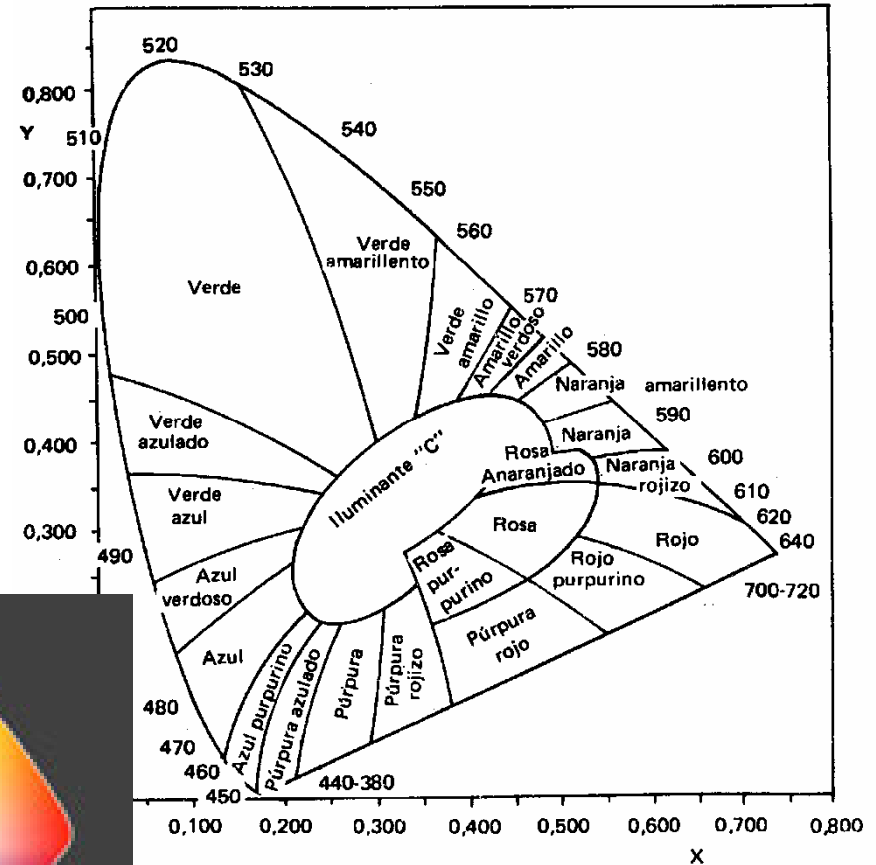
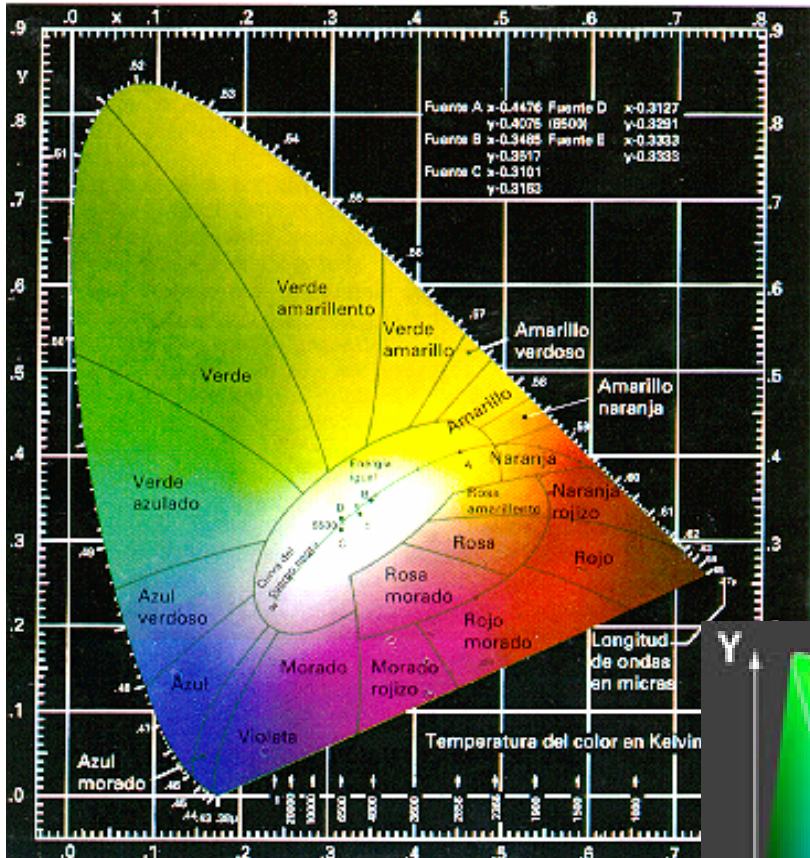


