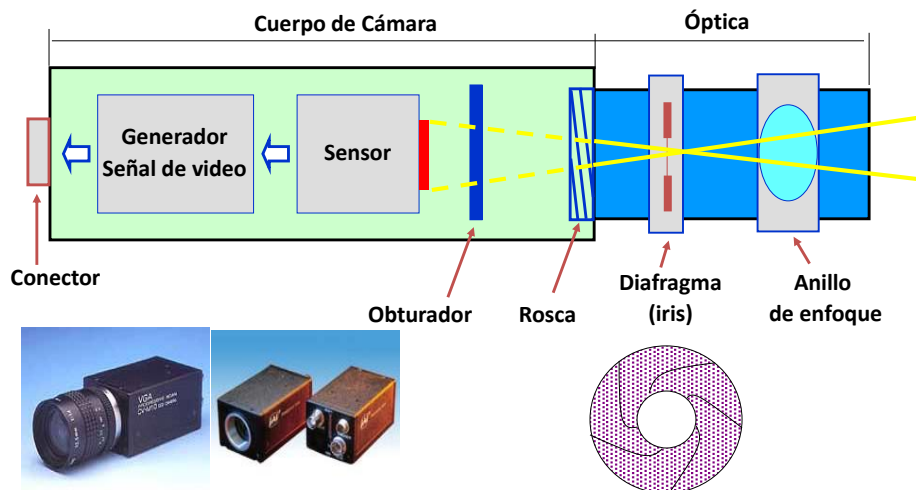




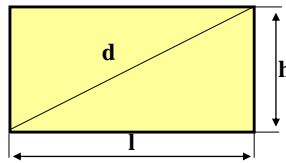
## 4. Cámaras

## Cámaras - Esquema General





Tamaños típicos CCD



Sensor	1"	2/3"	1/2"
d (mm)	15.88	10.99	8.00
l (mm)	12.70	8.80	6.40
h(mm)	9.53	6.60	4.80

### Clasificación

- Según la Tecnología: CCD o CMOS.
- Según su Formato: de Área, Lineales, TDI (Time Delay of Integration)
- Según la Resolución: VGA, SVGA, XGA, SXGA...
- Según el Color:
  - Blanco y negro (un elemento CCD o CMOS por píxel)
  - Color (tres elementos CCD o CMOS por píxel (R,G,B) )
- Según la Espectro: Visible, IR, Térmico, UV...
- Según la Salida: Analógica o digital

### CMOS vs CCD

- CCD (Charge Coupled Device) Dispositivo de Cargas Acopladas
- CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) Semiconductor de Óxido de Metal Complementario

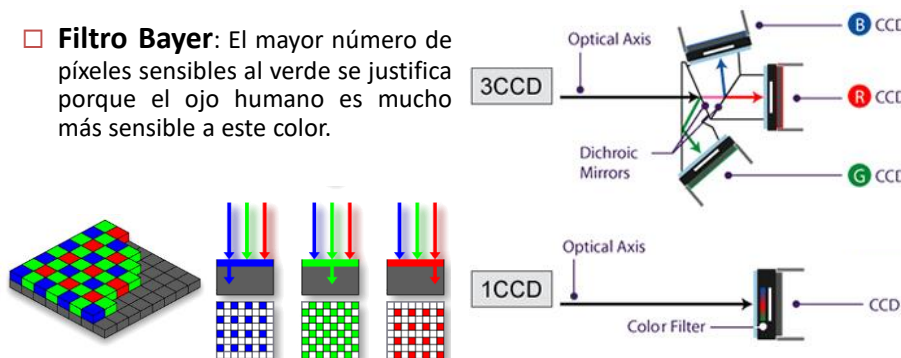
Características	CCD	CMOS
Velocidad de barrido	N	B
Sensibilidad	N	M
Relación Señal/Ruido	B	M
Corriente Oscura	B	M
Smear	N	B
Rango dinámico	B	M
Acceso aleatorio a píxeles	M	B
Múltiples ROI	M	B
Fill Factor	B	N
Miniaturización	B	N

N: normal B: bien M: mal

- Smear:** borrosidad vertical que se produce al captar tomas de objetos muy luminosos.
- Corriente oscura:** presente en ausencia de luz.
- Fill Factor:** porcentaje de área de píxel sensible a la luz.



