

Tema 1: INTRODUCCIÓN A LAS IMÁGENES DIGITALES

1

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES

DPTO. MATEMÁTICA APLICADA I



ÍNDICE:

- Proceso de digitalización. Imágenes en escala de grises.
- Imágenes a color. Modelos de color
- Almacenamiento
- Formas de operar sobre una imagen

1.1. Proceso de digitalización

3

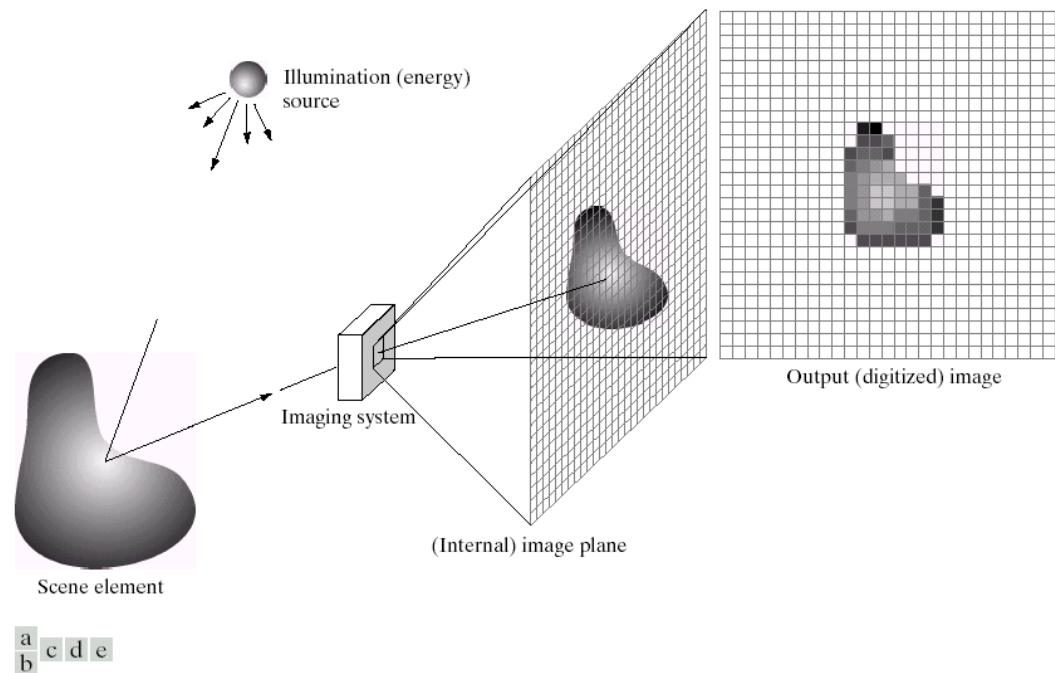


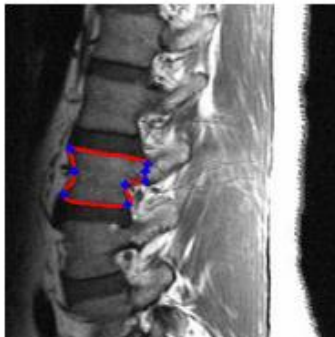
FIGURE 2.15 An example of the digital image acquisition process. (a) Energy (“illumination”) source. (b) An element of a scene. (c) Imaging system. (d) Projection of the scene onto the image plane. (e) Digitized image.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



4

- Las imágenes digitales pueden tener propiedades muy distintas según su naturaleza, es decir, según el método de adquisición.

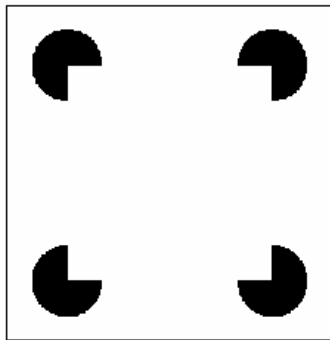


Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



5

- Por **dimensión**: Imágenes 2D y 3D.
- Por **paleta de colores**: Imágenes binarias, en escala de grises y a color.



- Por la **f fuente de energía** usada:
 - Rayos X (medicina)
 - Rayos Gamma (medicina nuclear)
 - Luz ultravioleta (microscopía y astronomía)

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



6

- **Imagen digital:** $f(x,y)$ (formato matricial)

- x e y = coordenadas espaciales
- $f(x,y)$ = nivel de gris de la imagen en el punto (x,y)

$$f(x,y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & . & . & . & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & . & . & . & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & . & . & . & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}$$

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



7

•DIGITALIZACIÓN:

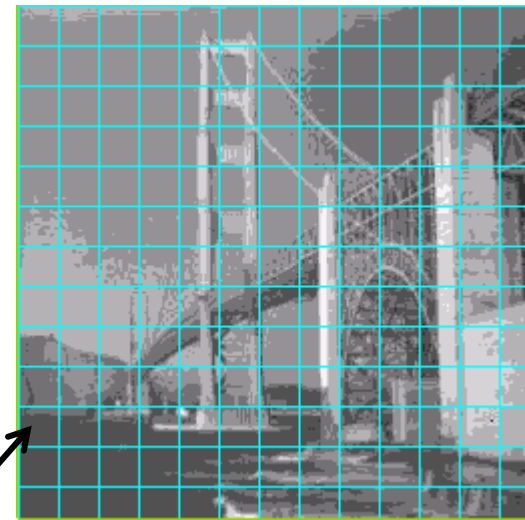
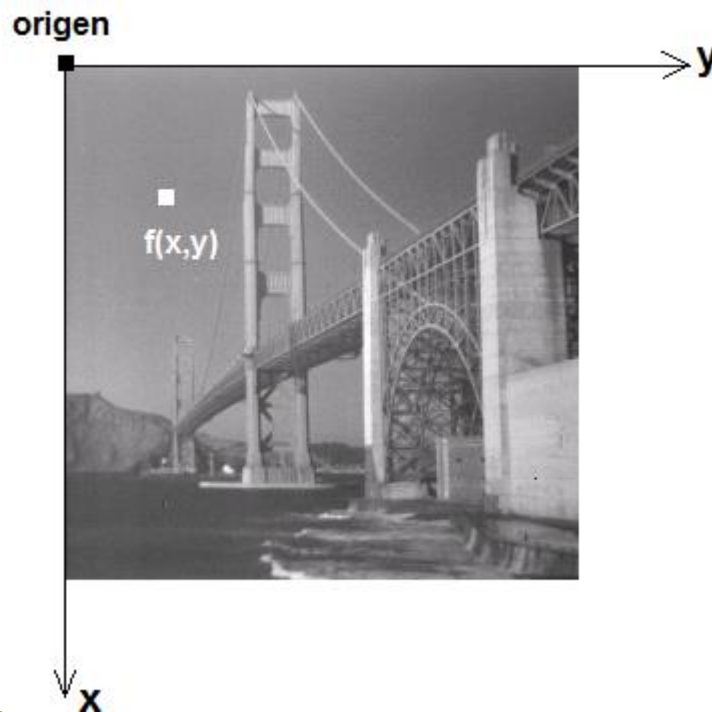
- Digitalización de las coordenadas espaciales: *muestreo*.
- Digitalización de la amplitud (niveles de gris): *cuantificación*

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



8

- **Muestreo:** Consiste en una subdivisión de la escena en porciones que habrán de ser cuantificadas. Nos centraremos en imágenes 2D con un mallado cuadrangular.



Píxel: polígono del mallado de color constante

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



9

- **Cuantificación:** Proceso de discretización del color.

