



Div. Ingeniería de Sistemas y Automática

Universidad Miguel Hernández

VISIÓN POR COMPUTADOR

# COLOR EN IMÁGENES DIGITALES



GRUPO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL



## Tabla de Contenidos

VISIÓN POR COMPUTADOR

- Motivación
- Antecedentes Históricos
- Naturaleza de la Luz
- Interacción entre la Luz y la Materia
- Percepción Humana del Color
- Representación del color



## Motivación

3

- ↖ El empleo del color mejora las tareas de alto nivel en el procesamiento de imágenes



Tres veces más de información

Similitud con la visión humana

- ↖ Especialmente útil para:
  - ↖ Discriminar objetos cromáticos
  - ↖ Procesar información en color

VISIÓN POR COMPUTADOR




## Tabla de Contenidos


4

- Motivación
- Antecedentes Históricos
- Naturaleza de la Luz
- Interacción entre la Luz y la Materia
- Percepción Humana del Color
- Representación del color

VISIÓN POR COMPUTADOR



| Antecedentes Históricos   |   | 5   |
|---|---|---|
| VISIÓN POR COMPUTADOR   | ↖ Antecedentes históricos                                       |   |
|   | ↖ Newton (1671)   |   |
|   | ⇨ Estudia la naturaleza de la luz                               |   |
|   | <input checked="" type="checkbox"/> Pobre comprensión del color |   |
|   | ↖ Young (1802)  |   |
| ⇨ Apoya su estudio en la teoría ondulatoria   |   |   |
| <input checked="" type="checkbox"/> Mejor comprensión de la luz y el color                        |   |   |
| ↖ Palmer y Young (1777, 1802)   |   |   |
| ⇨ Hipótesis sobre la percepción humana del color  |   |   |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tres tipos de receptores con respuestas selectivas            |   |   |
| ↖ Grassmann y Maxwell (1854, 1856)  |   |   |
| ⇨ Modelo matemático para la expresión del color   |   |   |
| <input checked="" type="checkbox"/> El color se puede expresar como tres variables independientes |   |   |
| Color en Imágenes Digitales   |   |  Grupo de Tecnología Industrial |

| Antecedentes Históricos   |   | 6  |
|---|---|--|
| VISIÓN POR COMPUTADOR   | ↖ Antecedentes históricos   |  |
|   | ↖ Maxwell (1857)  |  |
|   | ⇨ Una mezcla aditiva puede igualarse con combinaciones de estímulos primarios |  |
|   | <input checked="" type="checkbox"/> <i>Generalización tricromática</i>        |  |
|   | ↖ Helmholtz (1866)  |  |
| ⇨ Explica la distinción entre mezcla aditiva y sustractiva  |   |  |
| ⇨ Explica la generalización tricromática  |   |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Se basa en las curvas de sensibilidad espectral de las tres " <i>fibras sensibles al color</i> " del ojo. |   |  |
| ⇨ La confirmación fisiológica de esta evidencia indirecta no llegó hasta mucho más tarde: conos S, M, L(1983, 1993)                           |   |  |
| ↖ CMF's   |   |  |
| ⇨ <i>Color Matching Functions (~1930)</i>   |   |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Conjuntos de tres funciones relacionadas con las sensibilidades de los conos primarios                    |   |  Grupo de Tecnología Industrial |
| Color en Imágenes Digitales   |   |  |

### ↖ Antecedentes históricos

#### ↖ Guild y Wright (1929, 1931)

- ⇨ Definen conjuntos de CMF's usados por el CIE
  - ☑ CIE: *Comission Internationale de l'Éclairage*
  - ☑ Establecimiento de una especificación numérica del color en términos de valores triestímulo

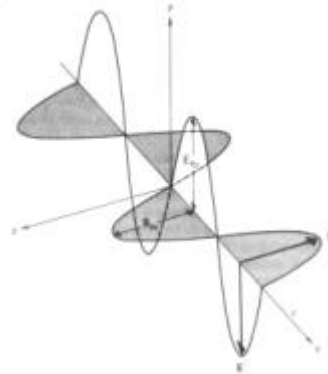
#### ↖ CMF's y percepción

- ⇨ CMF's:
  - ☑ Modelo lineal de especificación de color
- ⇨ Percepción humana del color
  - ☑ No lineal
- ⇨ Necesidad de *espacios de color uniformes*
  - ☑ Distancias euclídeas iguales corresponden a diferencias de percepción de color iguales