- **1 CCD:** Un sensor con tres capas separadas de foto detectores fundidos en silicio
- **3 CCD:** Tres sensores monocromos independientes y un separador de haz de luz óptico
- **Filtro Bayer:** El mayor número de píxeles sensibles al verde se justifica porque el ojo humano es mucho más sensible a este color.



- No existe una "cámara universal". La cámara debe ser elegida para cada aplicación

### Óptica

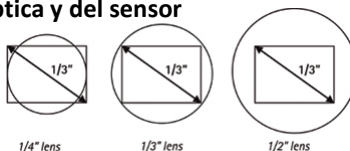
- Distancia focal
- Ángulo de Visión
- Número f
- Velocidad de Obturación
- Profundidad de campo.
- Aberraciones ópticas
- Distorsión

### Sensor:

- Ganancia en función de la longitud de onda.
- Resolución (128x128, 1024x1024 píxeles...)
- Formato de vídeo (PAL/NTSC/CCIR...)
- Tiempo de adquisición.
- Imágenes por segundo (fps)
- Sensibilidad.
- Relación de los píxeles.
- Tipo de barrido
- Tipo de sensor (CCD y CMOS)

### Adecuación de la óptica y del sensor

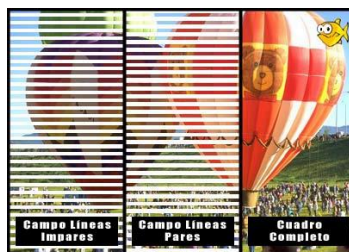
Esquinas oscuras  
(óptica de 1/4" sensor de 1/3")



Se "pierde" información  
(óptica de 1/2" sensor de 1/3")

- **Ganancia en función de la longitud de onda:** Relaciona la ganancia de la cámara para las distintas longitudes de onda. Existen cámaras comerciales cuya respuesta máxima está en **el espectro visible** (las más frecuentes) pero también las hay en el **infrarrojo cercano, medio y lejano (calor)**.
- **Resolución** (128x128 píxeles, 1024x1024 píxeles, etc): **número de píxeles del sensor de imagen**. Existen diferentes soluciones comerciales. Existen dos estándares (Europeo- CCIR- y Americano – EIA, RS170-).
- **Tiempo de integración:** Es el **tiempo durante el cual la cámara está sometida a los efectos luminosos** (para controlarlo, las cámaras permiten fijar el tiempo de exposición, *shutter* (obturador). Su efecto es similar al del tiempo de obturación de las cámaras de fotos.

- **Tiempo de adquisición:** Tiempo que necesita la cámara para **transmitir la información** captada.
- **Sensibilidad absoluta:** **Iluminación mínima** para que la cámara produzca una salida (suele ir acompañada por un número f determinado para indicar la apertura del diafragma).
- **Sensibilidad relativa:** número de **fotones** necesarios para que la cámara pase de un valor al siguiente.
- **Relación de aspecto de los píxeles:** Los píxeles pueden ser cuadrados o rectangulares, con relación  $u/v = 4/3$ , para adaptarse a los estándares de televisión.
- **Tipo de barrido:** Barrido **progresivo** (progressive scan), barrido **entrelazado** (no son adecuadas para captar imágenes en movimiento, ya que el campo par e impar se adquieren en diferentes instantes de tiempo, por lo que hay un desplazamiento espacial entre ellos). Las cámaras de barrido progresivo toman las líneas de forma consecutiva.