La salida de los sensores sensibles a la intensidad de luz es un valor (*amplitud*) dentro de una escala (*color*). La salida puede ser:

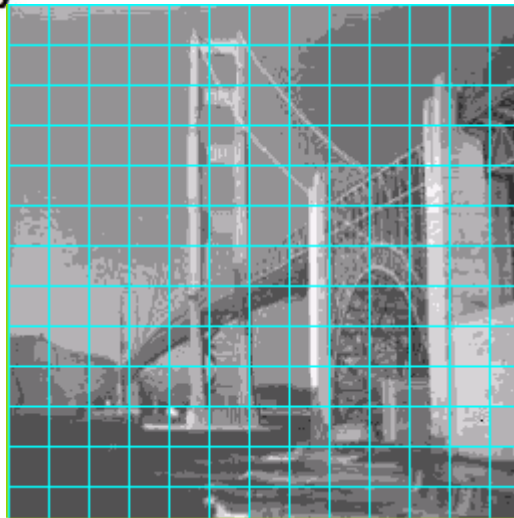
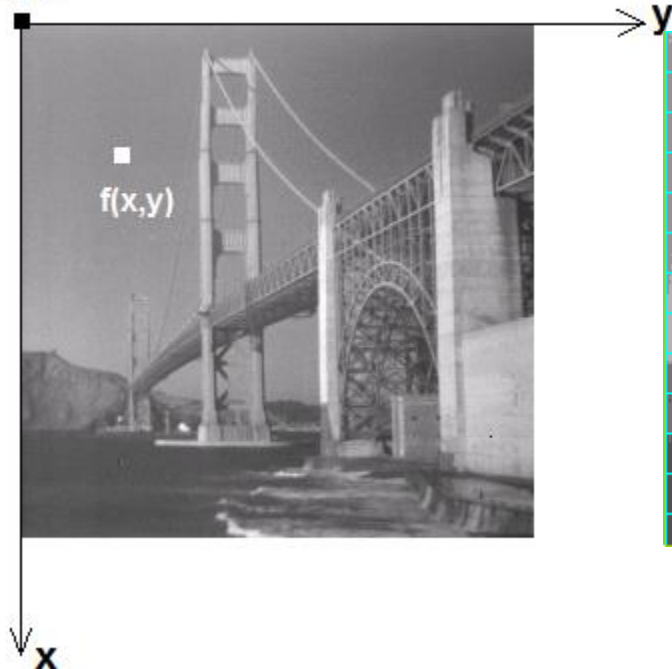
- Un único valor: *binaria* (0 y 1) o *escala de grises* (p. ej., enteros en $[0, 255]$)
- Un vector con tres valores por polígono (*RGB*) que se corresponden con la intensidad de color rojo (R), verde (G) y azul (B).

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

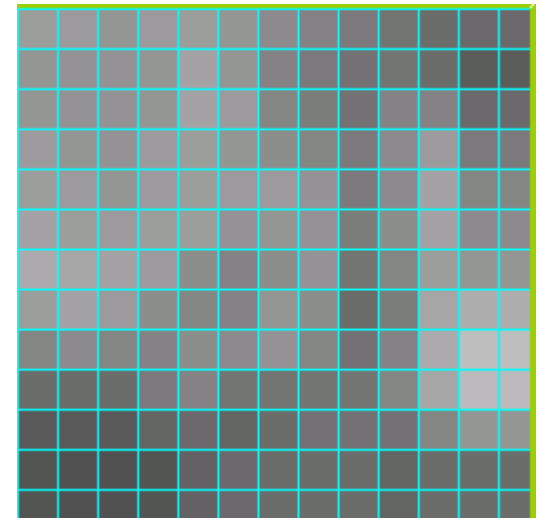


10

origen



Muestreo



Cuatificación con 64
niveles de grises

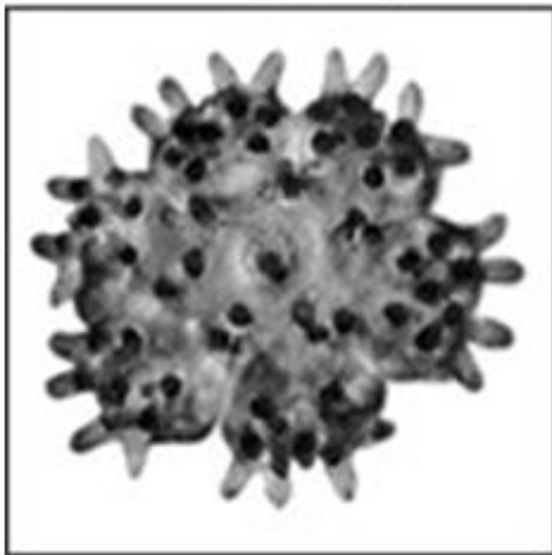
Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



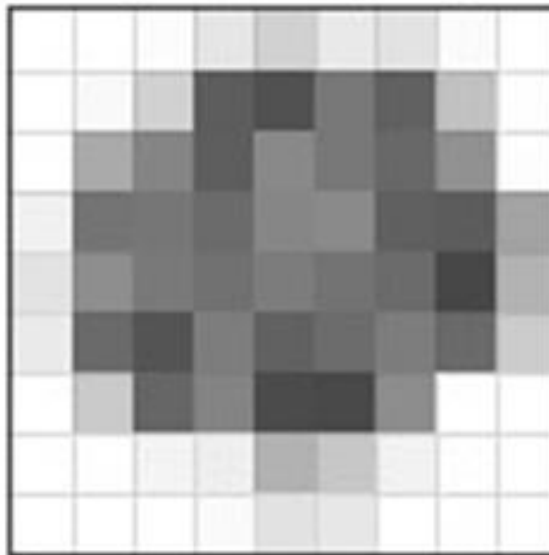
11

- El muestreo se ha hecho usando un mallado cuadrangular de 9 por 9 cuadrados y la cuantificación consiste en una paleta de 256 niveles de gris (donde 0 indica el color negro y 255 el color blanco):

Analog Image



Digital Sampling



Pixel Quantization

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 249 | 244 | 240 | 230 | 209 | 233 | 227 | 251 | 255 |
| 248 | 245 | 210 | 93 | 81 | 120 | 97 | 193 | 254 |
| 250 | 170 | 133 | 94 | 137 | 120 | 104 | 145 | 253 |
| 241 | 116 | 118 | 107 | 134 | 138 | 96 | 92 | 163 |
| 277 | 142 | 121 | 113 | 124 | 115 | 107 | 71 | 179 |
| 234 | 106 | 84 | 125 | 97 | 108 | 125 | 106 | 204 |
| 241 | 202 | 102 | 132 | 75 | 73 | 141 | 246 | 252 |
| 253 | 252 | 244 | 239 | 178 | 199 | 242 | 250 | 245 |
| 255 | 249 | 244 | 250 | 226 | 231 | 240 | 251 | 253 |