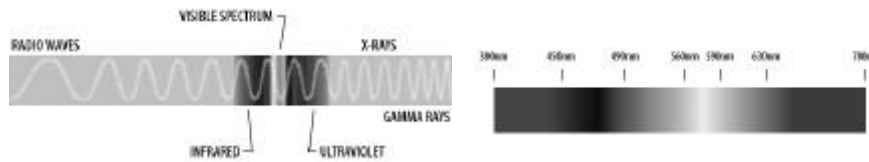
- Motivación
- Antecedentes Históricos
- Naturaleza de la Luz
- Interacción entre la Luz y la Materia
- Percepción Humana del Color
- Representación del color

↳ Teoría Electromagnética  
(propagación de la luz)

- ↳ La luz como radiación electromagnética se propaga en forma de dos ondas vectoriales perpendiculares entre sí y mutuamente acopladas
- ↳ El ojo humano es sensible a las radiaciones electromagnéticas de entre 380 nm y 780 nm



VISIÓN POR COMPUTADOR



↳ Modelo corpuscular (Interacción de la luz con la materia)

- ↳ La luz está formada por cantidades cuantificables de energía (fotones)
- ↳ La energía radiante que incide sobre un objeto se transforma, por una parte, en energía reflejada, en energía transmitida y en energía absorbida:

R: Reflectancia

T: Transmitancia

A: Absortancia



Características que definen las propiedades de un material

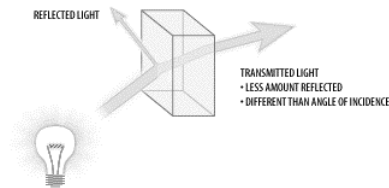
VISIÓN POR COMPUTADOR

- Motivación
- Antecedentes Históricos
- Naturaleza de la Luz
- Interacción entre la Luz y la Materia
- Percepción Humana del Color
- Representación del color

- ↖ Interacción entre la Luz y la Materia
  - ↖ El color en los objetos viene provocado por la interacción de una luz emitida sobre el mismo.
  - ↖ Si la luz impacta sobre un objeto:
    - ⇨ Será completa o parcialmente transmitida
    - ⇨ Será completa o parcialmente reflejada
    - ⇨ Será completa o parcialmente absorbida
  - ↖ Transmisión

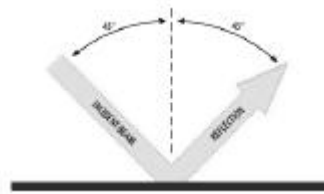


- ↖ Índice Refractivo (RI): relación entre la velocidad de la luz en un medio y el vacío.
- ↖ Refracción: Cambio en la dirección de la luz al atravesar dos medios con RI diferentes

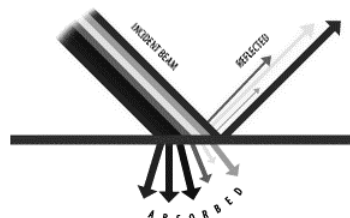


- ↔ El RI de una sustancia se ve afectado por la longitud de onda de la fuente de luz

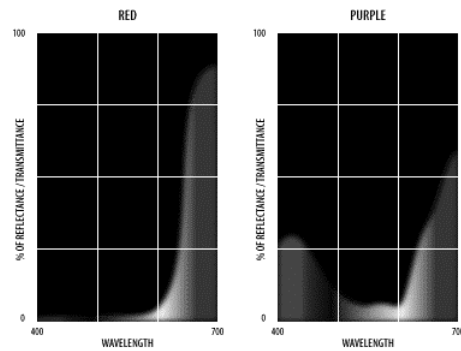
- ↖ Reflexión: Superficies que reflejan la luz con una intensidad y con un ángulo igual que la incidente.



- ↖ Absorción: La luz incidente se absorbe en función de la pigmentación del objeto

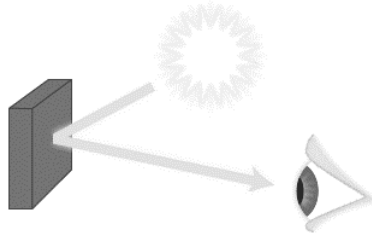


↖ Reflectancia Espectral: Cantidad de luz en cada longitud de onda que es reflejada por un objeto en comparación con la reflexión pura (objeto blanco)



- Motivación
- Antecedentes Históricos
- Naturaleza de la Luz
- Interacción entre la Luz y la Materia
- Percepción Humana del Color
- Representación del color