Diagrama cromático



El espacio CIE-XYZ



Propiedades del espacio CIE-XYZ

- Funciones de igualación totalmente positivas:
 - Unidades tricromáticas: $Y_w(X) = 0$, $Y_w(Y) = 1$, $Y_w(Z) = 0$
 - $CMF_y(\lambda) \equiv V(\lambda)$ del Ojo humano $\left[V(\lambda) = \sum_{i=1}^3 Y_w(P_i) \bar{t}_i(\lambda) \right]$
 - El valor triestímulo Y es el parámetro que codifica la luminosidad
 - Paso de valores triestímulo a coordenadas cromáticas, y viceversa:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad , \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$X = \frac{x}{y} Y \quad , \quad Y = Y \quad , \quad Z = \frac{1 - x - y}{y} Y$$

Propiedades del espacio CIE-XYZ

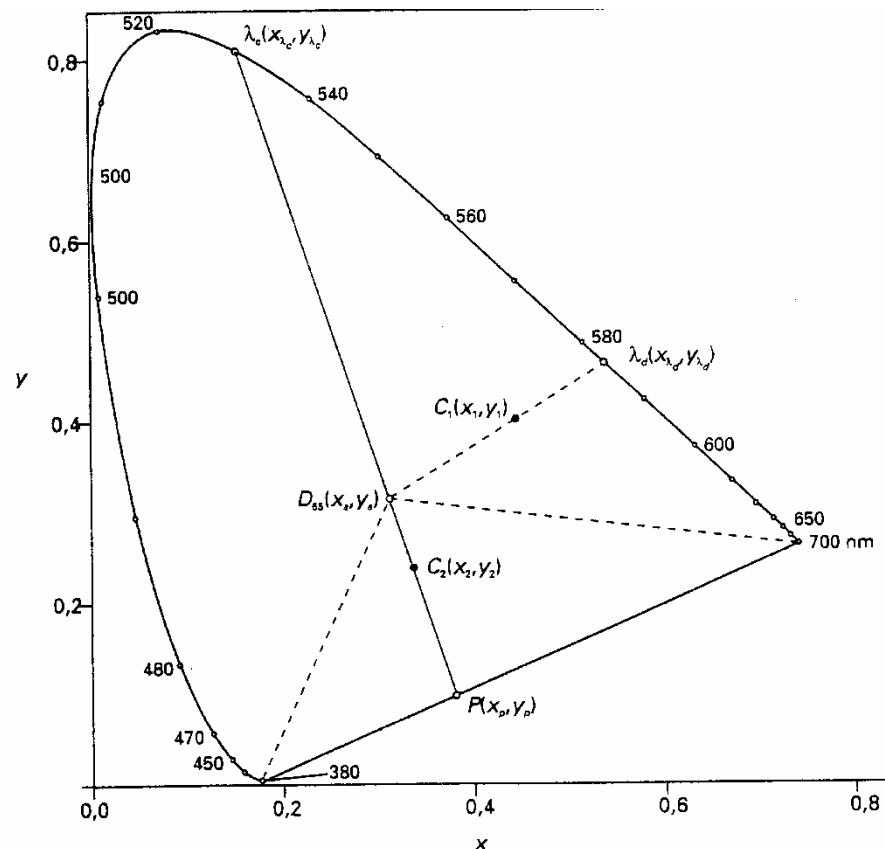
- Regla del centro de gravedad:

$$s(C) = \frac{Y(C)}{y(C)}$$

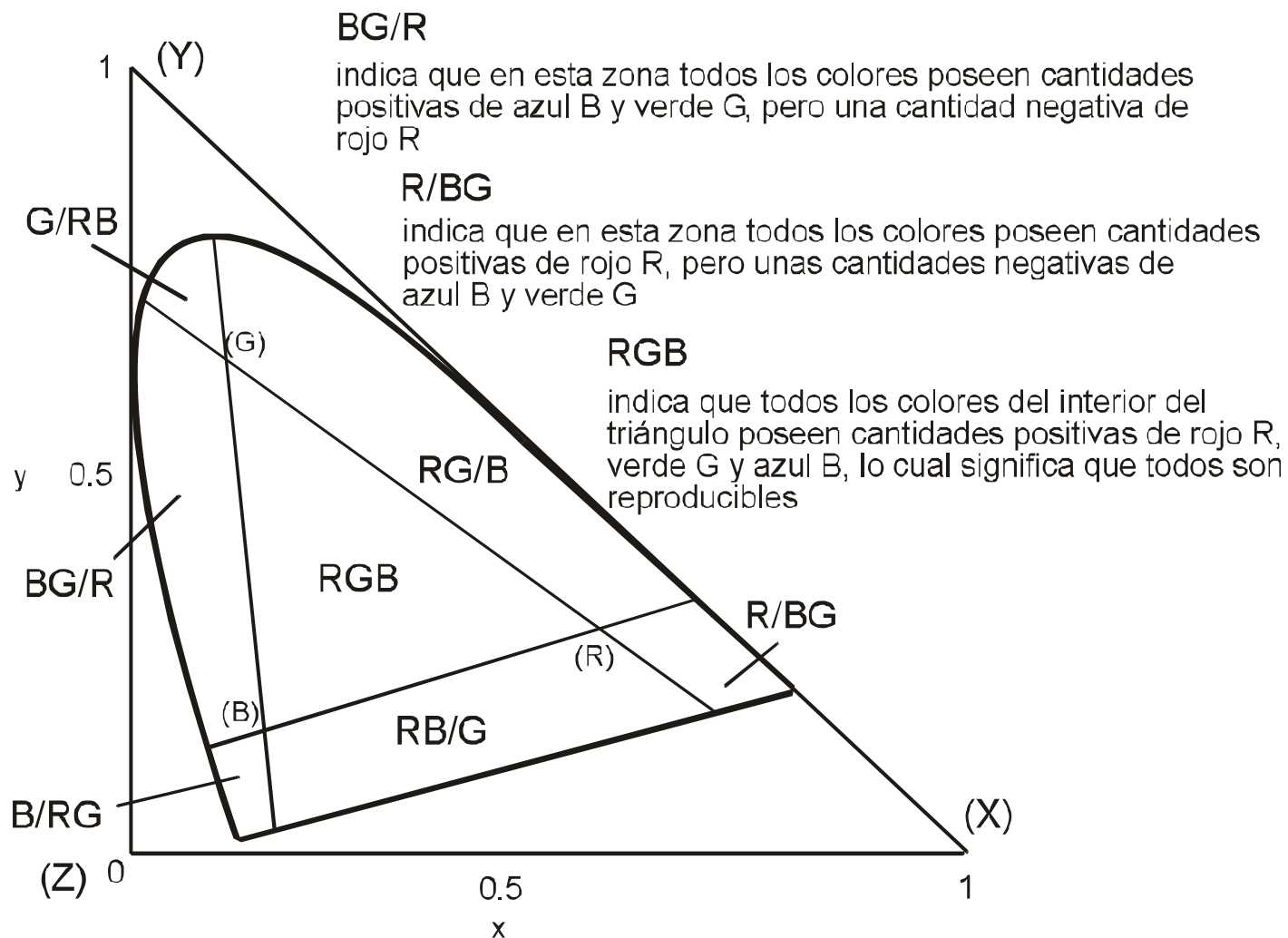
$$\frac{x - x_1}{x_2 - x} = \frac{y - y_1}{y_2 - y} = \frac{Y_2 / y_2}{Y_1 / y_1}$$

- Pureza colorimétrica:

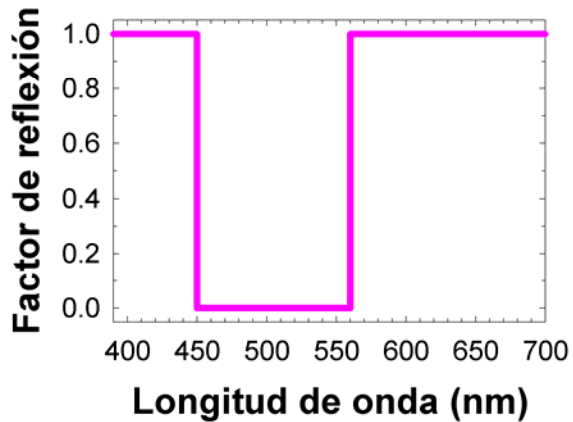
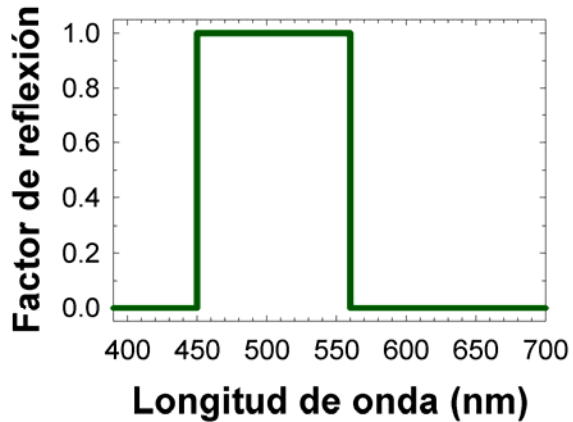
$$p_c = \frac{y(\lambda_d)}{y} p_e \quad , \quad p_e = \left| \frac{CW}{W\lambda_d} \right|$$



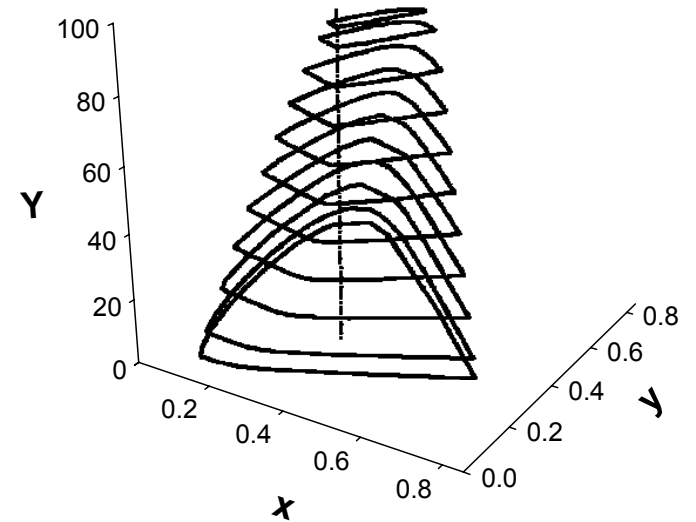
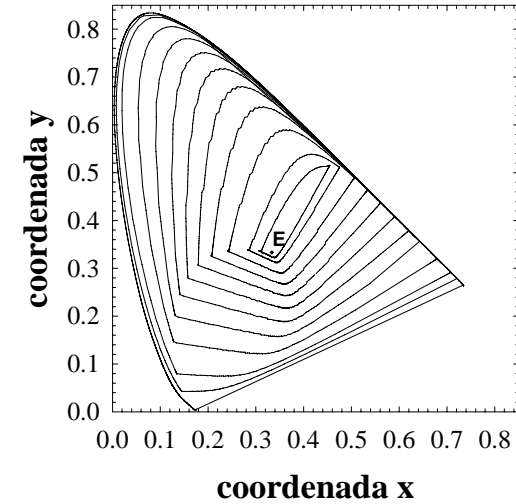
Propiedades del espacio CIE-XYZ



Propiedades del espacio CIE-XYZ



centrado y
anchura variables



Propiedades del espacio CIE-XYZ

$$X = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) \rho(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda$$

$$Y = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) \rho(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda$$

$$Z = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) \rho(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda$$

con $k = \frac{100}{\sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda}$