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



12

- **Imagen digital:** $I=f(x,y)$

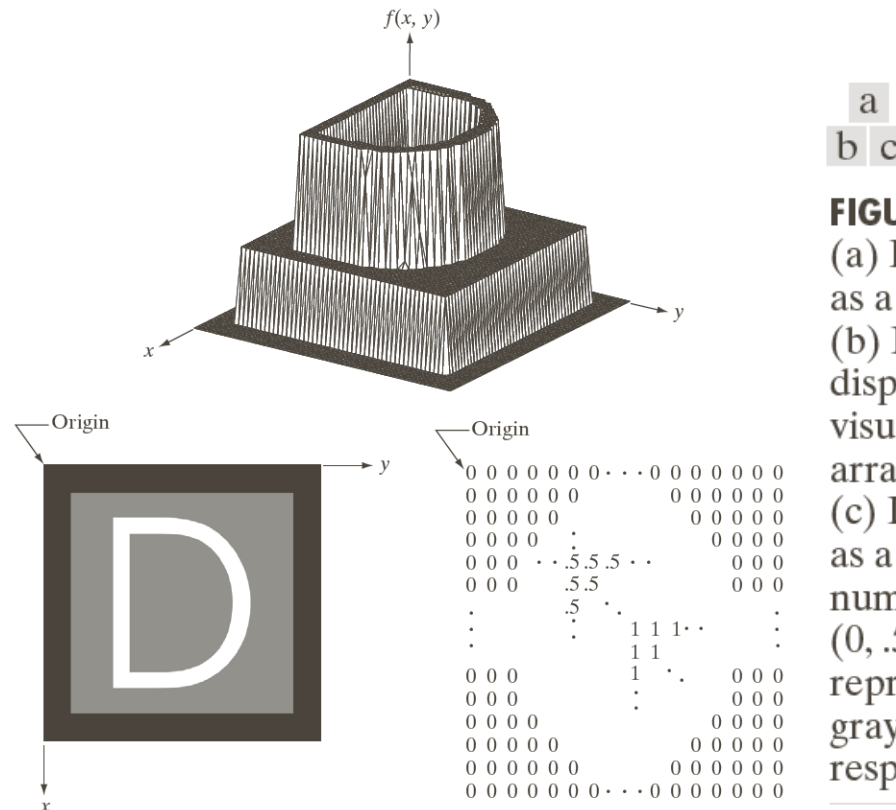


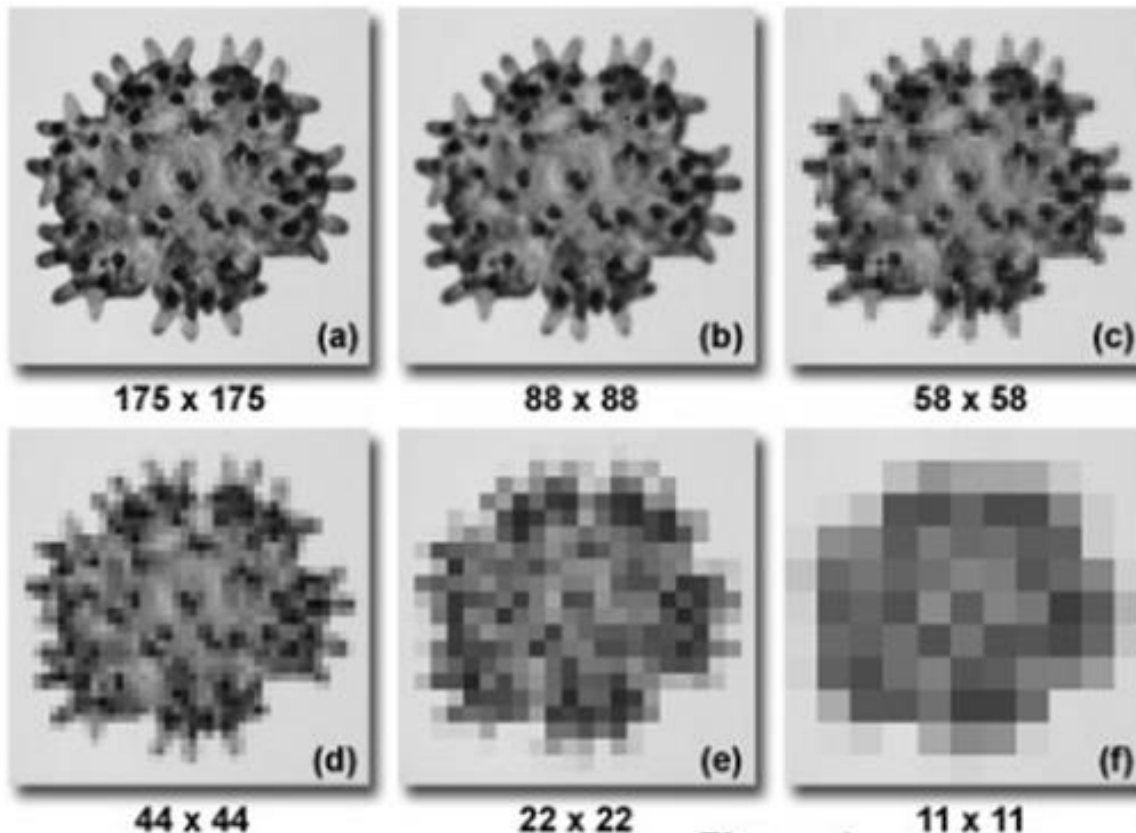
FIGURE 2.18
(a) Image plotted as a surface.
(b) Image displayed as a visual intensity array.
(c) Image shown as a 2-D numerical array (0, .5, and 1 represent black, gray, and white, respectively).

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



13

- Partiendo de una misma imagen y dependiendo del mallado elegido para el muestreo, podemos obtener diferentes imágenes digitales:

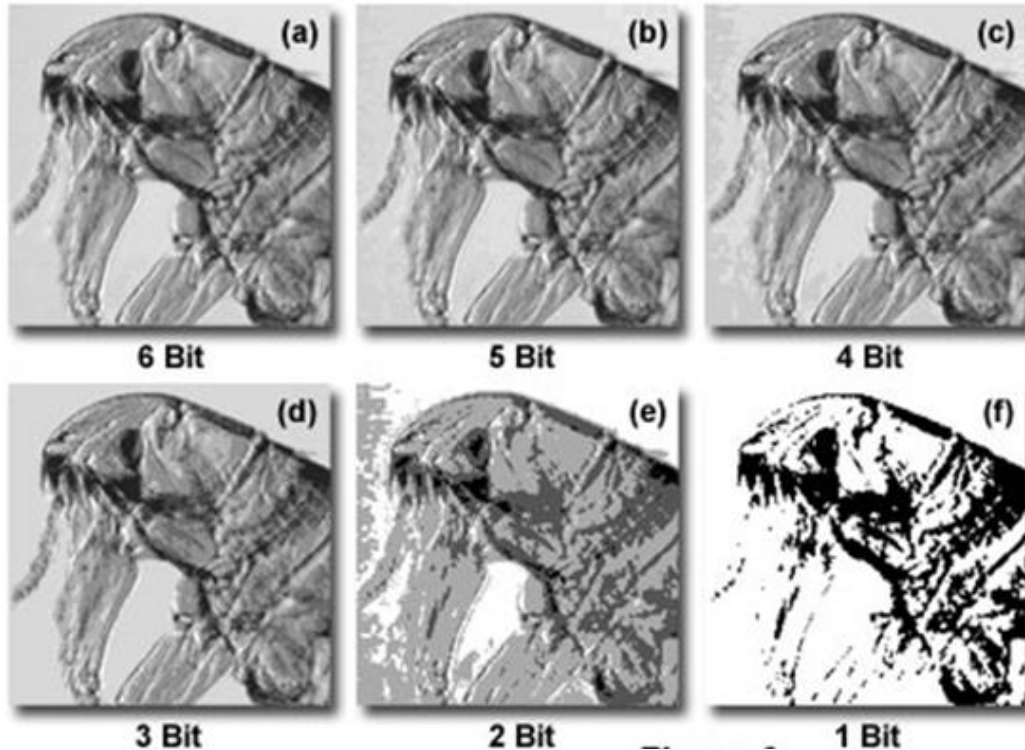


Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



14

- También hay que tener en cuenta la paleta de colores, como se observa en el ejemplo siguiente:



1 bit = unidad mínima de almacenamiento.

Imagen de 1 bit = 2^1 colores

| |
|---|
| 0 |
| 1 |

Imagen de 2 bits = 2^2 colores

| | |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |
| 1 | 1 |

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



15

¿Qué muestreo y cuántos niveles de gris son necesarios para una buena aproximación? Se debe producir una imagen digital “aceptable” en el sentido de que no sea perceptible al ojo humano el paso de un color entre dos píxeles consecutivos.



RESOLUCIÓN

- La *resolución* (el grado de detalle discernible) de una imagen depende estrechamente de estos dos parámetros.
 - *Resolución de intensidad*: cantidad de niveles de gris. ($L = 2^k$, k = número de bits)
 - *Resolución espacial*: finura del mallado ($M \times N$).

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



16

- Imagen digital **M** x **N** con **L** niveles de gris tal que:

-M
- N

]

muestreo

- $L = 2^k$ \longrightarrow cuantificación

- El número de bits **b** necesarios para almacenar la imagen es:

$$b = M \times N \times k$$

Ejemplo: Imagen 128 x 128 pixeles con 64 niveles de gris

$$128 \times 128 \times 6 = 98.304 \text{ bits de memoria} = 12.288 \text{ bytes}$$

1.2. Imágenes a color

17



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



18

- Los píxeles de las imágenes a color están cuantificados usando *tres componentes independientes* uno por cada color primario:

RGB = rojo, verde y azul



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



19

- Los píxeles de las imágenes a color están cuantificados usando *tres componentes independientes* uno por cada color primario:

RGB = rojo, verde y azul

- Imagen a color $M \times N = 3$ matrices con valores discretos

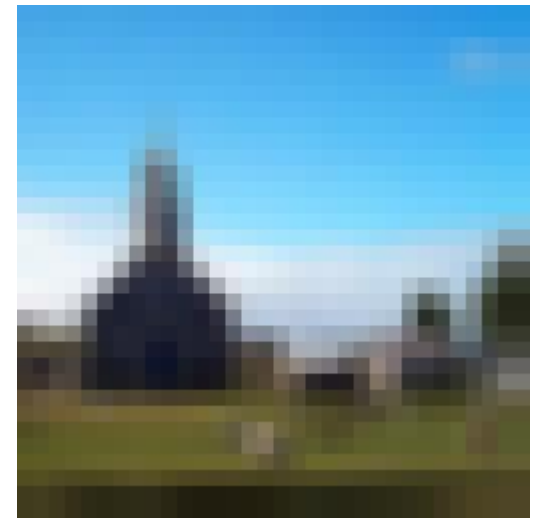
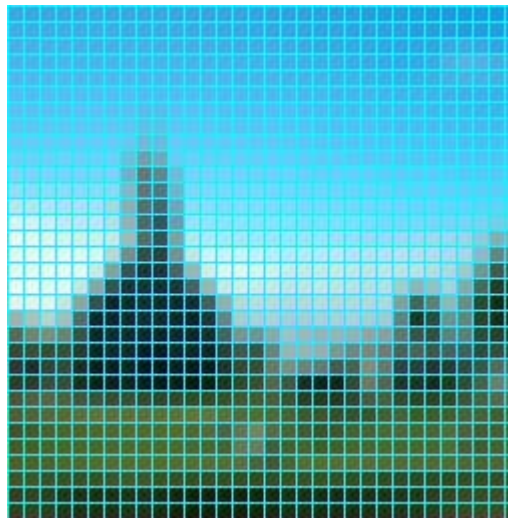
$$3 \times M \times N \times k \text{ bits, } L=2^k$$

- Las imágenes digitales a color están gobernadas por los mismos conceptos de muestreo, cuantificación y resolución que las imágenes en escala de grises.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



20



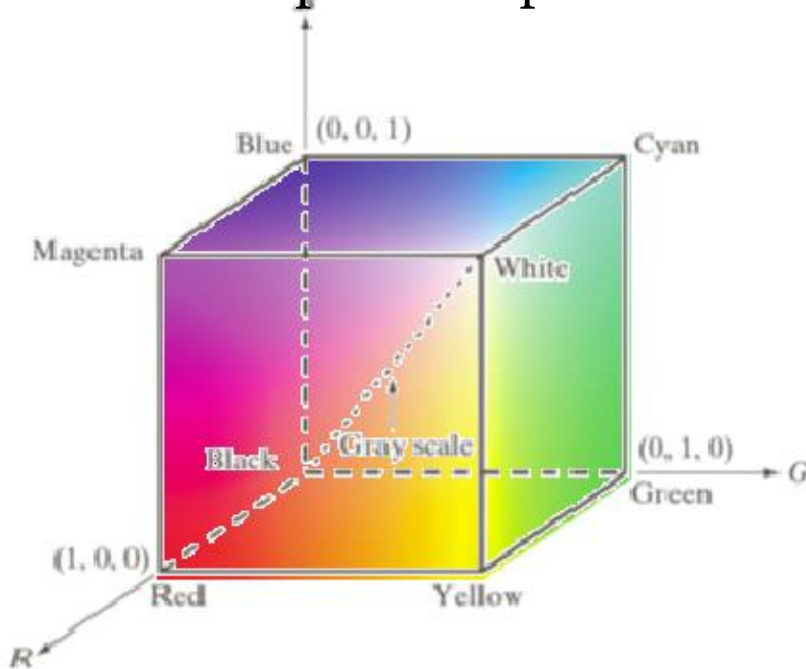
• Modelos de color:

Un modelo de color es la especificación de un sistema de coordenadas tridimensional y de un subespacio de este sistema en el que cada color quede representado por un punto. Un espacio de color es una representación matemática del conjunto de colores que permite la especificación de un color de manera estándar.

- Modelo RGB (gráficos por computador)
- Modelo CMY (sistemas de impresión)
- Modelo YIQ (sistemas de vídeo)
- Modelo HSI (procesamiento de las imágenes)

- **Modelo de color RGB:**

Cada color aparece descompuestos en sus tres componentes espectrales primarias de **rojo, verde y azul**.



Combinando distintas intensidades de estos tres colores primarios, podemos obtener todos los colores visibles.

Este modelo está basado en un sistema de coordenadas cartesianas.

- **Modelo de color RGB:**

Cuando contamos con 8 bits para representar la imagen en cada canal (R,G,B), se dice que la imagen a color tiene una profundidad de 24 bits, también llamada imagen de color real o de 16 millones de colores, ya que

$$(2^8)^3 = 16,777,216$$

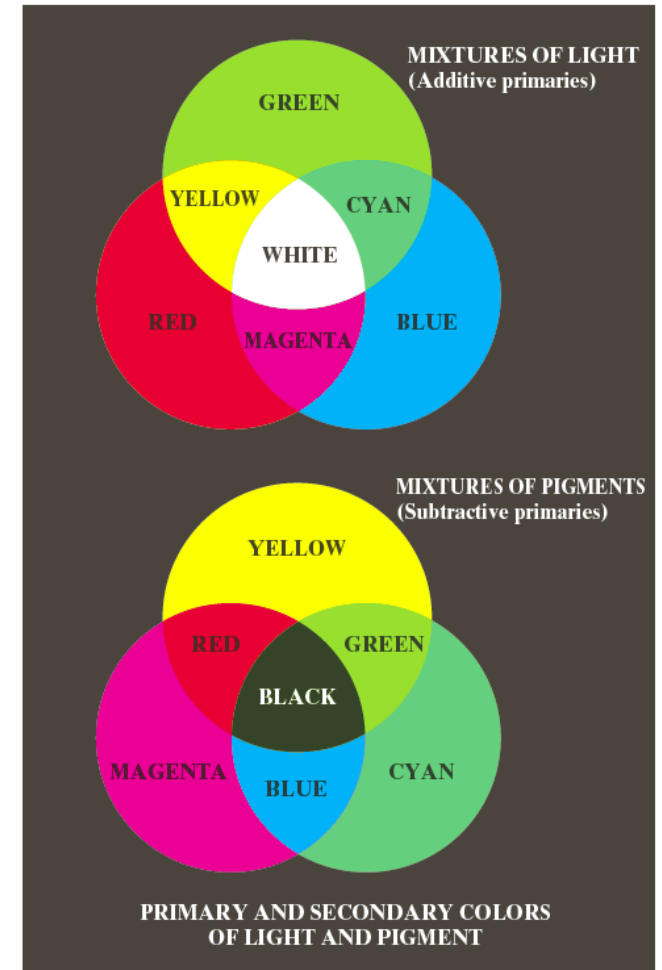
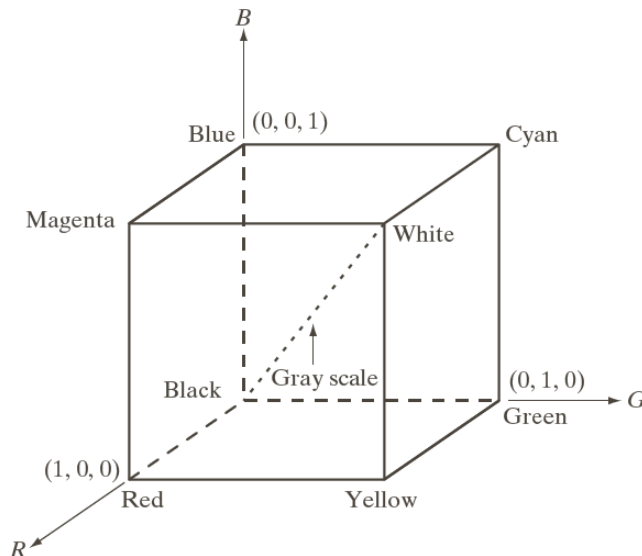
Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



24

• Modelo de color CMY (cian-magenta-amarillo):

Para imprimir una imagen digital, es necesario convertir la imagen RGB al modelo CMY.