### ↳ Percepción humana del color



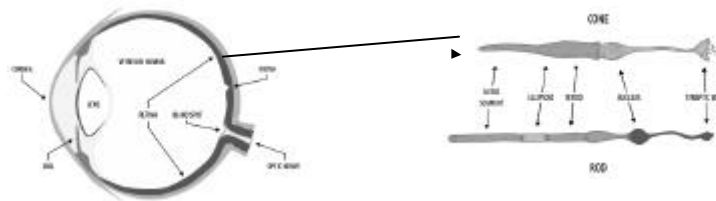
Fuente de luz emite radiación con diferentes long. de onda  
El objeto refleja otra distribución de longitudes de onda  
Los fotorreceptores del ojo son sensibles a determinadas distribuciones  
Los estímulos se envían al cerebro y se percibe el color

### ↳ Características de un color:

- ↳ Brillo: Incorpora la noción de intensidad
- ↳ Matiz: Longitud de onda dominante del color
- ↳ Saturación: Pureza relativa o cantidad de luz blanca mezclada con el matiz. El grado de saturación es inversamente proporcional a la cantidad de luz blanca añadida
  
- ↳ Matiz + Saturación = Cromaticidad

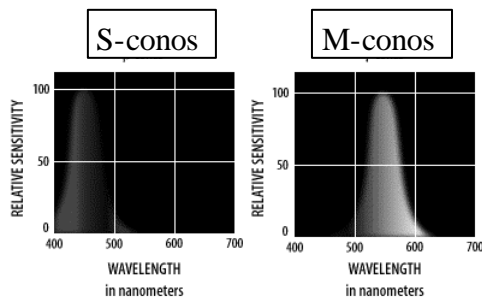
- ↳ Modelo fisiológico
  - ↳ Respuesta espectral de los conos (S, M, L) de ojo. Sensación tricromática
- ↳ Modelo perceptual
  - ↳ Procesamiento neuronal de la respuesta retinal

- ↳ Visión Humana
  - ↳ En la retina del ojo humano se ubican dos fotorreceptores sensibles a la luz: conos y bastones

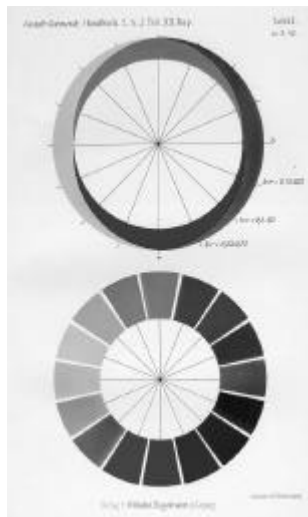


- ↳ Bastones: No sensibles al color
- ↳ Conos: Tres tipos (L, S, M) sensibles al color rojo verde y azul

- ↖ Existen tres tipos de conos.
  - ↖ Cada uno es sensible a un rango de longitudes de onda
  - ↖ Las respuestas se combinan para formar una imagen en color



- ↖ Modelo perceptual
  - ↖ Percibimos cuatro matices distintos
    - ⇨ Rojo, verde, amarillo y azul
  - ↖ Teoría de los colores opuestos (Hering, 1920)
    - ⇨ Rojo-verde, azul-amarillo son pares opuestos
    - ⇨ Podemos percibir matices intermedios entre pares no opuestos
      - Rojo-amarillo
      - Amarillo-verde
      - Verde-azul
      - Azul-rojo
    - ⇨ No podemos:
      - Rojo-verde
      - Amarillo-azul

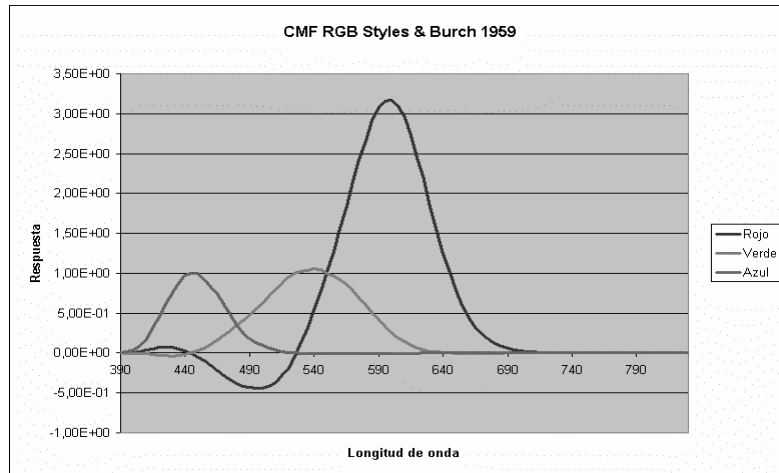


- Motivación
- Antecedentes Históricos
- Naturaleza de la Luz
- Interacción entre la Luz y la Materia
- Percepción Humana del Color
- Representación del color

- ↖ Los espacios de color proporcionan un método para especificar, ordenar y manipular colores
- ↖ Los espacios son ordenaciones n-dimensionales de las sensaciones de color
- ↖ La amplia mayoría de los modelos se han desarrollado para aplicaciones específicas
- ↖ Ejemplos: RGB, HSI, CMY, XYZ, ...