[http://www.macuarium.com/actual/img/2003/05/31\\_panamedina\\_1/Entrelazado.jpg](http://www.macuarium.com/actual/img/2003/05/31_panamedina_1/Entrelazado.jpg)



## 5. Adquisición y geometría de formación de imágenes

## Elementos que se incluyen en la adquisición y formación de imágenes

Escena  $\Rightarrow$  Iluminación  $\Rightarrow$  Óptica  $\Rightarrow$  Sensor

Señal  $\Rightarrow$  Digitalización  $\Rightarrow$  Representación digital

- ☐ **Escena:** Realidad (espacio 3D)
- ☐ **Iluminación:** Ilumina la escena (esta estrechamente relacionada con el tipo de sensor y los objetivos que se quieren alcanzar)
- ☐ **Óptica:** Enfoca **luz** desde la escena sobre el sensor
- ☐ **Sensor:** Convierte **luz** en **energía eléctrica**
- ☐ **Señal:** Es una representación de la luz incidente como una energía eléctrica continua
- ☐ **Digitalizador:** Convierte señales continuas a señales discretas
- ☐ **Representación digital:** Representación final de la escena (realidad) en la memoria del ordenador

- Una imagen puede ser representada por una función:  $f(u,v)$ .
- El argumento de  $f(u,v)$  representa la localización de cada píxel en el plano imagen.
- El valor de  $f(u,v)$  puede tener diferentes interpretaciones en diferentes tipos de imágenes. Ejemplos:

**Imágenes de intensidad:**

$f(u,v)$  = intensidad de la escena

**Imágenes de distancia:**

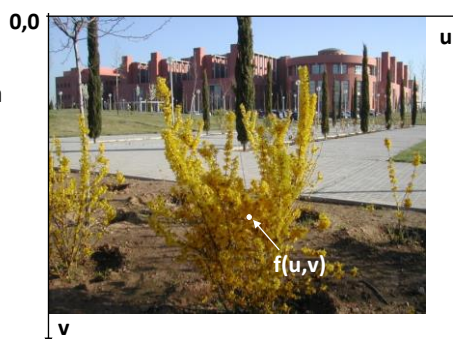
$f(u,v)$  = distancia desde la escena  
al sistema de captación

**Imágenes en color:**

$f(u,v) = \{f_r(u,v), f_g(u,v), f_b(u,v)\}$

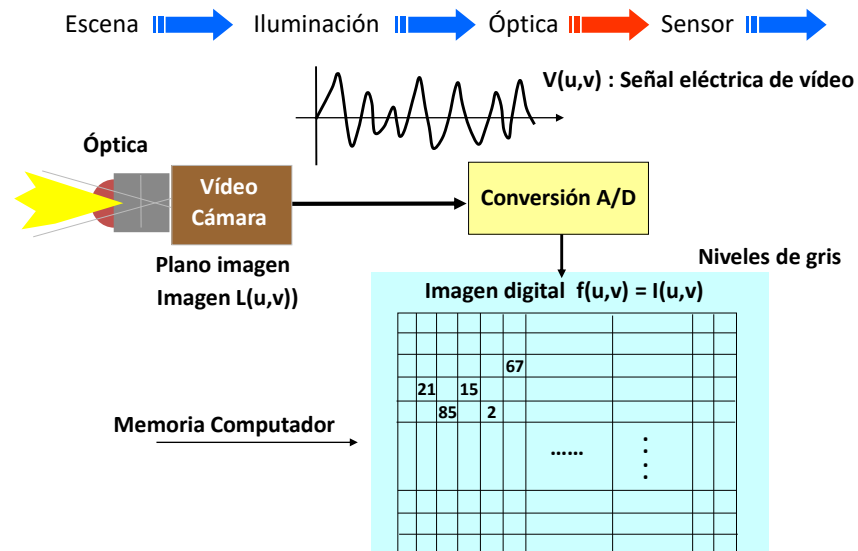
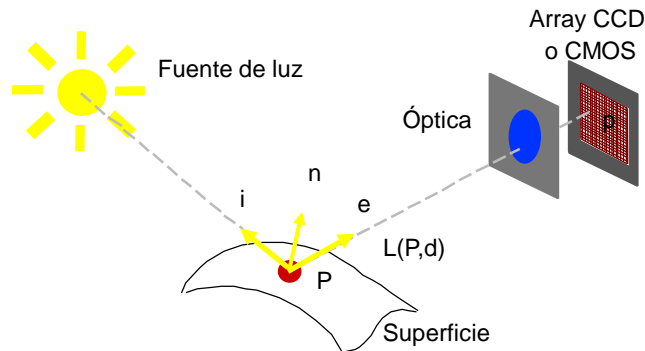
**Video:**