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



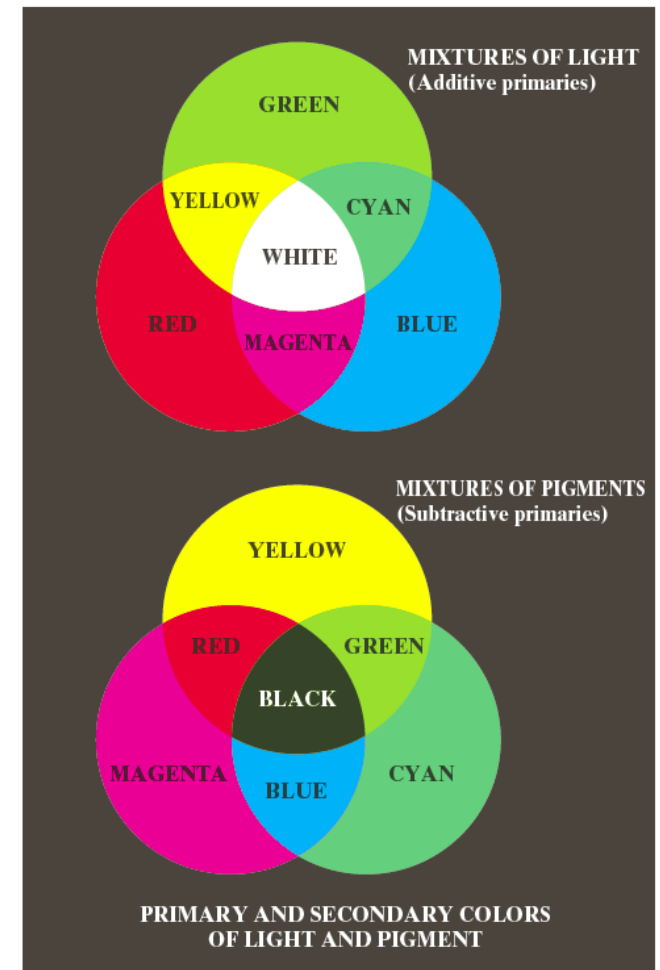
25

• Modelo de color CMY (cian-magenta-amarillo):

La conversión viene dada por:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L \\ L \\ L \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix}$$

siendo L la cantidad de niveles de gris de la imagen.



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



26

- **Modelo de color CMY (cian-magenta-amarillo):**



- **Modelo de color YIQ:**

El modelo YIQ se usa en las televisiones comerciales.

Componente Y = *luminancia* : medida de la cantidad de energía que un observador percibe procedente de una fuente luminosa (provee toda la información requerida para una televisión en blanco y negro).

I, Q = *información del color*.

Ventaja: la luminancia y la información del color están desacopladas así, la componente de la luminancia puede procesarse sin afectar a su contenido cromático.

- **Modelo de color YIQ:**

La conversión de RGB a YIQ es:

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0,596 & -0,275 & -0,321 \\ 0,212 & -0,523 & 0,311 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Si sólo tenemos en cuenta la componente Y de la imagen, lo que obtenemos es una imagen en escala de grises.

$$Y = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B$$

- **Modelo de color HSI:**

A la hora de procesar imágenes a color, el modelo RGB puede no ser el más eficiente ya que la manipulación de la imagen con los 3 canales de color puede que haga perder información en el color.

En el modelo HSI los colores se distinguen unos de otros por:

- su tono (H)
- su intensidad (I)
- su saturación (S)

- **Modelo de color HSI:**

H = tono: representa el color dominante tal y como lo percibimos; cuando decimos que un objeto es rojo, verde o café estamos indicando su tono.



diferentes tonalidades (color dominante)

I = intensidad: La intensidad representa la iluminación percibida. Este atributo lo podemos ver claramente en un televisor en blanco y negro.



distintas intensidades

- **Modelo de color HSI:**

S = saturación: la saturación es a la cantidad de luz blanca mezclada con el color dominante. La saturación es un atributo que nos diferencia un color intenso de uno pálido. Cada uno de los colores primarios tiene su mayor valor de saturación antes de ser mezclados con otros. Por ejemplo, el azul cielo es muy claro (menos saturado), mientras que el azul marino es más opaco (más saturado). Otro ejemplo, es el color rosa (rojo y blanco) que está menos saturado; mientras que el color rojo está totalmente saturado.



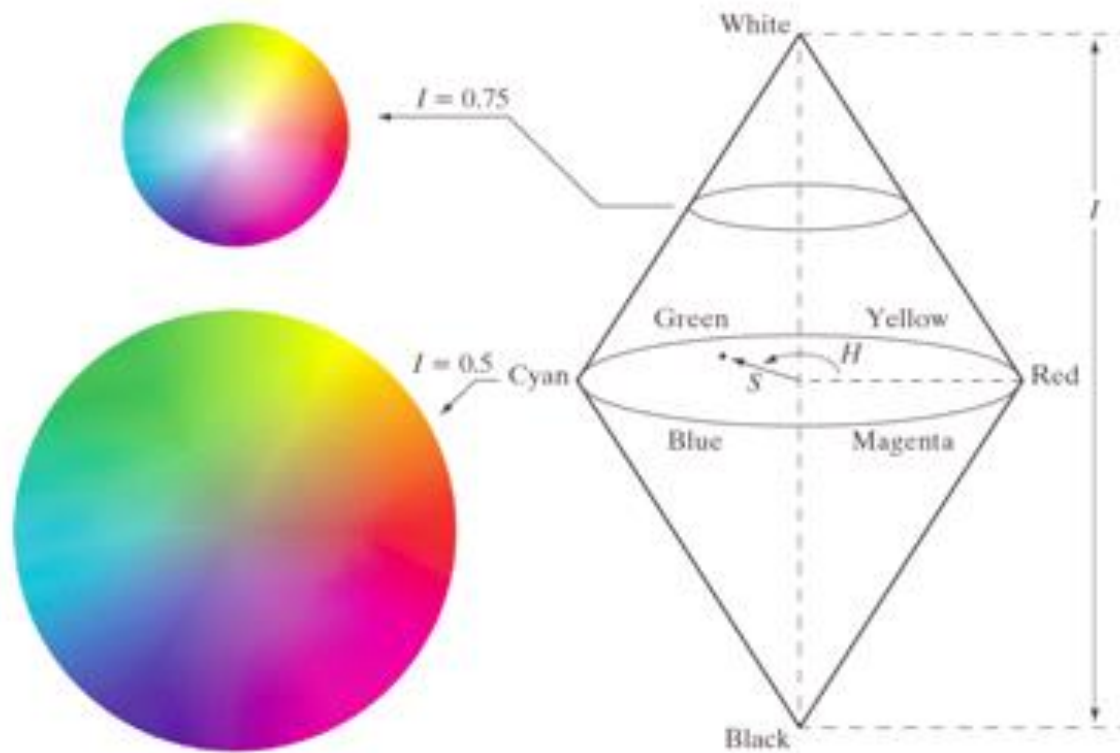
variedades de saturación del color rojo

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



32

- **Modelo de color HSI:**



- **Modelo de color HSI:**

Herramienta ideal para desarrollar algoritmos de procesamiento de imágenes.

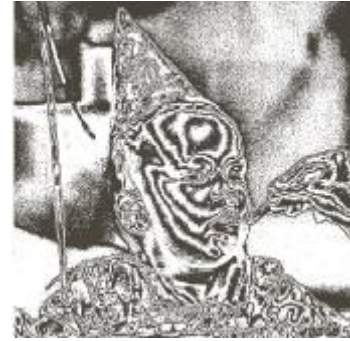
- Diseño de sistemas automáticos para determinar el grado de madurez de frutas y otros vegetales.
- Sistemas para comparar muestras de color.

La conversión de RGB a HSI es más complicada. Pero la componente I es fácil de calcular:

$$I = 1/3 * (R+G+B)$$

1.3. Almacenamiento

34



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



35

- Como ya hemos estudiado, representar una imagen de $n \times n$ píxeles mediante una representación matricial requiere:
 - n^2 bits si la imagen es binaria.
 - $n^2 \times k$ bits si la imagen es en escala de grises con $L = 2^k$ niveles de gris ($= n^2 \times \log_2(L)$).
 - $3 \times n^2 \times k$ bits si la imagen es a color (RGB) con $L = 2^k$ niveles de gris ($= 3 \times n^2 \times \log_2(L)$).

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



36

- **Ejemplo:**

- Imagen de 128 x 128 con 64 niveles de gris:

$$128 \times 128 \times 6 = 98.304 \text{ bits} = 12 \text{ KB.}$$

- Imagen de 1024 x 1024 con 256 niveles de gris:

$$1024 \times 1024 \times 8 = 8.388.608 \text{ bits} = 1024 \text{ KB} = 1 \text{ MB.}$$

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



37

- **Redundancia de código:**

Código es un sistema de símbolos usado para representar la información. A veces, las longitudes de las palabras usadas en el código es mayor de lo necesario.

