

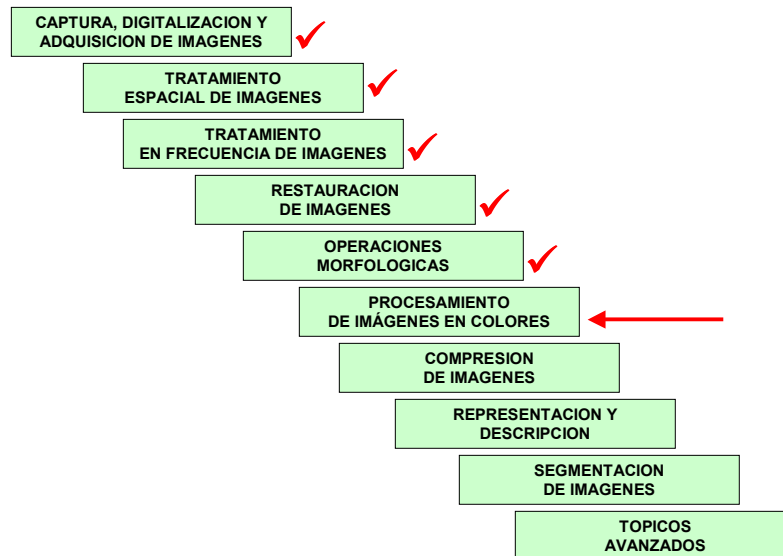
Procesamiento Digital de Imágenes

Pablo Roncagliolo B.

Nº 13



Orden de las clases...



prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

2

Procesamiento de Imágenes en Color

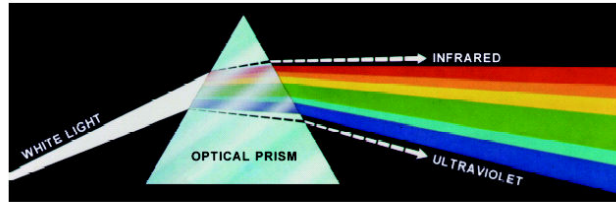


FIGURE 6.1 Color spectrum seen by passing white light through a prism. (Courtesy of the General Electric Co., Lamp Business Division.)

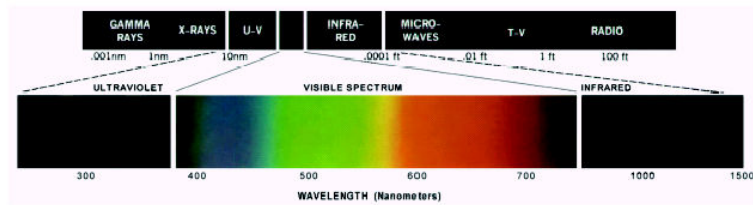


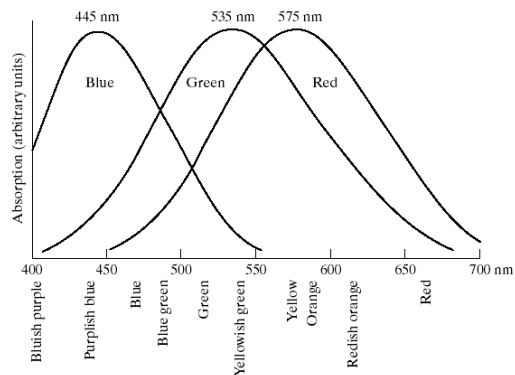
FIGURE 6.2 Wavelengths comprising the visible range of the electromagnetic spectrum. (Courtesy of the General Electric Co., Lamp Business Division.)

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

3

Procesamiento de Imágenes en Color



→ Modelo RGB

FIGURE 6.3 Absorption of light by the red, green, and blue cones in the human eye as a function of wavelength.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

4

Procesamiento de Imágenes en Color

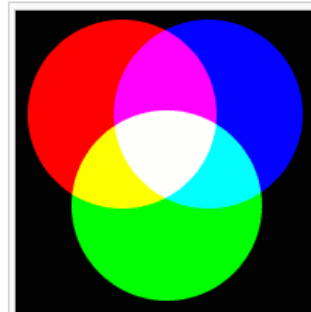


RGB

es el acrónimo inglés Red, Green, Blue (Rojo, Verde, Azul).

Es un modelo de color en el cual es posible representar un color mediante la mezcla por adición de tres colores primarios: rojo, verde y azul.

Funciona bien sobre “fondo negro”, por ejemplo una pantalla de computador



Mezcla de colores: añadiendo rojo a verde producirá amarillo; añadiendo amarillo a azul producirá blanco.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

5

Procesamiento de Imágenes en Color

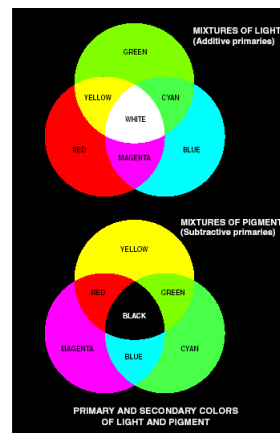


RGB

Es un modelo de “suma” de colores

CMY

Es un modelo de “resta” de colores



a
b

FIGURE 6.4 Primary and secondary colors of light and pigments. (Courtesy of the General Electric Co., Lamp Business Division.)