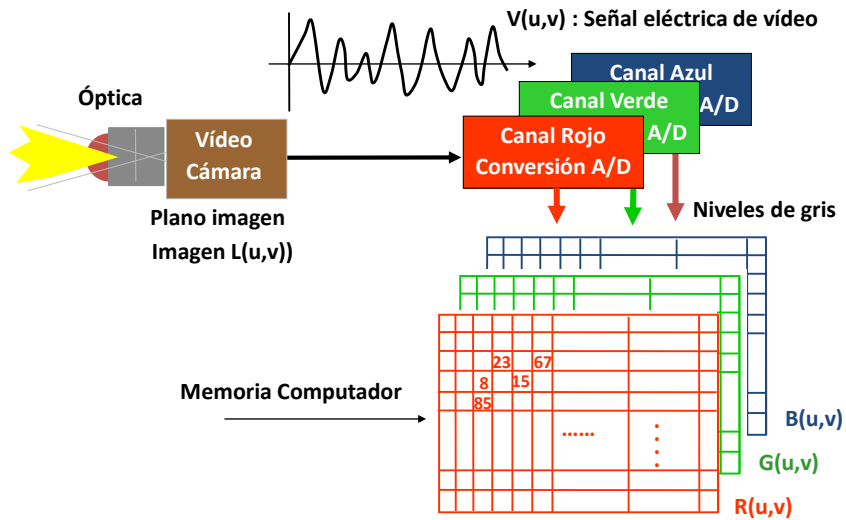
$f(u,v,t)$  = secuencia temporal de imágenes



- **Radiometría**
  - Es la ciencia que define la relación entre la cantidad de energía luminosa emitida por una fuente de luz, la reflejada sobre una superficie y la captada por un sensor de imagen.
- **Fotometría**
  - Hace referencia al mecanismo de conversión de la energía luminosa en energía eléctrica.
- **Digitalización**
  - Está relacionada con el modo de convertir señales continuas en aproximaciones digitales.
- **Geometría**
  - Se refiere a la relación entre los puntos en 3D y su imagen (proyección sobre el plano imagen). Se verá en el último tema.

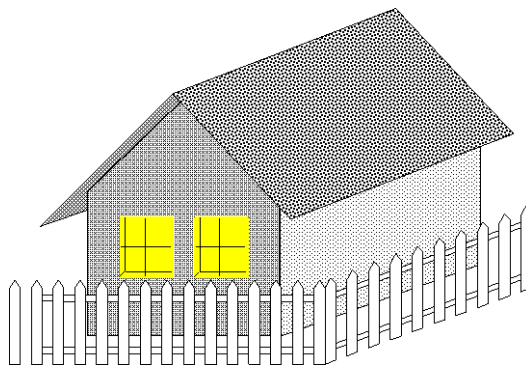
- La **Radiometría** es la parte de la formación de imágenes que tiene que ver con la relación entre la cantidad de energía luminosa emitida por una fuente de luz, reflejada sobre una superficie, y la captada por el sensor