- ↖ Espacio RGB
- ↖ Espacio XYZ
- ↖ Espacio YUV-YIQ
- ↖ Espacio C-Y, CMY, CMYK
- ↖ Espacio HSI
- ↖ Espacios uniformes de color CIE Luv, CIE Lab

- ↖ Espacio CIE RGB (*Red, Green, Blue*) (1931)
  - ↖ Tricromático
  - ↖ Primitivas:
    - ↖ Rojo: 700 nm
    - ↖ Verde: 546,1 nm
    - ↖ Azul: 438,5 nm
  - ↖ Admite aportaciones negativas



Aportaciones RGB para cada longitud de onda

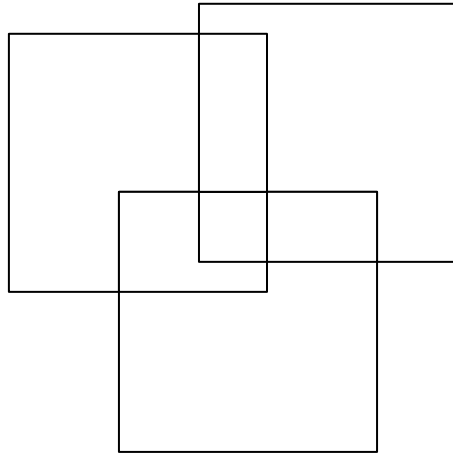
### ↳ Imágenes RGB

- ↳ Conjunto de tres imágenes en niveles de gris independientes
- ↳ Cada una representa una componente de color
  - ↳ Rojo (R) ; Verde (G) ; Azul (B)
- ↳ Coeficientes normalizados
- ↳ Coeficientes tricromáticos

↳ Obtención de un color en RGB

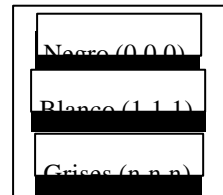
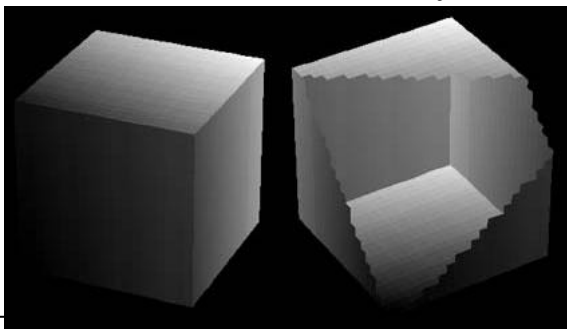
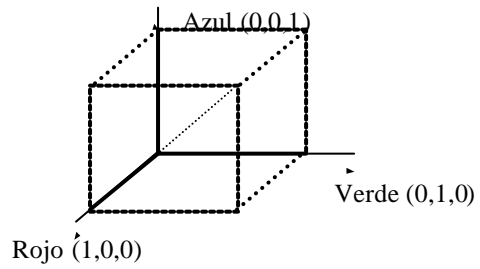
↳ Colores aditivos

VISION POR COMPUTADOR



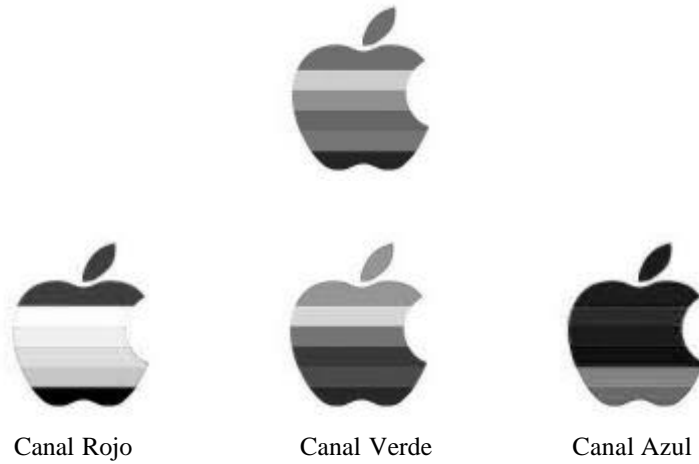
↳ Imágenes RGB

VISION POR COMPUTADOR



## ↳ Descomposición 3 canales RGB

VISION POR COMPUTADOR



↳ El modelo de colores RGB es el empleado en la adquisición de imágenes (cámaras CCD)