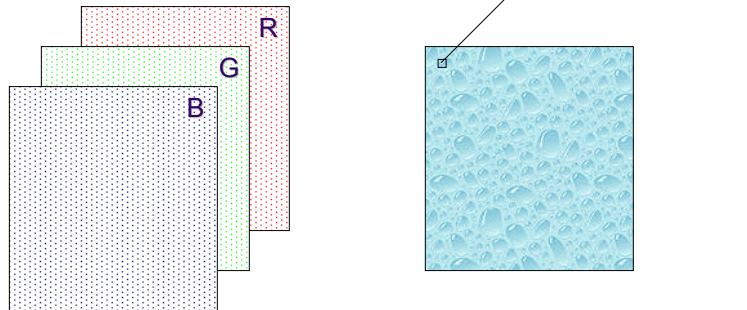
prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

6

Procesamiento de Imágenes en Color

Modelo RGB



prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

7

Procesamiento de Imágenes en Color

```
RGB=cat(3,imR,imG,imB);
```

```
imR=RGB(:,:,1);  
imG=RGB(:,:,2);  
imB=RGB(:,:,3);
```

Número de colores posibles:

$$N = (2^b)^3$$

Para $b=8\text{bit} \rightarrow N=256^3=16.777.216$



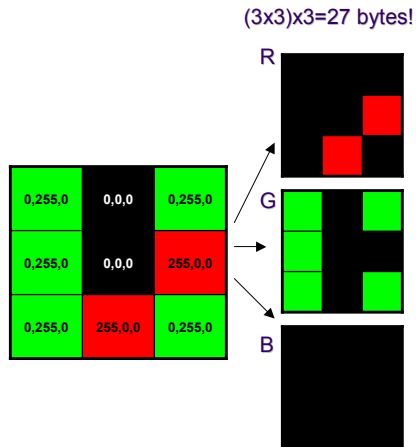
prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

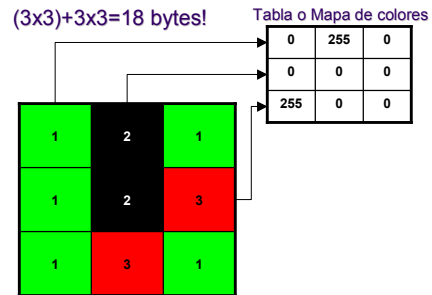
8

Procesamiento de Imágenes en Color

Imágenes RGB



Imágenes "Indexadas"



prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

9

Procesamiento de Imágenes en Color

Imágenes "Indexadas"

```
imshow(IM,map);
%o también:
image(IM);
colormap(map);
```

(3x3)+3x3=18 bytes!

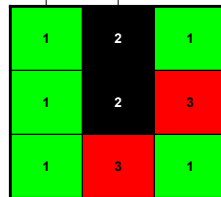


Tabla o Mapa de colores

0	255	0
0	0	0
255	0	0

%Para disminuir la cantidad de colores "n"

```
[IM2, map2]=imapprox(IM,map,n);
```

%Para convertir RGB a Indexada

```
[IM, map]=rgb2ind(RGB,n);
```

prb@2007

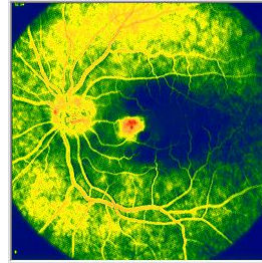
Imágenes: Gonzalez&Wood

10

Procesamiento de Imágenes en Color

Pseudo-color:

Imágenes monocromáticas coloreadas artificialmente.



```
%Ej. Para cambiar el mapa de colores  
A=imread('im_luna_gris.jpg');  
[I, map]=rgb2ind(A,256);  
n=double(max(max(I)))  
imshow(I, copper(n));
```

```
%Otros mapas:  
bone, cool, gray, hot, jet, pink,  
prism, summer, winter, white
```

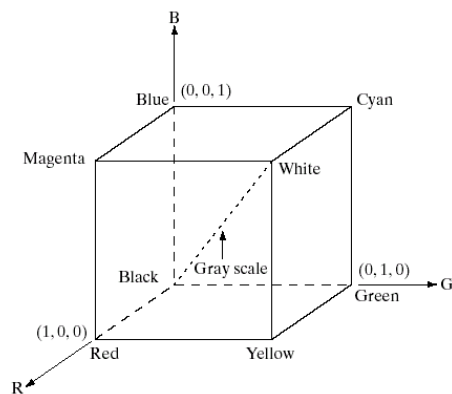
prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

11

Procesamiento de Imágenes en Color

FIGURE 6.7
Schematic of the RGB color cube. Points along the main diagonal have gray values, from black at the origin to white at point (1, 1, 1).



prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

12

Procesamiento de Imágenes en Color

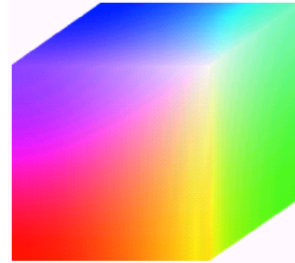


FIGURE 6.8 RGB 24-bit color cube.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

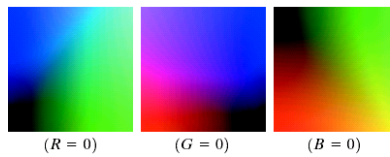
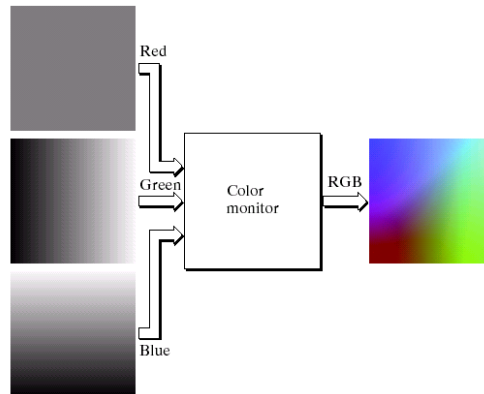
13

Procesamiento de Imágenes en Color



a
b

FIGURE 6.9
(a) Generating the RGB image of the cross-sectional color plane ($127, G, B$).
(b) The three hidden surface planes in the color cube of Fig. 6.8.



prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

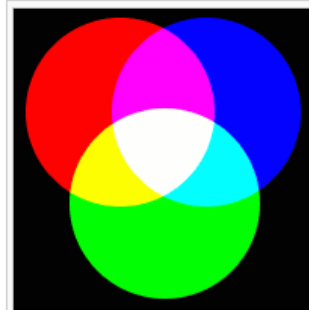
14

Procesamiento de Imágenes en Color



El modelo de color RGB, no define por sí mismo que significa exactamente "rojo", "verde" o "azul", por lo que los mismos valores RGB pueden mostrar colores notablemente diferentes en varios dispositivos que empleen este modelo de color.

Aunque utilicen un mismo modelo de color, sus **espacios de color** pueden variar considerablemente.