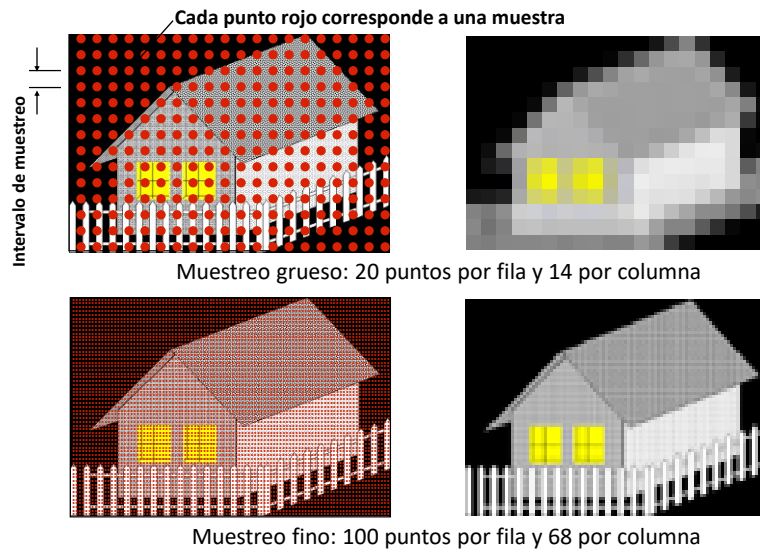
Señal  Digitalización  Representación digital

Digitalicemos esta imagen, con diferentes resoluciones espaciales  
 (supondremos un patrón de muestreo cuadrado)

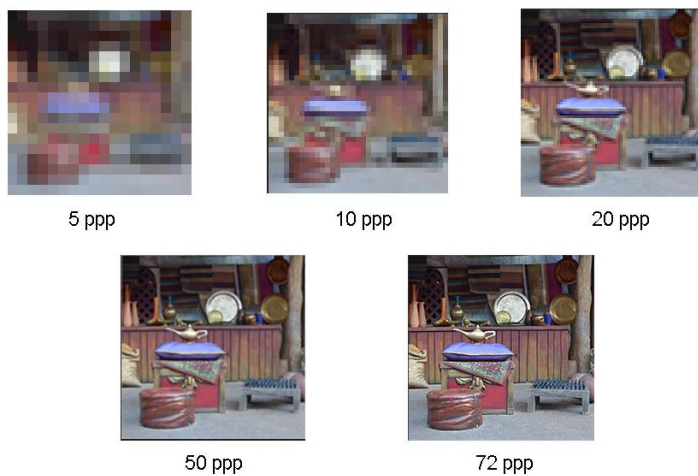




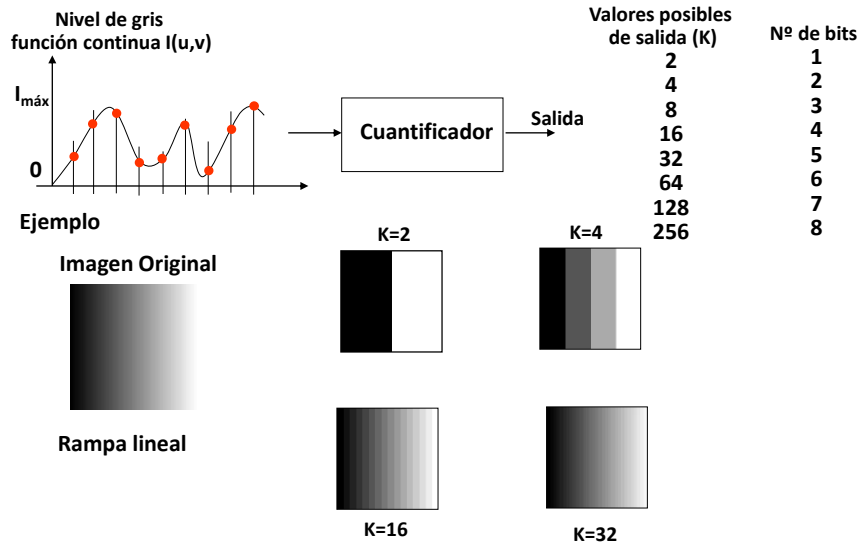
## Digitalización – Muestreo (Resolución espacial)