- **Redundancia entre píxeles:**

Debido a la correlación espacial entre un píxel y sus vecinos.

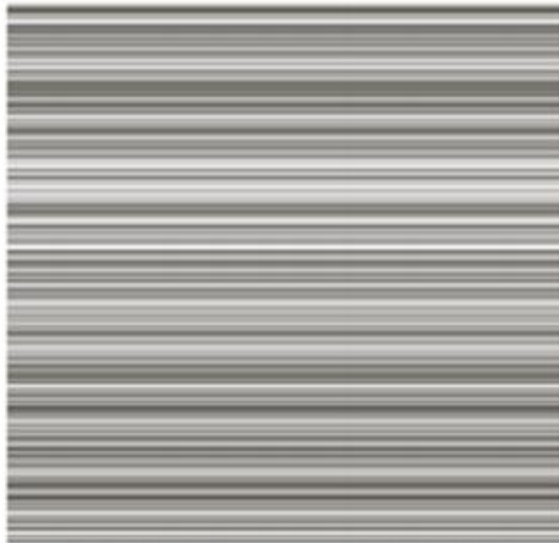
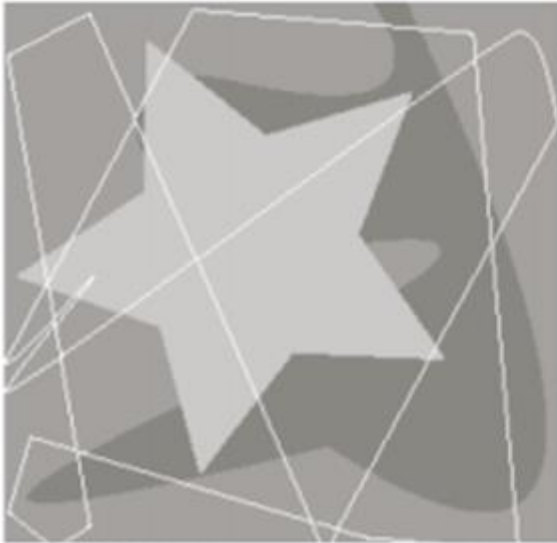
- **Redundancia psicovisual:**

Cierta información tiene menor importancia que otra en el proceso de visión normal. Se dice que esta información es psicovisualmente redundante.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



38



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



39

- La **compresión de imágenes** consiste en eliminar una o más de estas redundancias.
- Se pueden clasificar las distintas formas de compresión de imágenes en:
 - aquellas que *no producen errores (o pérdida de información)* en la imagen;
 - aquellas que *sí lo producen*.
- Los procesos de compresión que eliminan la redundancia de código y/o entre píxeles no producen errores. Aquellos que eliminan la redundancia psicovisual, sí.

EJEMPLOS DE MÉTODOS QUE ELIMINAN:

- **Redundancia en el código:**

- Código de Huffman (código de longitud variable)

- **Redundancia entre píxeles:**

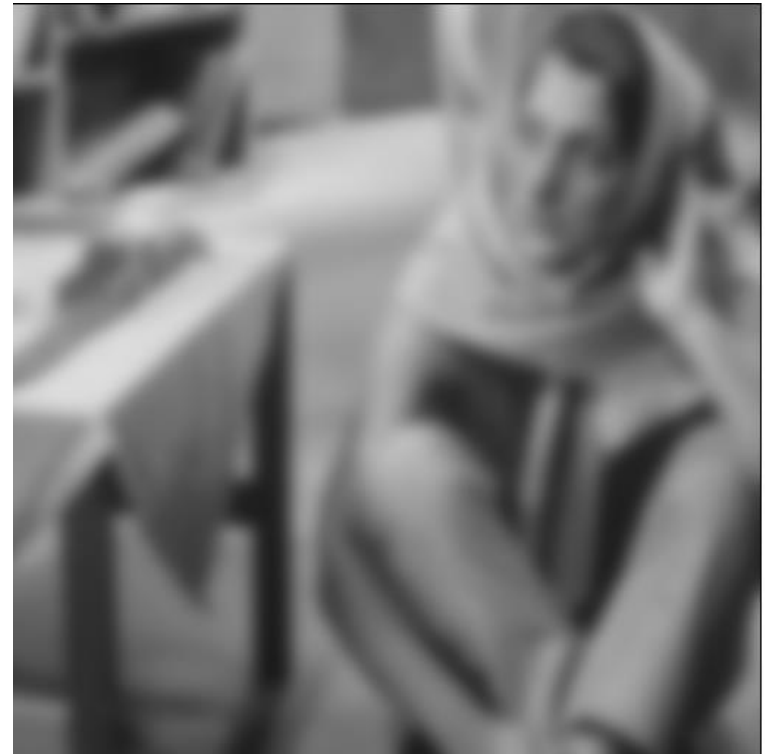
- LZW (usado en formato GIF)
- Representación por filas o Run Length Encoding (RLE)
- Representación por árbol cuaternario

- **Redundancia psicovisual:**

- Transformadas de la imagen (por ejemplo, Transformada Discreta del Coseno, usada en compresión JPEG)

1.4. Formas de operar

41



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



42

Formas de operar sobre
una imagen

Dominio del espacio:

Las operaciones se realizan sobre los
propios valores de los píxeles

Dominio de la frecuencia:

Las operaciones se realizan sobre la
Transformada de Fourier de la imagen

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



43

- Dominio espacial

Se refiere a la imagen en sí misma. Los métodos en esta categoría están basados en la manipulación directa de los píxeles de la imagen.

- Dominio de la frecuencia

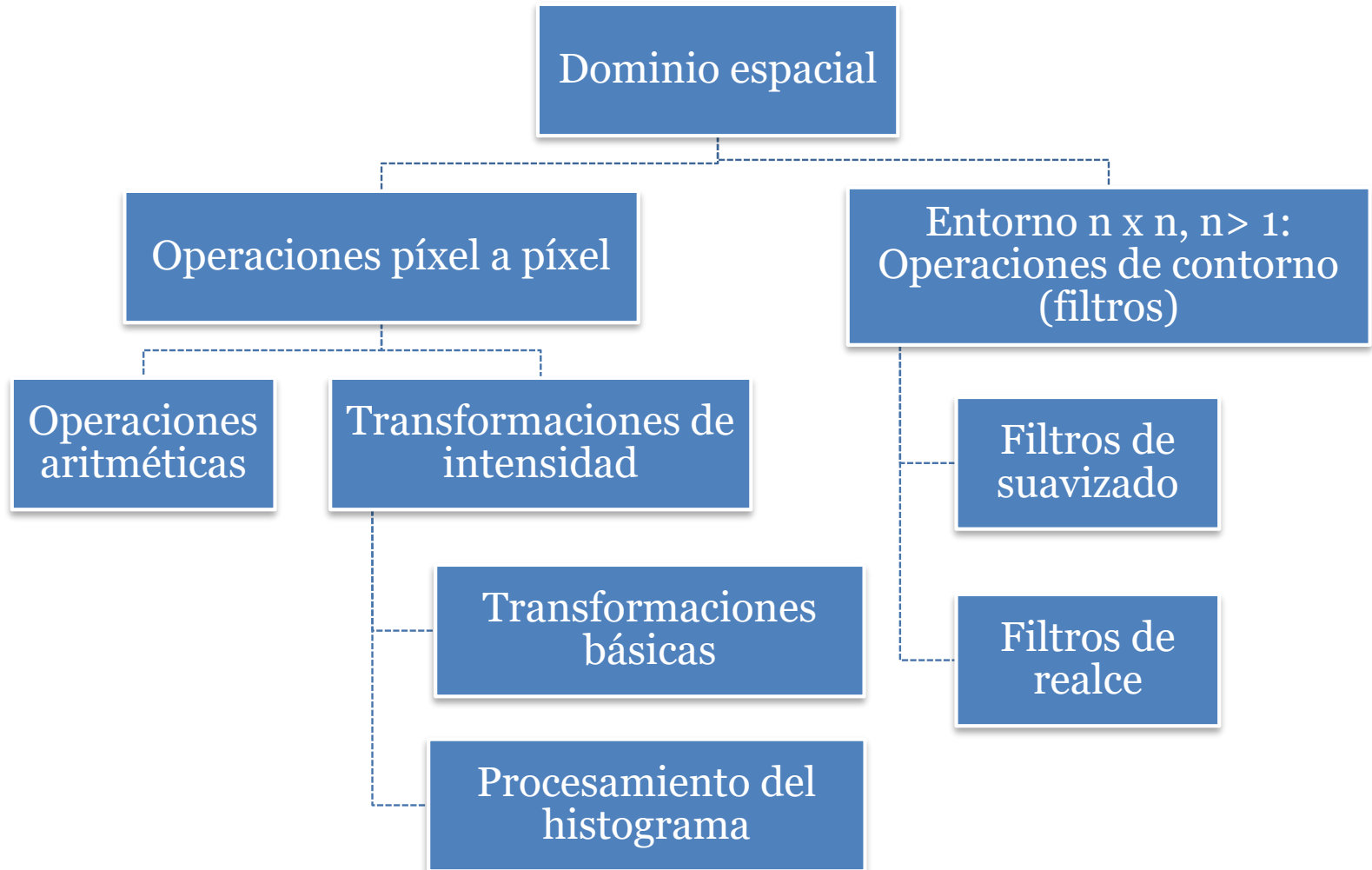
El procesamiento de la imagen se lleva a cabo en una **transformada de la imagen** (Transformada de Fourier) y, posteriormente, mediante la transformada inversa se obtienen los resultados.



