

Tema 1: INTRODUCCIÓN A LAS IMÁGENES DIGITALES

1

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES

DPTO. MATEMÁTICA APLICADA I



ÍNDICE:

- Proceso de digitalización
- Imágenes a color. Modelos de color
- Almacenamiento y compresión

1.1. Proceso de digitalización

3

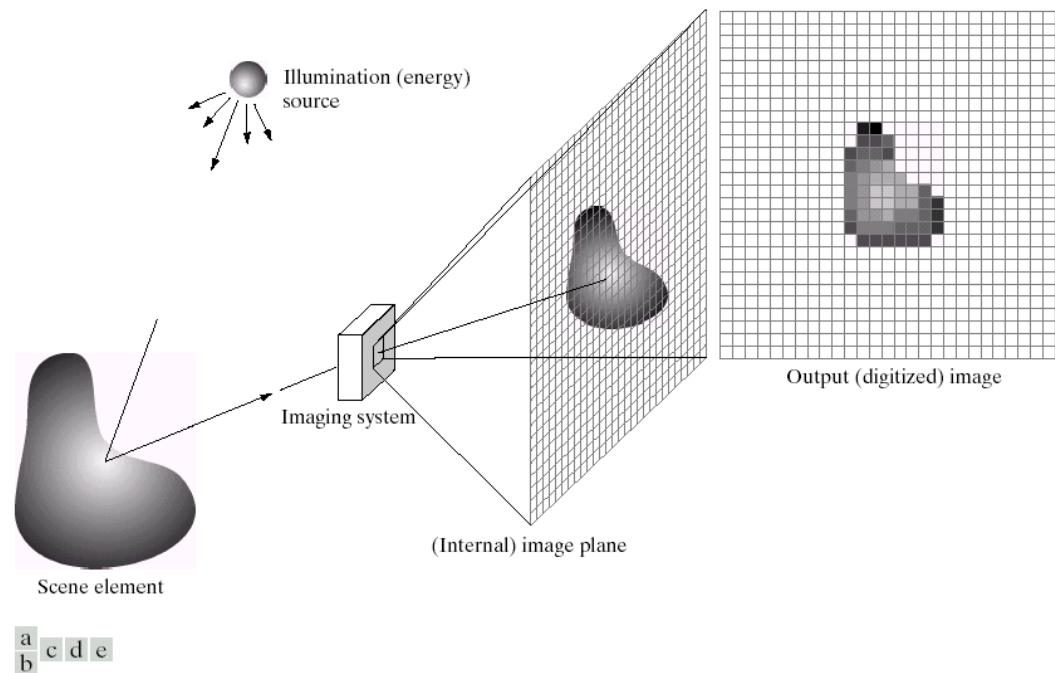


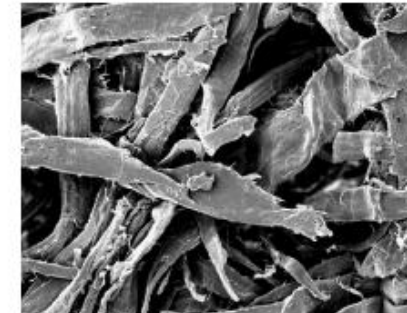
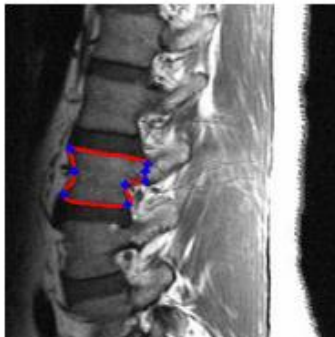
FIGURE 2.15 An example of the digital image acquisition process. (a) Energy (“illumination”) source. (b) An element of a scene. (c) Imaging system. (d) Projection of the scene onto the image plane. (e) Digitized image.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



4

- **Imagen analógica:** Imagen natural captada con una cámara, un telescopio, un microscopio o cualquier otro tipo de instrumento óptico (presenta una variación de sombras y tonos continua).

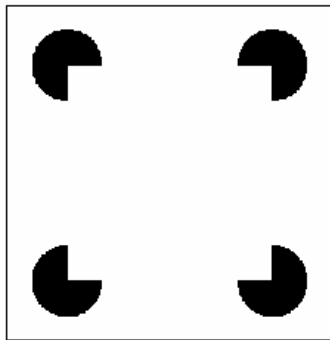


Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



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

- Para que una imagen analógica pueda ser "manipulada" usando un ordenador, primero debe convertirse a un formato adecuado. Este formato es la ***imagen digital*** correspondiente.
- **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