## Digitalización – Muestreo (Problema del promediado)



<http://musdatoslocos.blogspot.com/2016/02/diferencia-entre-resolucion-de-ppp.html>



K=2 (cada componente de color)



K=4 (cada componente de color)

- ☐ **Resolución espacial:** Depende del número de píxeles del dispositivo o, en caso de imágenes analógicas, del número de muestras tomadas: valores típicos son  $M \times N$ : 128x128, 256x256, 512x512, 1024x1024.



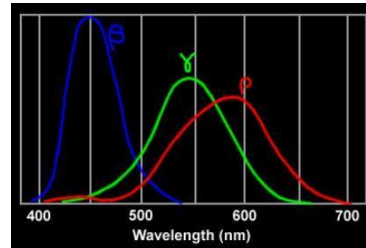
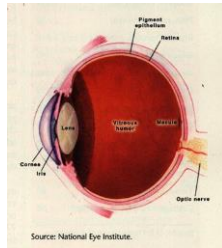
- ☐ **Resolución de nivel de gris:** es frecuente codificar cada nivel con 8 bits (256 n.g)



## 10. Introducción al color

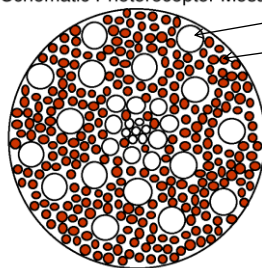
## Aspectos generales del ojo humano

- El **ojo humano** tiene tres grupos de **fotorreceptores** sensibles al color, con picos de sensibilidad que corresponden al rojo (580 nm.), verde (540 nm.) y azul (450 nm.).
- La luz a una longitud de onda cualquiera dentro del espectro visible (desde 400 a 700 nm.) excitará uno o más de estos tres tipos de fotorreceptores.
- La percepción del color está determinada por la **combinación** de los fotorreceptores que son excitados y de cuánto son excitados cada uno. La siguiente imagen muestra con letras griegas (Rho -red-, Gamma -green-, Beta -blue-) las longitudes de onda de estos fotorreceptores.



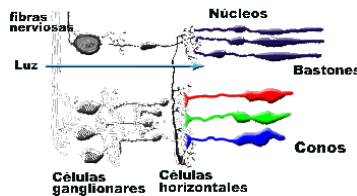
## Aspectos generales del ojo humano

Schematic Photoreceptor Mosaic

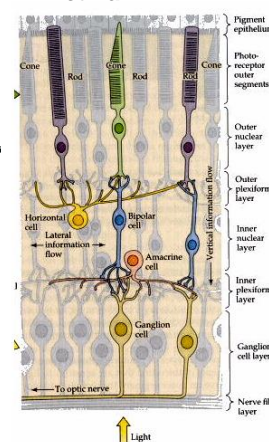


**Bastones**  
**Conos**

**La Retina**



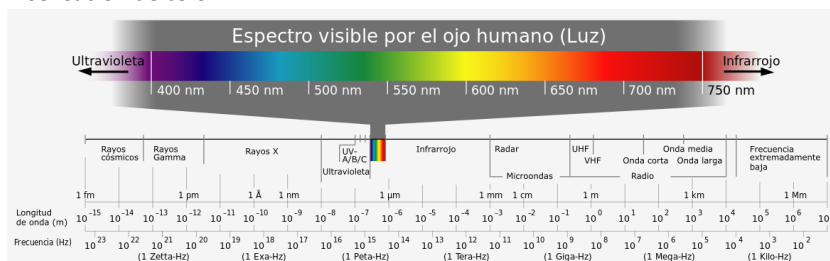
**Retina**



- La retina:
  - Bastones (bajo nivel de luz, visión nocturna)
  - Conos (visión en color)
  - Sinapsis (unión de neuronas)
  - Nervio óptico (envía la señal al cerebro)
- Sensado y capa de procesado de bajo nivel
  - 125 millones de bastones y conos alimentados por 1 millón de nervios