↳ En estos sistemas existen actualmente dos alternativas:

- ↳ CCD Triple
- ↳ CCD único con exposición triple

VISION POR COMPUTADOR

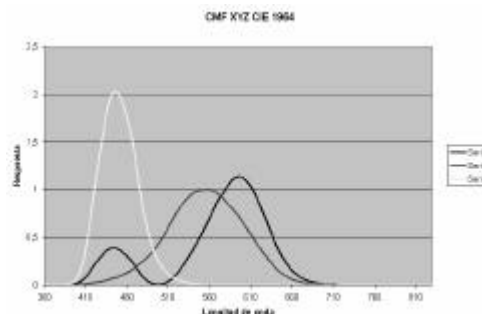


- ↳ Espacio RGB
- ↳ Espacio XYZ
- ↳ Espacio YUV-YIQ
- ↳ Espacio C-Y, CMY, CMYK
- ↳ Espacio HSI
- ↳ Espacios uniformes de color CIE Luv, CIE Lab

↳ El espacio XYZ fue introducido por la CIE para evitar los inconvenientes de los triestímulos espectrales R,G y B:

**ALGUNOS COLORES SÓLO PUEDEN REPRODUCIRSE CON CANTIDADES NEGATIVAS DE UN ESTÍMULO**

En XYZ los primarios empleados son imaginarios, no representan ninguna luz física



## Espacio XYZ

35

VISIÓN POR COMPUTADOR

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.739 & -1.145 & -0.424 \\ -1.119 & 2.029 & 0.033 \\ 0.138 & -0.333 & 1.105 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

⇐ Coeficientes tricromáticos

⇐ Diagrama cromático xy (z=1-x-y)

Color en Imágenes Digitales

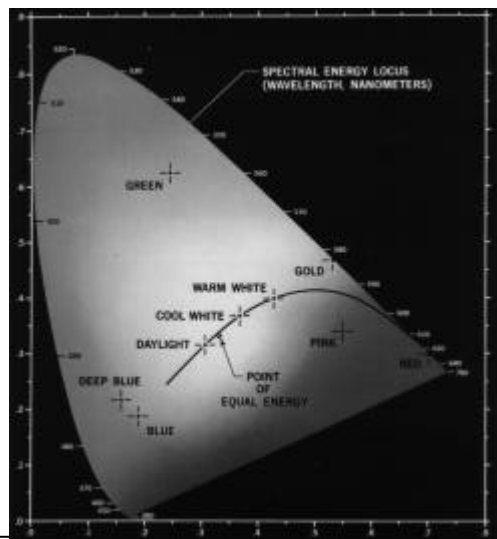


Grupo de Tecnología Industrial

## Espacio XYZ

36

VISIÓN POR COMPUTADOR



- ↖ La recta que une un color pinto representa una frontera con el blanco característica asociada con la longitud de onda dominante en el color.
- ↖ Saturación representa la puede tener ese color.
- ↖ Si se usa un color parece relativa entre el blanco y el color, y se prolonga la recta hasta la frontera opuesta, se obtiene un color complementario.
- ↖ La recta que une dos colores en el diagrama contiene todos los colores que se pueden obtener con ellos.
- ↖ Los colores que están dentro de dicho

Color en Imágenes Digitales



Grupo de Tecnología Industrial

- ↖ Espacio RGB
- ↖ Espacio XYZ
- ↖ Espacio YUV-YIQ
- ↖ Espacio C-Y, CMY, CMYK
- ↖ Espacio HSI
- ↖ Espacios uniformes de color CIE Luv, CIE Lab

- ↖ Estos sistemas surgieron para la difusión de la señal de televisión
- ↖ Tienen su origen en una recodificación del espacio RGB para responder a una característica de la visión humana:
  - Más sensible a los cambios de luminancia que a los cambios de matiz o saturación

### ↳ Codificación de colores:

- ↳ Ambos modelos codifican el color en componente de luminancia Y, y en señales IQ o UV, que definen señales de color magenta-verde y amarillo-cyan respectivamente