Mezcla de colores: añadiendo rojo a verde producirá amarillo; añadiendo amarillo a azul producirá blanco.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

15

Procesamiento de Imágenes en Color



Para indicar en que proporción se mezcla cada color, se asigna un valor a cada uno de los colores primarios de forma que el valor 0 significa que no interviene en la mezcla. Cuanto mayor sea dicho valor se entiende que aporta más intensidad a la mezcla.

Aunque el intervalo de valores podría ser cualquiera (reales [0 y 1], enteros entre 0 y 100, etc), es bastante frecuente que cada color primario se codifique con un *byte* de manera que cada valor estará en el intervalo de números naturales [0,255].

Es común utilizar la forma hexadecimal de este valor, de forma que el intervalo para cada componente sería [0x00,0xFF] o [#00,#FF].

De esta forma se puede definir un color con tres pares hexadecimales de la forma 0xRRGGBB.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

16

Procesamiento de Imágenes en Color



Ejemplos

Negro :	R=0, G=0, B=0 (#000000)
Blanco :	R=255, G=255, B=255 (#FFFFFF)
Rojo :	R=255, G=0, B=0 (#FF0000)
Verde :	R=0, G=255, B=0 (#00FF00)
Verde oscuro :	R=0, G=128, B=0 (#008000)
Verde más oscuro:	R=0, G=64, B=0 (#004000)
Amarillo :	R=255, G=255, B=0 (#FFFF00)
Magenta :	R=255, G=0, B=255 (#FF00FF)
Cyan :	R=0, G=255, B=255 (#00FFFF)



prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

17

Procesamiento de Imágenes en Color

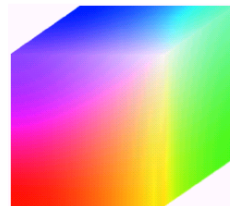


FIGURE 6.8 RGB 24-bit color cube.

Hace algunos años (ya no!) la diferencia entre tarjetas de video, monitores, procesadores, sistemas operativos, etc., → Problemas en la visualización de imágenes en colores

Se definió un mínimo de 216 colores que podían ser visualizados en prácticamente todos los sistemas → sRGB (safe RGB)

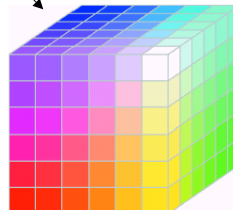


FIGURE 6.11 The RGB safe-color cube.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

18

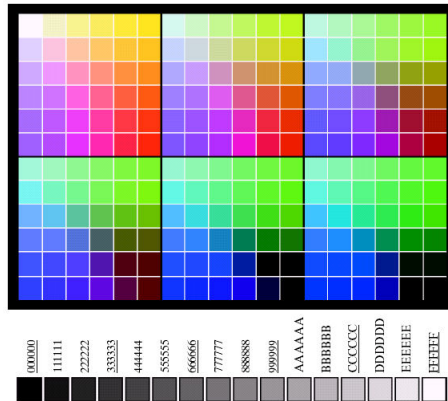
Procesamiento de Imágenes en Color

Number System	Color Equivalents					
Hex	00	33	66	99	CC	FF
Decimal	0	51	102	153	204	255

TABLE 6.1

Valid values of each RGB component in a safe color.

Sólo se utilizan 6 niveles para cada banda $\rightarrow 6^3 = 216$ colores



a
b

FIGURE 6.10
(a) The 216 safe RGB colors.
(b) All the grays in the 256-color RGB system (grays that are part of the safe color group are shown underlined).

prb@2007

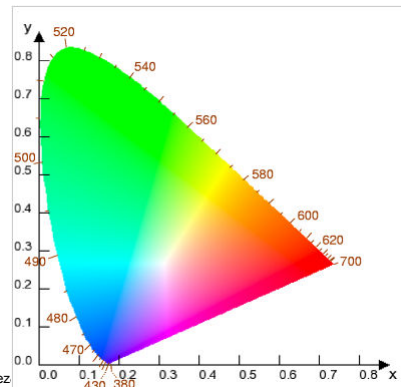
Imágenes: Gonzalez&Wood

19

Espacio del Color: CIE** 1931

La "Comisión Internacional en Iluminación", propuso en 1931 el clásico espacio de colores que representa los colores que pueden ser percibidos por el ojo humano.

** Usualmente conocida como "CIE" por sus siglas en Frances: Commission Internationale de l'Eclairage. Es una autoridad internacional en los temas relacionados con luz, iluminación, color y espacios de color. Está ubicada en Vienna, Austria.

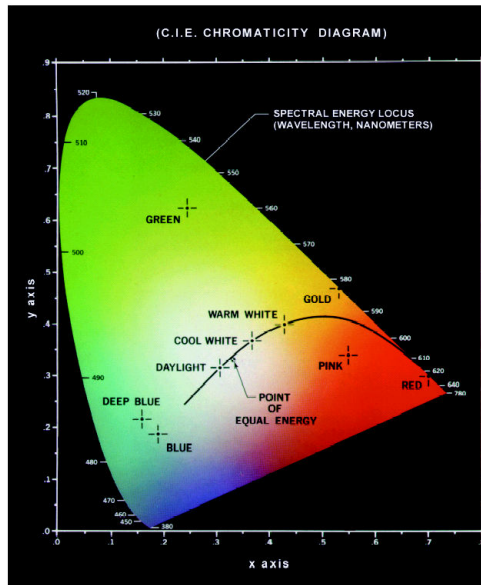


prb@2007

Imágenes: Gonzalez

Espacio del Color

FIGURE 6.5
Chromaticity diagram.
(Courtesy of the General Electric Co., Lamp Business Division.)