## Color - ¿Cómo vemos?

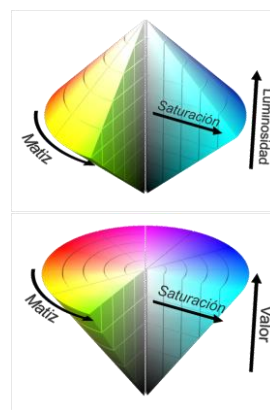
- La **visión humana** está relacionada en especial con la **percepción del color**, la **forma**, la **distancia** y las **imágenes en tres dimensiones**.
- El **color** depende, en parte, de la longitud o longitudes de onda de las ondas luminosas **incidentes**, y en parte del estado del propio **ojo**, como ocurre en el **daltonismo**. Si la longitud de onda es superior o inferior a determinados límites no producen impresión visual.
- Las radiaciones electromagnéticas con longitud de onda entre 350 y 750 nanómetros (luz visible) estimulan los receptores humanos y producen la sensación de color.



Espectro electromagnético. Wikipedia.

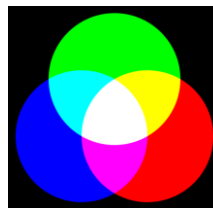
## Color – Aspectos básicos

- Para distinguir un color de otro se pueden utilizar **diferentes características**. Las utilizadas con más frecuencia son: **Brillo, Matiz (Tono) y Saturación**
  - **Brillo**: incorpora la noción cromática de **luminosidad** (sensación que indica si un área está más o menos iluminada).
  - **Matiz**: Está asociado con la **longitud de onda dominante** en la mezcla de longitudes de onda de luz (sensación que indica si un área parece similar al rojo, amarillo, verde o azul o a una proporción de dos de ellos)
  - **Saturación**: Se refiere a la **pureza** depende de la distancia entre determinado color y la escala de grises; con la mayor saturación un color será más vivo, puro o colorido.
- El matiz y la saturación tomados conjuntamente se denomina **cromaticidad** (por tanto un color se puede definir por **brillo y cromaticidad**).

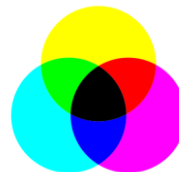


Doble cono de la coloración HSL y cono de la coloración HSV. Wikipedia. Maulucioni, basado en un trabajo previo de SharkD.

- **Espacio (o modelo) de color:** es una especificación de un sistema de coordenadas 3D y un sub-espacio dentro de dicho sistema donde cada color se representa por un punto.
- Los espacios de color son siempre **tridimensionales**. Los espacios más frecuentes son:
  - **Red/Green/Blue (RGB)** (utilizado habitualmente en imágenes digitales: pantallas de ordenador, y vídeo cámaras).
  - **Cyan/Magenta/Yellow (CYM):** Síntesis sustractiva (utilizado en impresoras de color).
  - **Intensity/Chromaticity (YUV y YIQ):** (se usan para transmisión de señales de televisión).
  - **Hue/Saturation/Value (HSV)** (este espacio se usa típicamente en imágenes artísticas).
- En procesamiento de imágenes se utiliza RGB, YIQ, HSV (matiz, saturación, valor), HSI (matiz, saturación, intensidad). (La I de YIQ y la I de HSI tienen significados distintos).
- Muchas aplicaciones de tratamiento de imágenes digitales requieren **transformaciones entre el espacio RGB y otros espacios de color**.



Síntesis aditiva. Wikipedia (Quark67, modificada por Monami)

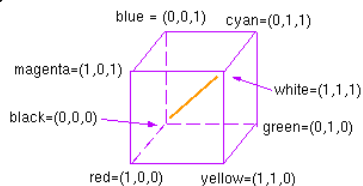
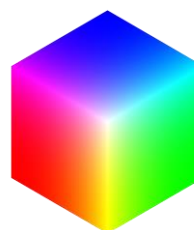


Síntesis sustractiva. Wikipedia (Jorgelrm).