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



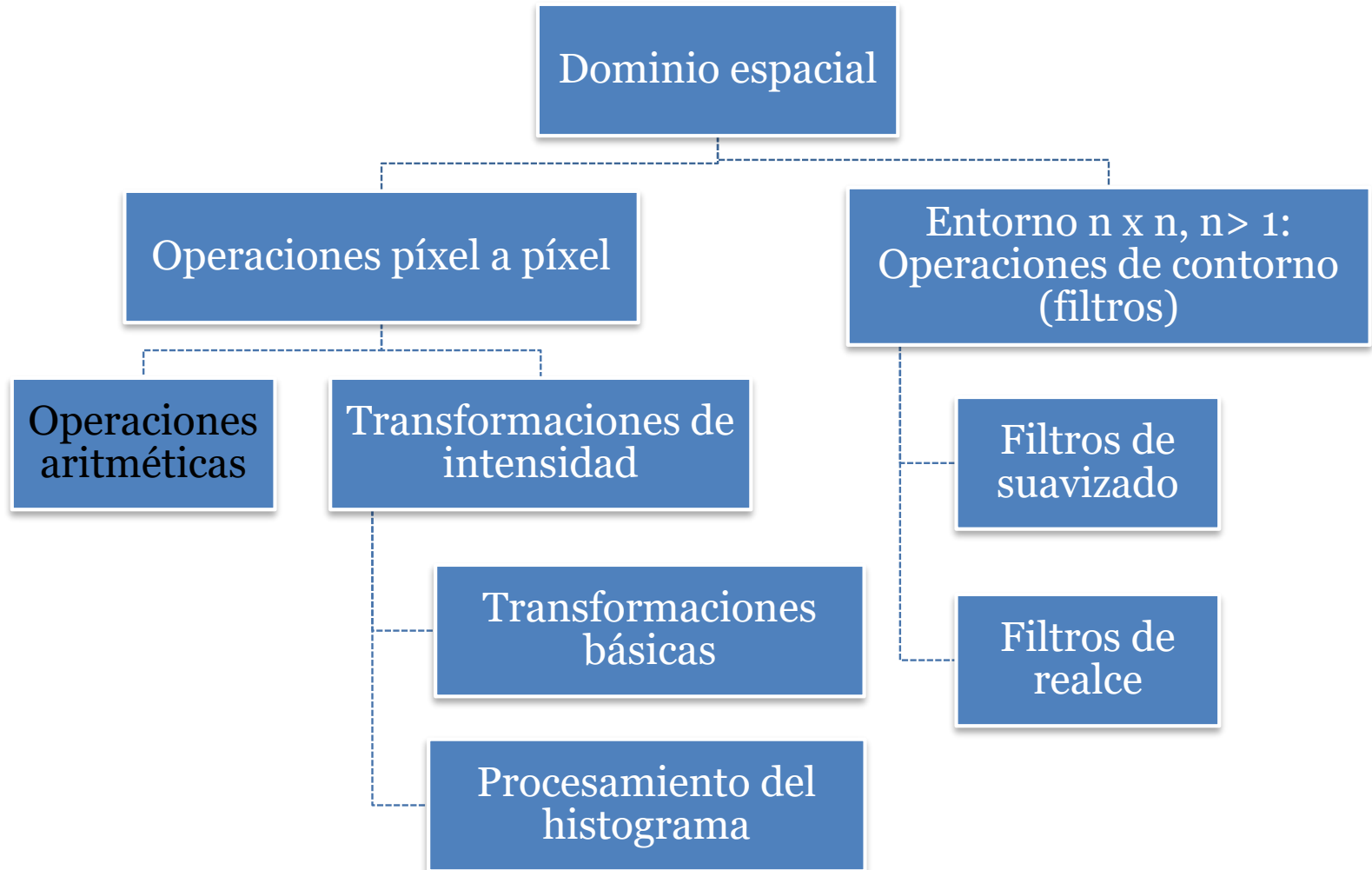
44



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



45



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



46

• **Operaciones aritméticas:** Dadas dos imágenes $f(x,y)$ y $g(x,y)$ de M filas x N columnas, se definen las operaciones elemento a elemento

$$s(x,y) = f(x,y) + g(x,y)$$

$$d(x,y) = f(x,y) - g(x,y)$$

$$p(x,y) = f(x,y) \times g(x,y)$$

$$d(x,y) = f(x,y) \div g(x,y)$$

CUIDADO: No confundir entre operaciones matriciales (Álgebra lineal) y operaciones array (elemento a elemento).

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



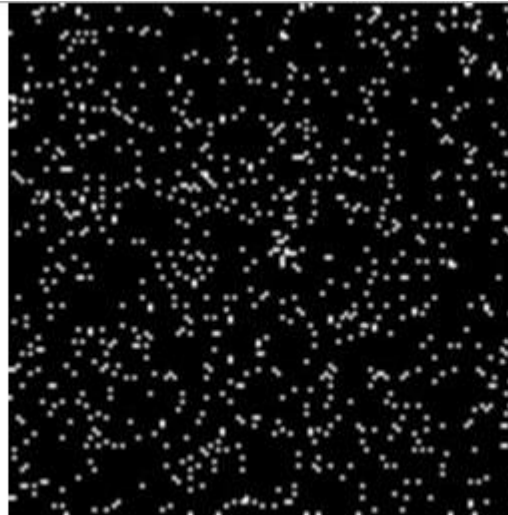
48

- **Adición:**



Imagen original

+



Ruido “sal y pimienta”

=



Imagen con ruido aditivo

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



49

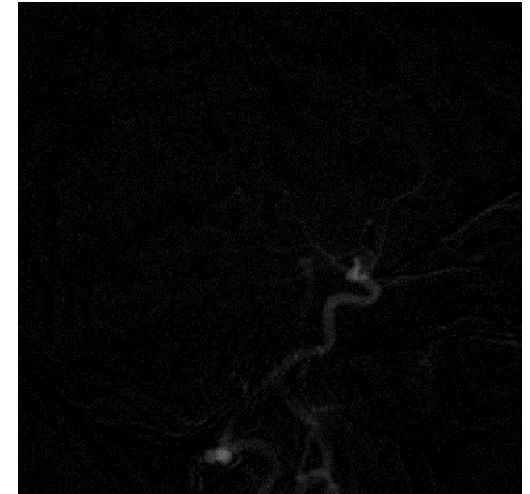
- **Sustracción:** Realce de diferencias entre imágenes. Ejemplo: Imagen médica.



-



=



f = mask image:
imagen rayos X de una
región del cuerpo del
paciente

g = Live image: imagen
después de realizar un
contraste radiológico

$h = f - g$
A mayor diferencia
entre las imágenes, más
clara es la zona
correspondiente.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



50

- **Sustracción:** Detección de movimiento entre imágenes de la misma escena.