### ↳ Sistema de televisión:

#### ↳ YIQ:

- ↳ Sistema NTSC

#### ↳ YUV:

- ↳ Sistema PAL
- ↳ Sistema SECAM

### ↳ Espacio YUV

- ↳ La información del color (U,V) y la información de la luminancia (Y) están desacopladas

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.147 & -0.289 & -0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$U = 0.493(B - Y)$$

$$V = 0.877(R - Y)$$

↖ Espacio YIQ (Luminancia - Fase - Cuadratura)

↖ La información del color (I+Q) y la información de la luminancia están desacopladas

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

↖ Espacio RGB

↖ Espacio XYZ

↖ Espacio YUV-YIQ

↖ Espacio C-Y, CMY, CMYK

↖ Espacio HSI

↖ Espacios uniformes de color CIE Luv, CIE Lab

### ↳ Espacio C-Y

- ↳ Es una recodificación del RGB más eficaz en la transmisión para TV en color (), y que además es compatible con los estándares de TV en blanco y negro

$$\begin{bmatrix} Y \\ R-Y \\ B-Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.701 & -0.587 & -0.114 \\ -0.299 & -0.587 & 0.886 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

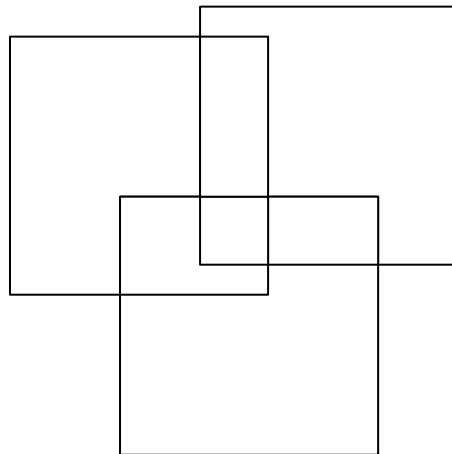
$$S = \sqrt{(B-Y)^2 + (R-Y)^2}$$

$$H = \arctg \left[ \frac{R-Y}{B-Y} \right] \quad \text{si } S \neq 0$$

### ↳ Espacio CMY (Cyan, Magenta, Yellow)

- ↳ Tricromático
- ↳ Substractivo

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



↖ Espacio CMYK (*Cyan, Magenta, Yellow, Black*)

↖ Tricromático, se añade el negro

↖ Substractivo

↖ Empleado en impresión

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

$$\begin{bmatrix} C_K \\ M_K \\ Y_{eK} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C \\ M \\ Y_e \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K \\ K \\ K \end{bmatrix}$$

$$K = \min(C, M, Y_e)$$

↖ Espacio RGB

↖ Espacio XYZ

↖ Espacio YUV-YIQ

↖ Espacio C-Y, CMY, CMYK

↖ Espacio HSI

↖ Espacios uniformes de color CIE Luv, CIE Lab

### ↳ Espacio HSI (Hue (tono,matiz)- Saturación - Intensidad)

- ↳ Las componentes de estos espacios representan los atributos perceptuales con los que los seres humanos especifican el color percibido: luminancia o intensidad, matiz o tono y saturación
- ↳ La información de intensidad ( $I$ ) está desacoplada de la información del color ( $H, S$ )
- ↳ Transformación RGB - HSI

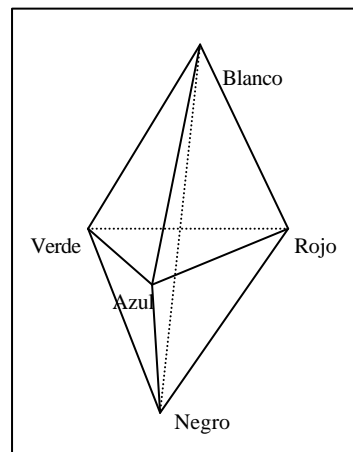
$$I = \frac{1}{3}(R + G + B)$$

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

$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{1/2[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\}$$