- El **espacio RGB** se basa en la combinación de las tres componentes espectrales primarias: R, G, B.
- Cada color toma valores entre 0 y 255, y un color concreto, X, se obtiene a partir de la **suma** de las componentes:  $X = R + G + B$ .
- Gráficamente se representa por un cubo.
- Las cantidades de R, G y B requeridas para formar un color particular se denominan colores triestímulos. Si identificamos a estos colores triestímulos por A, B, C, un color se puede definir por sus coeficientes tricromáticos (x,y,z), dados por:

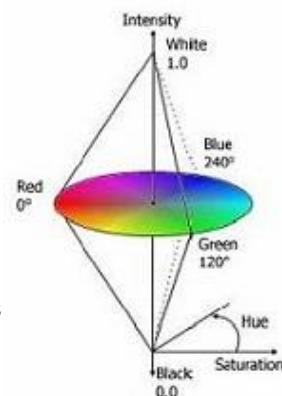
$$x = \frac{A}{A+B+C}; \quad y = \frac{B}{A+B+C};$$

$$z = \frac{C}{A+B+C}; \quad \text{con: } x + y + z = 1$$



<http://escience.anu.edu.au/lecture/cg/Color/printCG.en.html>

- Caracteriza el color en términos de **Matiz o tono (Hue)**, **Saturación o croma (Saturation)** y **brillo (Intensity)**. Es un modelo muy importante porque representa el color de forma similar a cómo lo sensa el ojo humano.
- Especial interés porque:
  - La componente de intensidad I, se puede separar de la información de color.
  - Las componentes tono H y saturación S, están estrechamente relacionadas con el modo en que los humanos perciben el color.
- **Hue** = Longitud de onda dominante o tono del color (ángulo entre 0° y 360°)
- **Saturation** = Saturación o pureza del color (entre 0 y 1)
- **Intensity** = Intensidad del color (entre 0 correspondiente al negro y 1 al blanco)



<http://iie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/gti/timag/trabajos/2010/maderas/>

- Dado que en muchas aplicaciones prácticas se plantea la necesidad de realizar **conversiones** entre los espacios RGB y HSI, a continuación se muestran las ecuaciones que permiten realizar estas conversiones (en Rafael C. Gonzalez et al. 2004 se incluyen diversas funciones para realizar la conversión entre diferentes espacios de color)

### Conversión de RGB a HSI

$$H = \begin{cases} \gamma & \text{si } B \leq G \\ 360^\circ - \gamma & \text{si } B > G \end{cases} \quad \gamma = \cos^{-1} \left( \frac{R - \frac{1}{2}G - \frac{1}{2}B}{(R^2 + G^2 + B^2 - RG - GB - BR)^{1/2}} \right)$$

$$S = \left( 1 - \frac{3 \min(R, G, B)}{(R + G + B)} \right)$$

$$I = \frac{R + G + B}{3}$$

### Conversión de HSI a RGB

$$\begin{aligned}
 &\text{Sector } RG \quad (0^\circ \leq H \leq 120^\circ) : \begin{cases} B = I(1 - S) \\ R = I \left[ 1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \\ G = 3I - (R + B) \end{cases} \\
 &\text{Sector } BR \quad (240^\circ \leq H \leq 360^\circ) : H = H - 240^\circ \Rightarrow \begin{cases} G = I(1 - S) \\ B = I \left[ 1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \\ R = 3I - (G + B) \end{cases} \\
 &\text{Sector } GB \quad (120^\circ \leq H \leq 240^\circ) : H = H - 120^\circ \Rightarrow \begin{cases} R = I(1 - S) \\ G = I \left[ 1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \\ B = 3I - (R + G) \end{cases}
 \end{aligned}$$