-



=

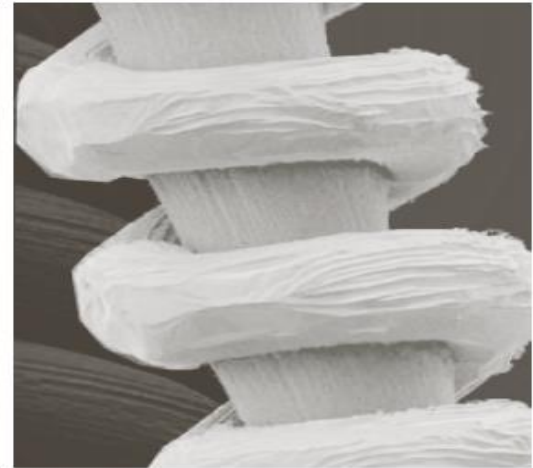
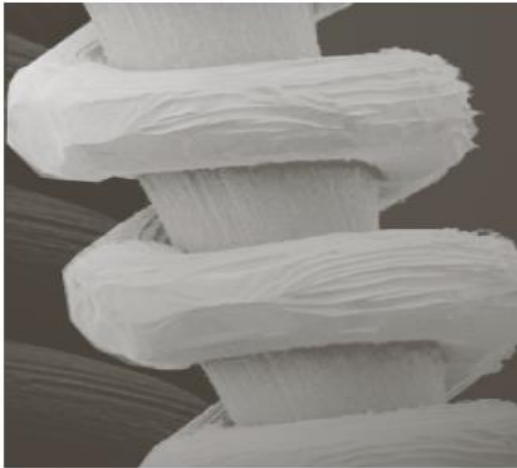


Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



51

- **Producto (y división):** Corrección de sombreado.



$$g(x,y) = f(x,y) h(x,y)$$

f = “función perfecta”

h = función de
sombreado

$h(x,y)$ = función de
sombreado conocida o
estimada

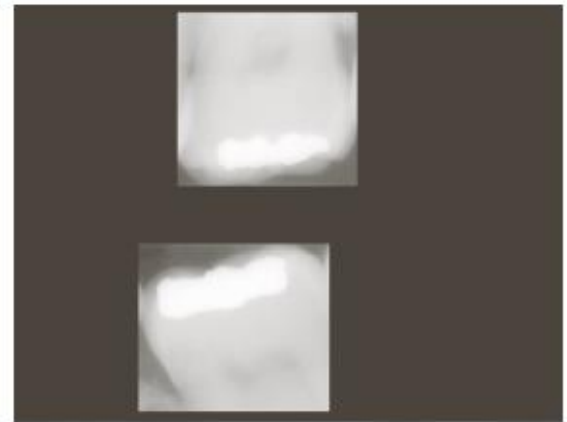
$$f(x,y) = g(x,y) h^{-1}(x,y)$$

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



52

- **Producto (y división):** Regiones de interés (ROI). Consiste en multiplicar la imagen por una imagen máscara con unos en la ROI y ceros en el resto.



Radiografía dental
 $f(x,y)$

×

Máscara ROI

=

Producto

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



53

- Imagen original: $f : M \times N \longrightarrow [0, L-1]$

- Procesamiento punto a punto:

- Operación aritmética:

$$f : M \times N \longrightarrow [0, L-1]$$

$$g : M \times N \longrightarrow [0, L-1]$$

$f \mid +, -, \times \mid g : M \times N \longrightarrow [A, B]$ ¡OJO! Este intervalo
podría ser distinto de $[0, L-1]$

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



54

Es importante tener en cuenta que los valores de salida pueden no estar dentro del rango original de niveles de gris de 0 a $L-1$.

Opciones:

- Diseñar las operaciones a priori para que lleven $[0, L-1]$ en $[0, L-1]$
- Truncar: todos los valores menores que 0 los llevo al 0 y todos los valores mayores que $L-1$ los llevo a $L-1$ (importante pérdida de información).
- Realizo una transformación a posteriori que lleve el intervalo $[A, B]$ en el $[0, L-1]$ (desplazamiento y rescalado).

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

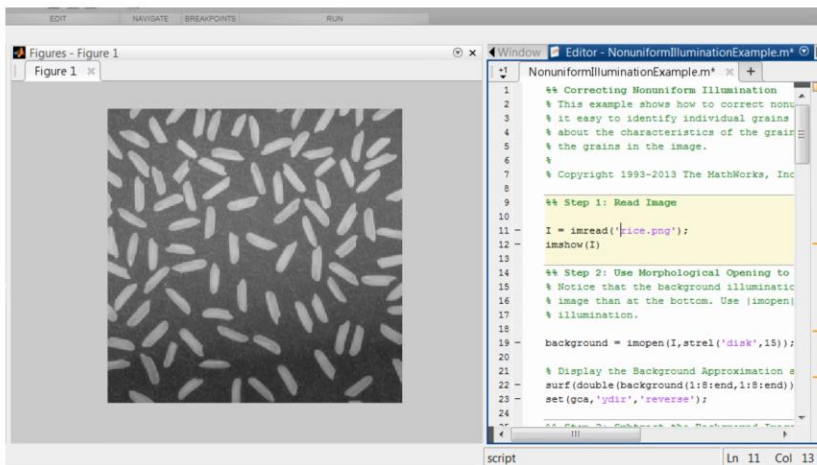


55

Imágenes 2D

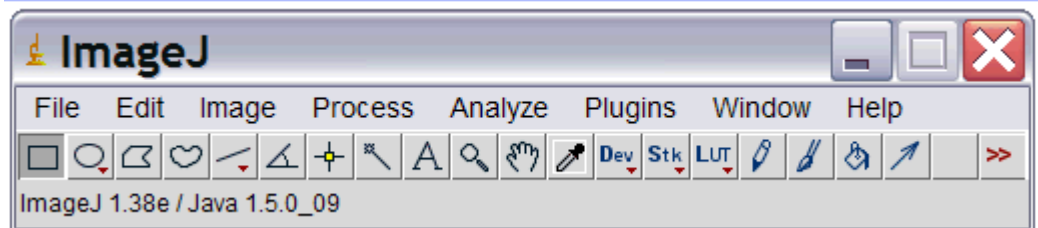
Matlab image processing toolbox:

<http://es.mathworks.com/products/image/>



ImageJ:

<http://rsbweb.nih.gov/ij/>



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

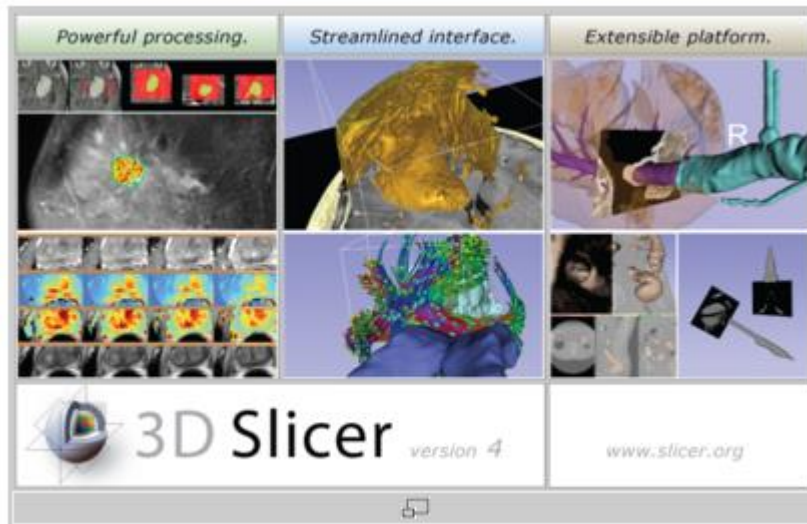


56

Imágenes 3D

Visualización:

Slicer 3D: <http://www.slicer.org/>



Creación (Computer graphics):

Autodesk (Maya, AutoCAD), LightWave 3D, ...
Blender, Google SketchUp, ...



BIBLIOGRAFÍA



57

- R.C. González, R.E. Woods. *Digital Image Proccesing*, 3rd edition. Prentice Hall, 2008. **(La mayor parte de las imágenes han sido extraídas de esta publicación)**
- Reinhard Klette. *Concise Computer Vision*. Springer, 2014.
- N. Efford. *Digital image processing: A practical introduction using JAVA*. Ed. Addison Wesley, 2000.
- R. C. González, R. E. Woods, S. L. Eddins. *Digital image processing using MATLAB*, 2nd ed. 2009.
- Laganière, Robert. *OpenCV computer vision application programming cookbook.*, 2nd ed, 2015.