### ↳ Espacio HSI (Hue (tono)- Saturación - Intensidad)

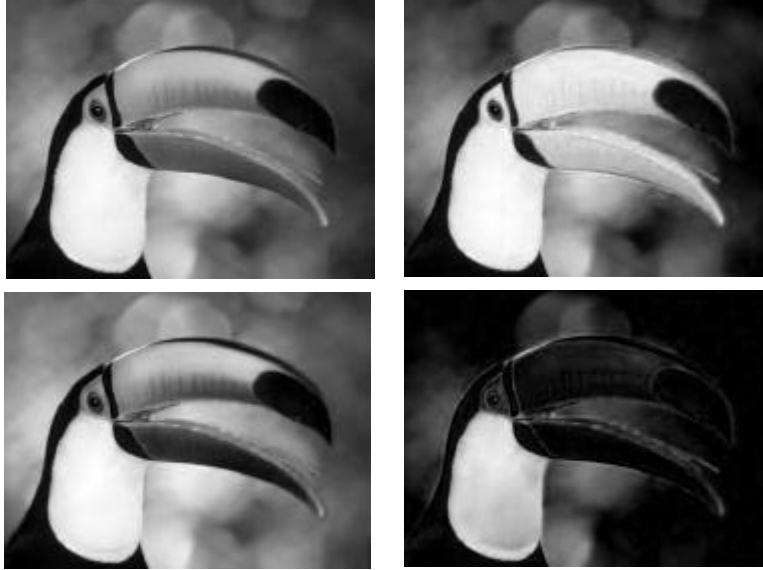
- ↳ Pirámide hexagonal invertida
- ↳ Tono (Hue): ángulo alrededor al eje vertical
- ↳ Saturación: separación del eje hacia el límite del hexágono
- ↳ Escala de grises en el eje central de la pirámide
- ↳ Valor: Oscuridad del color, más oscuro al fondo de la pirámide



## Espacio RGB

49

VISIÓN POR COMPUTADOR



Color en Imágenes Digitales

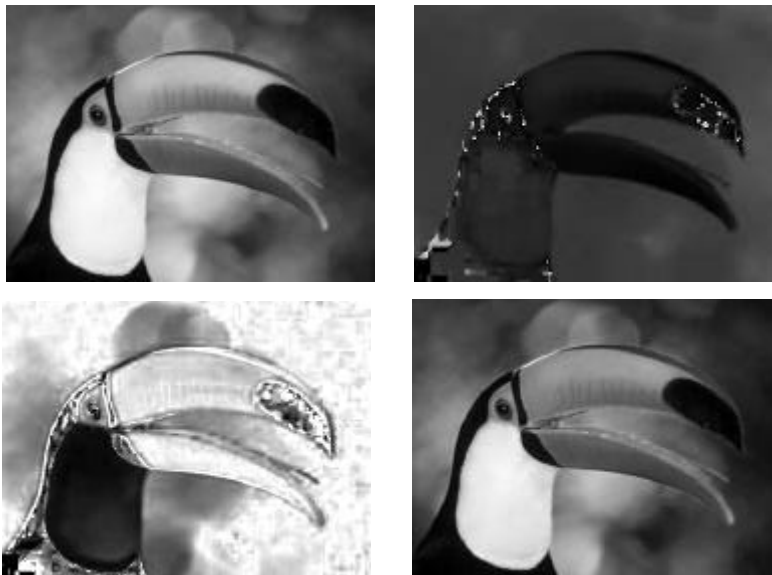


Grupo de Tecnología Industrial

## Espacio HSI

50

VISIÓN POR COMPUTADOR



Color en Imágenes Digitales



Grupo de Tecnología Industrial

## Espacio RGB

51

VISIÓN POR COMPUTADOR



Color en Imágenes Digitales

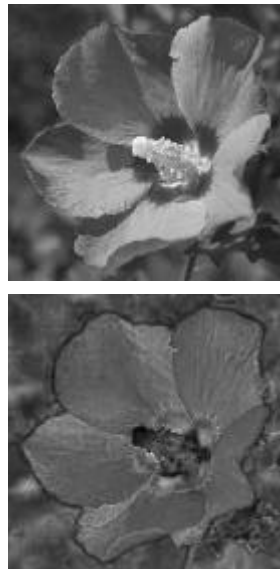


Grupo de Tecnología Industrial

## Espacio HSI

52

VISIÓN POR COMPUTADOR



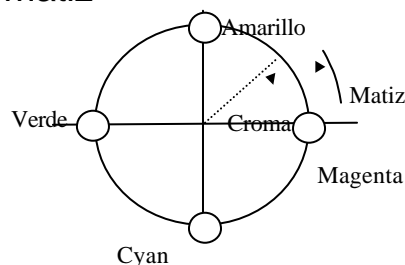
Color en Imágenes Digitales



Grupo de Tecnología Industrial

- ↖ Espacio RGB
- ↖ Espacio XYZ
- ↖ Espacio YUV-YIQ
- ↖ Espacio C-Y, CMY, CMYK
- ↖ Espacio HSI
- ↖ Espacios uniformes de color CIE Luv, CIE Lab