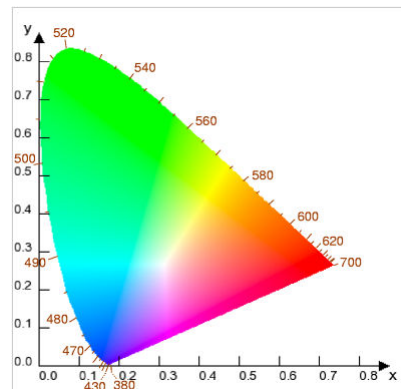
prb@2007

21

Espacio del Color

Desde el punto de vista del ojo humano, todos los colores son vistos como combinaciones de los tres colores primarios (R,G,B). La CIE propuso estandarizar los colores:

Azul=435.8nm
Verde=546.1nm
Rojo=700nm



prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

22

Espacio del Color

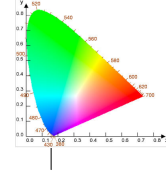
Las características de los colores son:

Brillo: intensidad del color. Por ejemplo el color Blanco es un color brillante, mientras que el gris es menos brillantes. Ambos “colores” están en el centro del diagrama de cromaticidad CIE.

Matiz (HUE): atributo asociado a la longitud de onda predominante en un color real (mezcla de longitudes de onda)

Cuando uno dice “este objeto es rojo” se está especificando su matiz, pues probablemente el objeto no sea un rojo puro, pero sí predominan las longitudes de onda cercanas al rojo.

Saturación: se refiere a la pureza relativa o cantidad de luz blanca mezclada con un matiz. La saturación es inversamente proporcional a la cantidad de luz blanca. Ej. el punto “blanco” del espacio CIE tiene saturación 0.



prb@2007

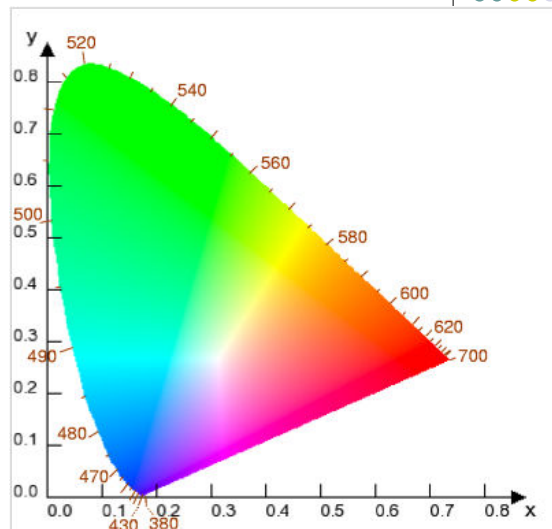
Imágenes: Gonzalez&Wood

23

Espacio del Color

La **cromaticidad** corresponde a considerar el matiz y la saturación en conjunto.

Por lo tanto un color se puede caracterizar simplifcadamente por su brillo y cromaticidad.



prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

24

GAMUT

El **gamut** de un dispositivo es la gama de colores que es capaz de reproducir.

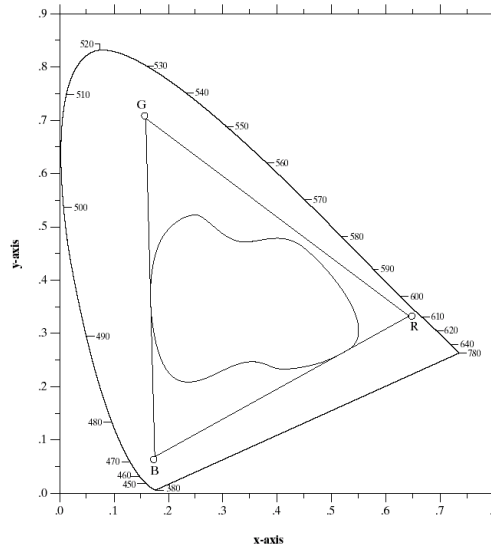


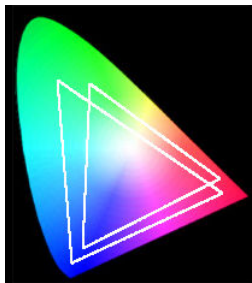
FIGURE 6.6 Typical color gamut of color monitors (triangle) and color printing devices (irregular region).

prb@2007

25

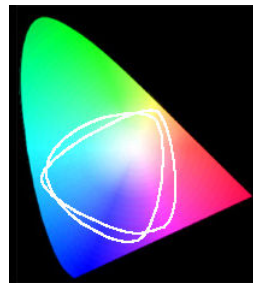
GAMUT

Gamut de 2 CRT



El gamut de un monitor de tubo de rayos catódicos típico es un triángulo que viene a ocupar el 50% de un diagrama de cromaticidad CIE.

Gamut de 2 Impresoras



Los gamuts de aparatos de mezcla de color sustractiva, como las impresoras, no quedan tan nítidamente definidos, aunque se pueden determinar.

La consecuencia es que hay colores que se pueden mostrar en un monitor pero que no se pueden imprimir, mientras que hay colores que se pueden imprimir pero no mostrar en un monitor.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

26

Procesamiento de Imágenes en Color

RGB

Es un modelo de “suma” de colores

CMY

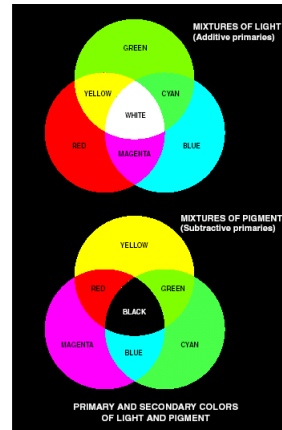
Es un modelo de “resta” de colores

Transformación:

$$C=1-R$$

$$M=1-G$$

$$Y=1-B$$



11
b

FIGURE 6.4 Primary and secondary colors of light and pigments. (Courtesy of the General Electric Co., Lamp Business Division.)

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

27

Transformaciones de Color

Modelo CMY

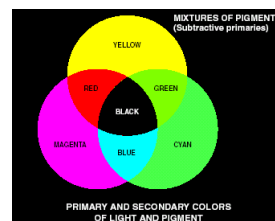
Es un modelo de “resta” de colores

Transformación:

$$C=1-R$$

$$M=1-G$$

$$Y=1-B$$



Modelo CMYK (Cyan, Magenta, Yellow y Key=Negro) es un modelo de colores sustractivo que se utiliza en la impresión a colores.