- ↖ La transformación del modelo RGB a espacio CIELAB no es inmediata y las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  se calculan mediante transformaciones no lineales, haciendo uso del espacio XYZ
- ↖ El espacio CIELAB puede ser representado mediante un sistema de coordenadas polares  $L^*$ , croma y matiz



↳ Espacio  $L^* u^* v^*$ 

$$L^* = 116 f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16$$

$$u^* = 13 L^* (u' - u'_n)$$

$$v^* = 13 L^* (v' - v'_n)$$

$$f(x) = \begin{cases} x^{1/3} & x > 0.0088 \\ 7.787x + \frac{16}{116} & x \leq 0.0088 \end{cases}$$

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \quad u'_n = \frac{4X_n}{X_n + 15Y_n + 3Z_n}$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} \quad v'_n = \frac{9Y_n}{X_n + 15Y_n + 3Z_n}$$

$(X_n, Y_n, Z_n)$  referencia del blanco

VISIÓN POR COMPUTADOR

↳ Espacio  $L^* a^* b^*$ 

$$L^* = 116 f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16$$

$$a^* = 500 \left( f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right)$$

$$b^* = 200 \left( f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right)$$

$$f(x) = \begin{cases} x^{1/3} & x > 0.0088 \\ 7.787x + \frac{16}{116} & x \leq 0.0088 \end{cases}$$

$(X_n, Y_n, Z_n)$  referencia del blanco

VISIÓN POR COMPUTADOR

↳ Espacio L\* u\* v\*

$$\text{Croma} = \sqrt{(u^*)^2 + (v^*)^2} \quad \text{Hue} = \arctg\left(\frac{u^*}{v^*}\right)$$

↳ Espacio L\* a\* b\*

$$\text{Croma} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{Hue} = \arctg\left(\frac{a^*}{b^*}\right)$$

VISIÓN POR COMPUTADOR



↳ Valores RGB entre colores



200,200,200



225,225,225



175,175,175



175,175,225



225,175,225



175,225,175



150,150,175



125,125,150



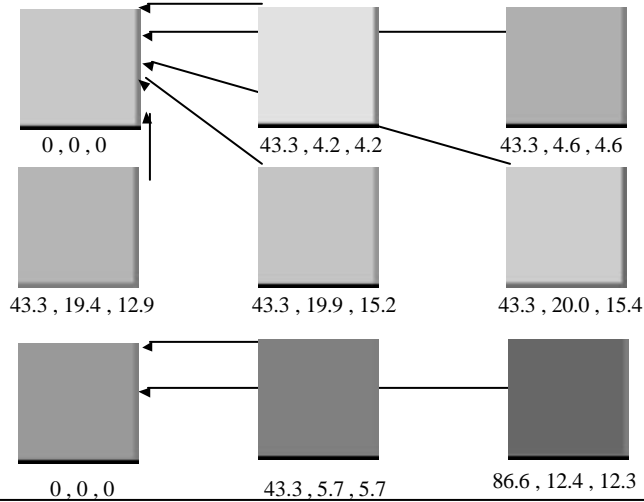
100,100,125

VISIÓN POR COMPUTADOR



Distancias métricas RGB , L\*u\*v\* , L\*a\*b\* entre colores

VISIÓN POR COMPUTADOR



**Representación del color**

VISIÓN POR COMPUTADOR

| R   | G   | B   | S (HSI) | Croma (L <u>u</u> *v*) | Croma (L <u>a</u> *b*) |
|-----|-----|-----|---------|------------------------|------------------------|
| 255 | 0   | 0   | 255     | 178.93                 | 107.98                 |
| 200 | 0   | 0   | 255     | 161.20                 | 99.58                  |
| 100 | 0   | 0   | 255     | 117.82                 | 78.90                  |
| 50  | 0   | 0   | 255     | 83.39                  | 60.94                  |
| 10  | 0   | 0   | 255     | 28.40                  | 30.09                  |
| 1   | 0   | 0   | 255     | 2.86                   | 3.94                   |
| 0   | 100 | 0   | 255     | 91.82                  | 85.22                  |
| 0   | 0   | 100 | 255     | 78.95                  | 89.20                  |
| 100 | 100 | 0   | 255     | 68.90                  | 63.44                  |
| 100 | 0   | 100 | 255     | 85.29                  | 75.36                  |
| 0   | 100 | 100 | 255     | 56.71                  | 42.68                  |