La mezcla de colores CMY ideales es sustractiva (pues imprimir cian, magenta y amarillo en fondo blanco resulta en el color negro). El modelo CMYK trabaja en base a la absorción de la luz. Los colores que se ven son de la parte de la luz que no es absorbida.

El cian es el opuesto al rojo, lo que significa que actúa como un filtro que absorbe dicho color $(-R +G +B)$. Magenta es el opuesto al verde $(+R -G +B)$ y amarillo el opuesto al azul $(+R +G -B)$

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

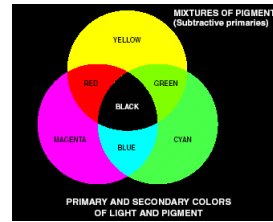
28

Transformaciones de Color

Modelo CMYK

Transformación:

$$\begin{aligned} C &= 1 - R \\ M &= 1 - G \\ Y &= 1 - B \\ K &= 1 \text{ si } \min(C, M, Y) = 1 \end{aligned}$$



Por varias razones, el negro generado al mezclar los colores primarios aditivos no es ideal y por lo tanto, la impresión a cuatro tintas utiliza el negro además de los colores primarios sustractivos amarillo, magenta y cian (*CMY rara vez produce negro puro porque es casi imposible crear suficiente cantidad de pigmentos puros; mezclar las tres tintas sólo para formar el negro puede humedecer al papel; detalles negros finos implicaría tener que alinear las tres imágenes con demasiada exactitud; y usar una tinta negra en vez de tres unidades de las tintas de color puede significar un gran ahorro*)

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

29

Transformaciones de Color

El modelo RGB no es necesariamente la representación más eficiente del color, respecto de las capacidades del ojo humano.

Para codificar el color existen otras transformaciones conocidas:

- YIQ (NTSC, EEUU, Chile..)
- YUV (PAL, Europa..)



- Corresponden a una “recodificación” del sistema RGB.
- Separa la componente de luminancia Y de la crominancia (los valores IQ y UV son los ejes x-y del espacio de colores)
- Permite total compatibilidad entre TV blanco&negro y color.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

30

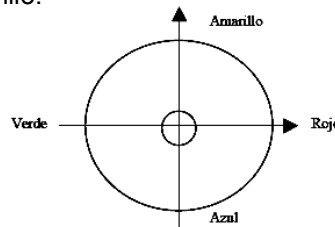
Transformaciones de Color



Modelos de Colores Opuestos:

Propuesto por Hering en 1874, con fundamentos psicovisuales, indica que los colores pueden contener una componente roja ó verde, pero nunca ambas sensaciones simultáneamente. Similarmente, el azul y amarillo son colores exclusivos en un determinado estímulo luminoso.

Este modelo permite clasificar cualquier color según dos ejes: rojo-verde y azul-amarillo.



prb@2007

Representación de la teoría de los colores opuestos para clasificar un color

31

Transformaciones de Color



(basados en el modelo de colores opuestos)

YIQ (NTSC):

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

YUV (PAL):

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

En representación discreta, la señal Y se distribuye en [0,255], mientras que la cromaticidad puede oscilar en [-160,160]

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

32

Transformaciones de Color

YIQ:

Ej, transformación de una imagen RGB en YIQ



Imagen en color de 'Lenna'



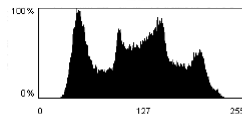
(a)



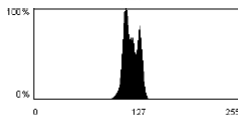
(b)



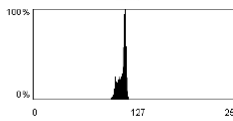
(c)



(a)



(b)



(c)

prb@200.

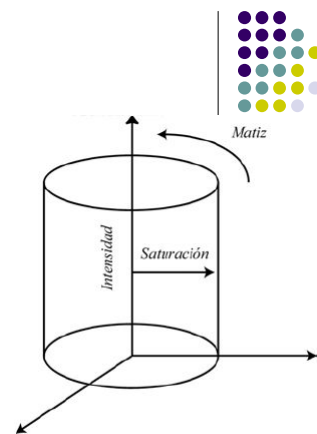
Imágenes: Gonzalez&Wood

33

Modelo de Color HSI:

Corresponden a implementaciones más "precisas" del punto de vista psicovisual, del modelo Matiz (H), Saturación (S) e Intensidad (I).

Esta transformación deriva de modelo RGB. El cubo RGB se transforma en el cilindro HSI.



Representación del espacio HSI

- La saturación corresponde a la distancia radial
- El matiz corresponde al ángulo del sistema de coordenadas polar.
- La intensidad es el eje perpendicular al plano de coordenadas polares.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

34

Modelo de Color HSI:

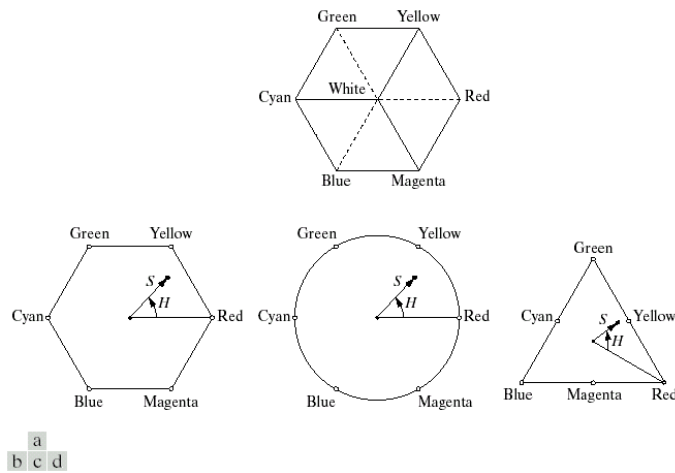


FIGURE 6.13 Hue and saturation in the HSI color model. The dot is an arbitrary color point. The angle from the red axis gives the hue, and the length of the vector is the saturation. The intensity of all colors in any of these planes is given by the position of the plane on the vertical intensity axis.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

35

Modelo de Color HSI:

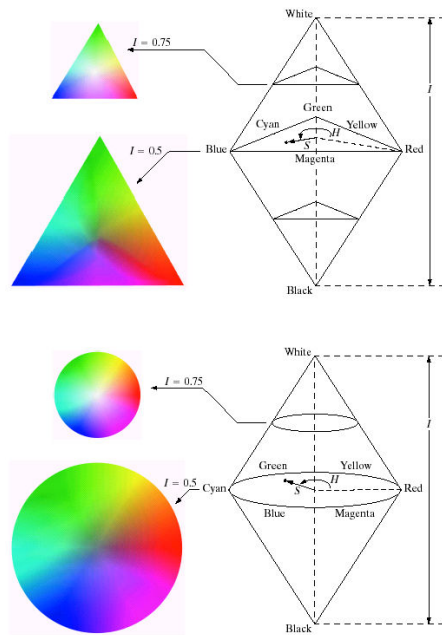
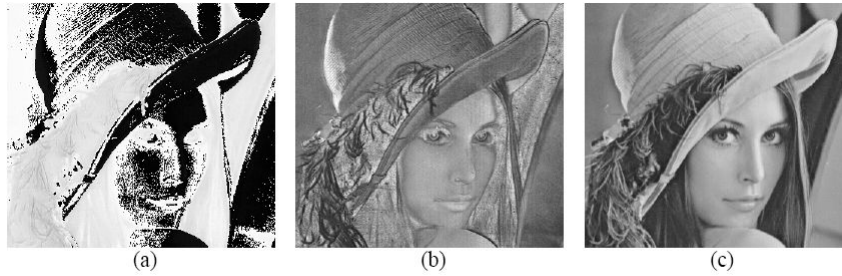


FIGURE 6.14 The HSI color model based on (a) triangular and (b) circular color planes. The triangles and circles are perpendicular to the vertical intensity axis.

Modelo de Color HSI:



Modelos de Color HSI:



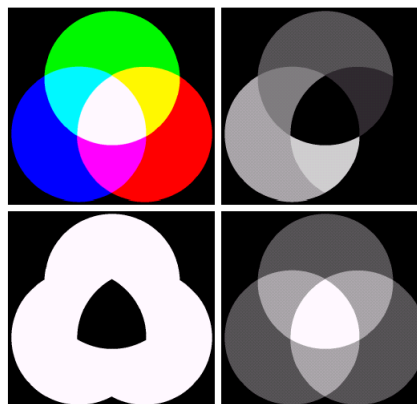
Canales de matiz (a), saturación (b) e intensidad (c) de HSI para la imagen de 'Lenna'.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

37

Modelo de Color HSI:



a b
c d

FIGURE 6.16 (a) RGB image and the components of its corresponding HSI image: (b) hue, (c) saturation, and (d) intensity.

prb@2007

38

Modelo de Color HSI:



Modelos de Color HSI:

La conversión RGB → HSI es no lineal.

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

La transformación básica para el matiz, supone valores RGB [0-1]

Si $B > G$, entonces $H = 360 - H$. El valor del matiz es un número entero entre $[0-360^\circ]$

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

La transformaciones para S e I, son de menor complejidad computacional.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

39

Modelo de Color HSI:



Cálculo de Saturación:

```
A=double(imread('blister.bmp')) ;
A=A/255;
subplot(1,2,1)

image(A);
[W H X]=size(A);

SS=zeros(W,H);
for f=1:H
    for c=1:W
        m=min([A(c,f,1) A(c,f,2) A(c,f,3)]);
        SS(c,f)=1-3*m/(A(c,f,1)+A(c,f,2)+A(c,f,3));
    end
end;

subplot(1,2,2)
image(SS*255)
```

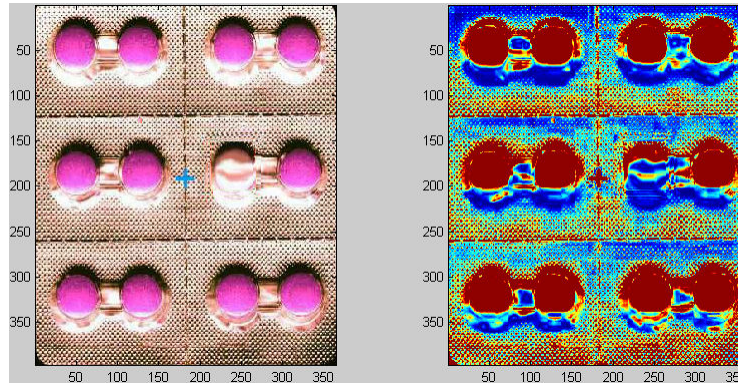
prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

40

Modelo de Color HSI:

Ejemplo: 'manejo' del brillo...



prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

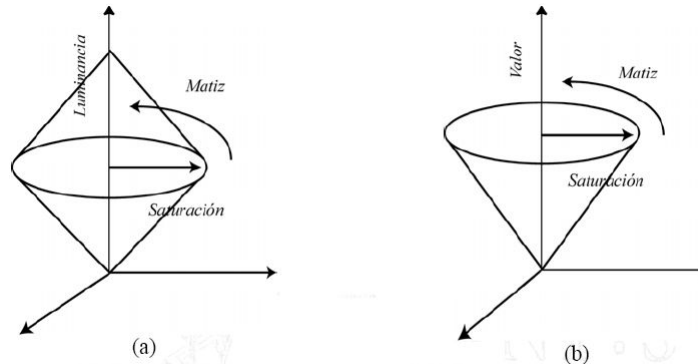
41

Modelo de Color HSI:

Modelos de Color HSI:

Existen dos modelos que derivan del HSI muy utilizados en procesamiento de imágenes:

HLS (H, Luminancia, S) y HSV (H, S, Valor)



prb@2007

Variaciones del modelo general HSI. (a) Espacio HLS. (b) Espacio HSV.

42

Modelo de Color HSI:



HSV:

El cálculo de la saturación S para el modelo HSV se deduce a partir de:

$$\text{si } \max(R, G, B) \neq 0 \text{ entonces } S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B)}$$
$$\text{sino } S = 0$$

La componente acromática de *valor* en HSV se calcula como:

$$V = \max(R, G, B)$$

Modelo de Color HSI:

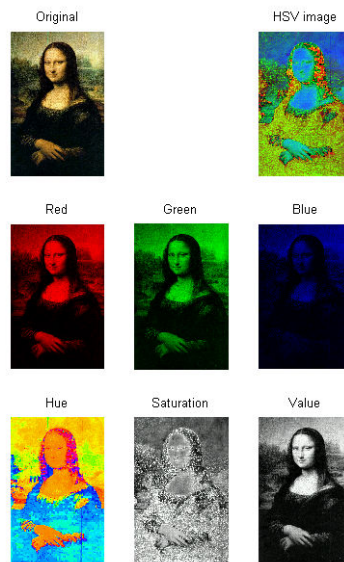


HLS:

$$\text{si } \max(R, G, B) = \min(R, G, B) \text{ entonces } S = 0$$
$$\text{sino si } L \leq 0.5 \text{ entonces } S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B) + \min(R, G, B)}$$
$$\text{sino } S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{2 - \max(R, G, B) - \min(R, G, B)}$$

$$L = \frac{\max(R, G, B) + \min(R, G, B)}{2}$$

Modelo de Color HSI:



prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

45

Slicing

Permite “colorear” puntos con igual nivel de gris o intensidad

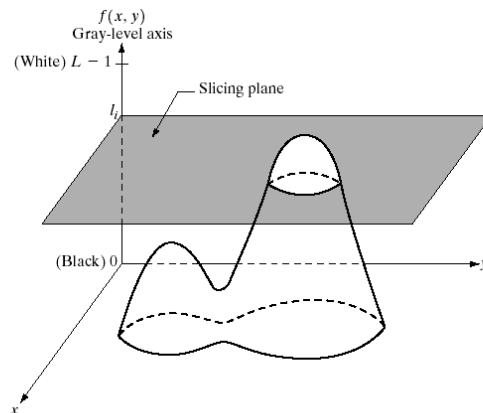


FIGURE 6.18 Geometric interpretation of the intensity-slicing technique.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

46

Slicing



Representación de la “función” de slicing

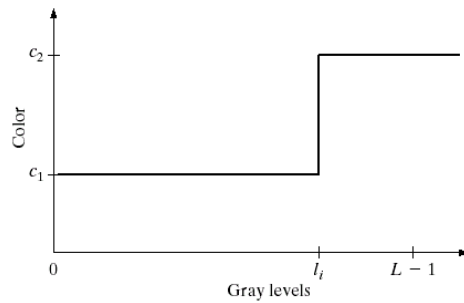


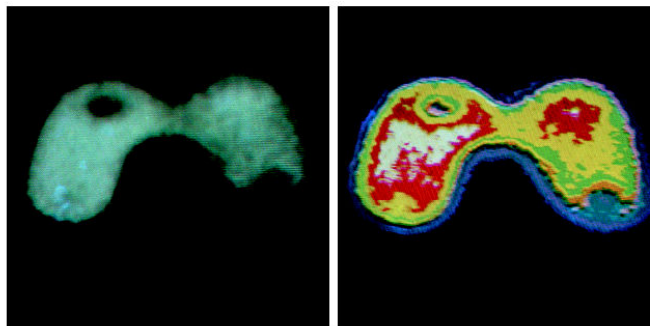
FIGURE 6.19 An alternative representation of the intensity-slicing technique.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

47

Slicing



a b

FIGURE 6.20 (a) Monochrome image of the Picker Thyroid Phantom. (b) Result of density slicing into eight colors. (Courtesy of Dr. J. L. Blankenship, Instrumentation and Controls Division, Oak Ridge National Laboratory.)

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

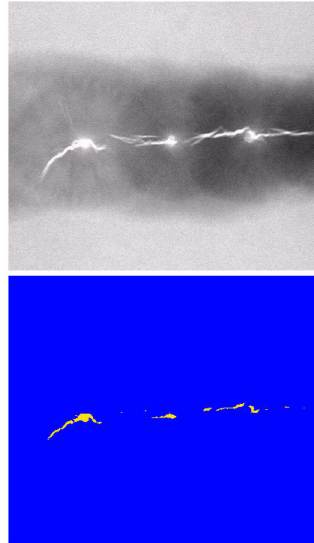
48

Slicing: sólo 2 colores



a
b

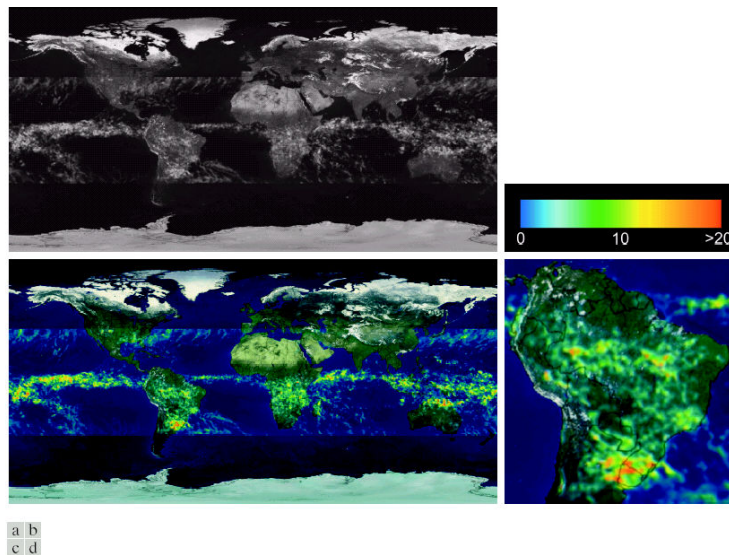
FIGURE 6.21
(a) Monochrome X-ray image of a weld. (b) Result of color coding. (Original image courtesy of X-TEK Systems, Ltd.)



prb@2007

49

Slicing



a b
c d

FIGURE 6.22 (a) Gray-scale image in which intensity (in the lighter horizontal band shown) corresponds to average monthly rainfall. (b) Colors assigned to intensity values. (c) Color-coded image. (d) Zoom of the South America region. (Courtesy of NASA.)

50

Procesamiento de Imágenes en Color

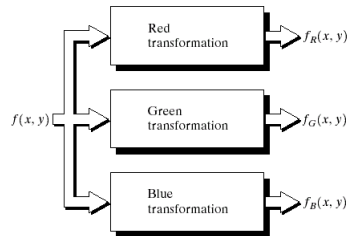


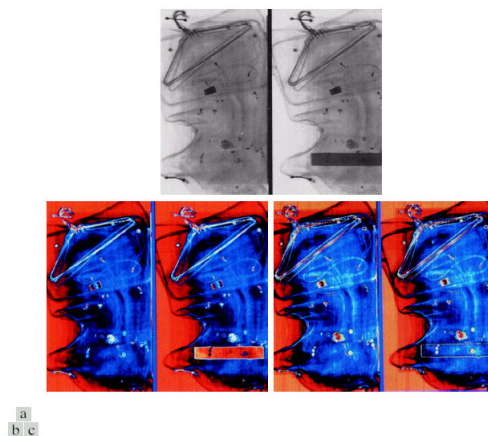
FIGURE 6.23 Functional block diagram for pseudocolor image processing. f_R , f_G , and f_B are fed into the corresponding red, green, and blue inputs of an RGB color monitor.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

51

Procesamiento de Imágenes en Color



a
b c

FIGURE 6.24 Pseudocolor enhancement by using the gray-level to color transformations in Fig. 6.25. (Original image courtesy of Dr. Mike Hurwitz, Westinghouse.)

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

52

Procesamiento de GRIS a PseudoCOLOR

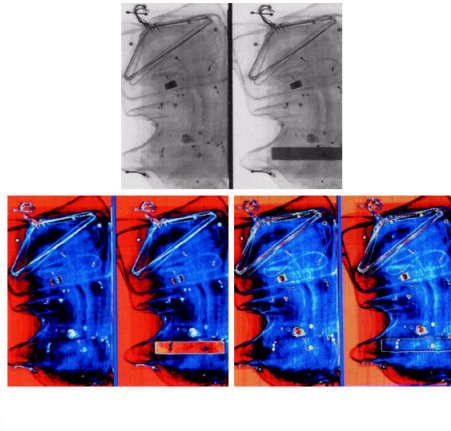


FIGURE 6.24 Pseudocolor enhancement by using the gray-level to color transformations in Fig. 6.25. (Original image courtesy of Dr. Mike Hurwitz, Westinghouse.)

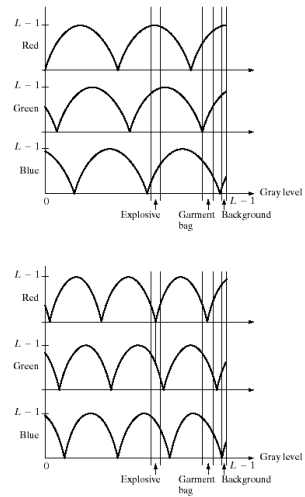


FIGURE 6.25 Transformation functions used to obtain the images in Fig. 6.24.

prb@2007

Imágenes: Gonzalez&Wood

53

Procesamiento de GRIS a PseudoCOLOR

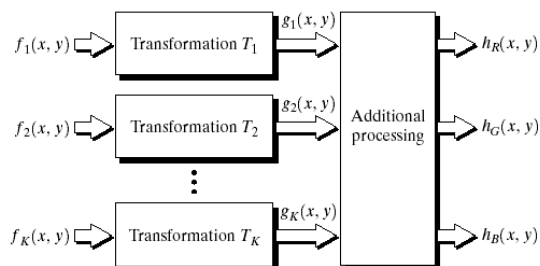


FIGURE 6.26 A pseudocolor coding approach used when several monochrome images are available.

prb@2007

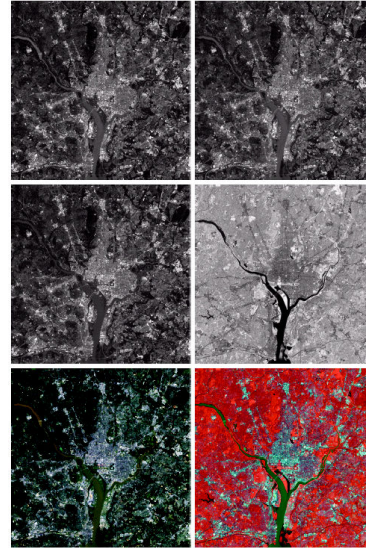
Imágenes: Gonzalez&Wood

54

Procesamiento de GRIS a PseudoCOLOR



FIGURE 6.27 (a)-(d) Images in bands 1-4 in Fig. 1.10 (see Table 1.1). (e) Color composite image obtained by treating (a), (b), and (c) as the red, green, blue components of an RGB image. (f) Image obtained in the same manner, but using in the red channel the near-infrared image in (d). (Original multispectral images courtesy of NASA.)



prb@2007

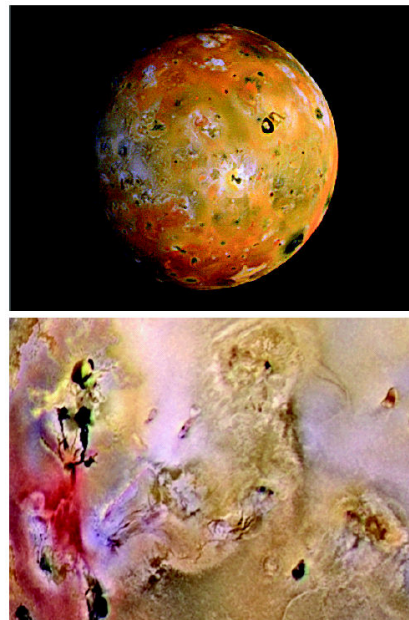
Imágenes: Gonzalez&Wood

55

Procesamiento de GRIS a PseudoCOLOR



FIGURE 6.28
(a) Pseudocolor rendition of Jupiter Moon Io.
(b) A close-up.
(Courtesy of NASA.)



prb@2007

56