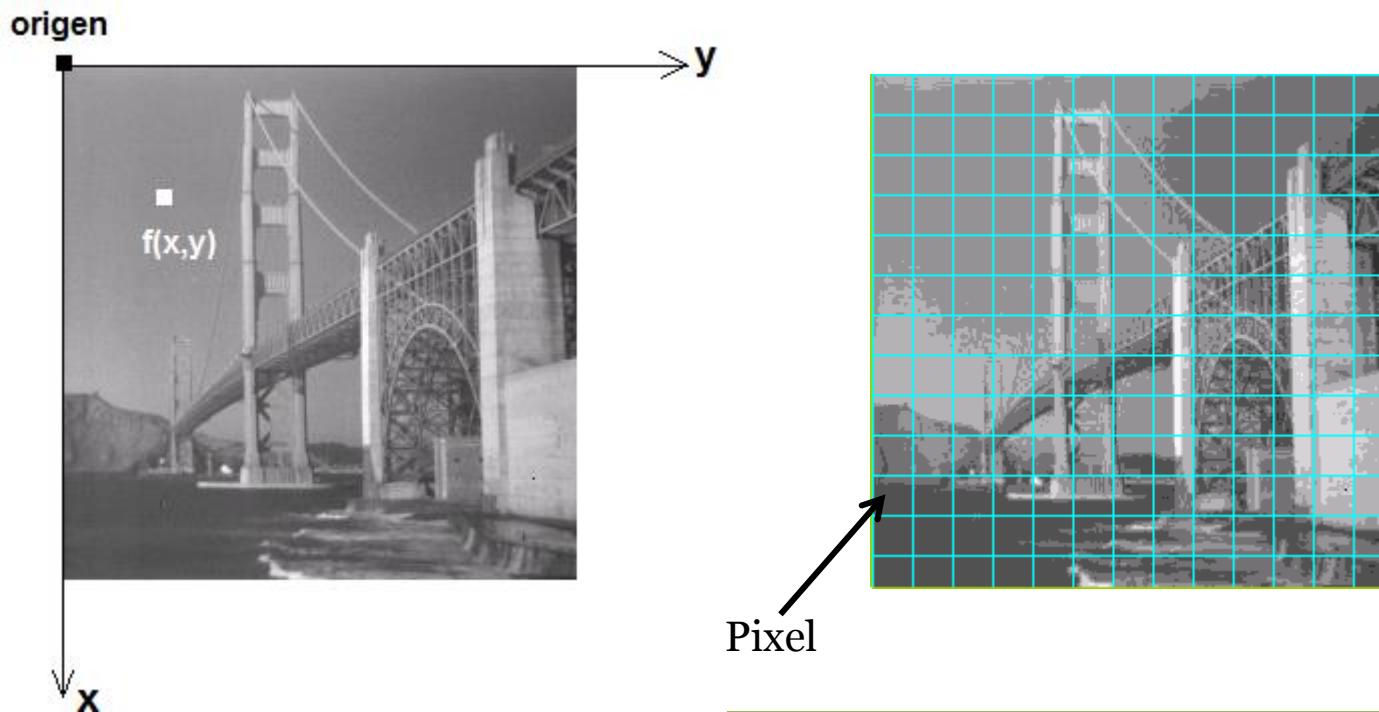
- Paso de imagen analógica a imagen digital: **DIGITALIZACIÓN**
 - Digitalización de las coordenadas espaciales: *muestreo*.
 - Digitalización de la amplitud (niveles de gris): *cuantificación*

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



8

- **Muestreo:** Consiste en una subdivisión de la imagen analógica en porciones. Nos centraremos en imágenes 2D. Sólo estudiaremos particiones que envuelven polígonos regulares: triángulos, cuadrados y hexágonos.



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 o escala de grises*)
- Un vector con tres valores por polígono (*RGB*) que se corresponden con la intensidad de color rojo (R), verde (G) y azul (B).

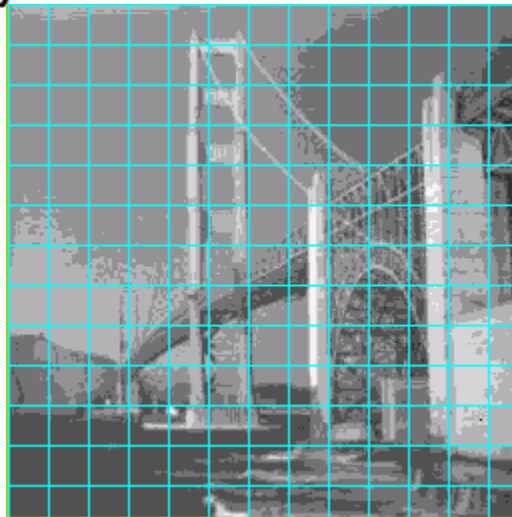
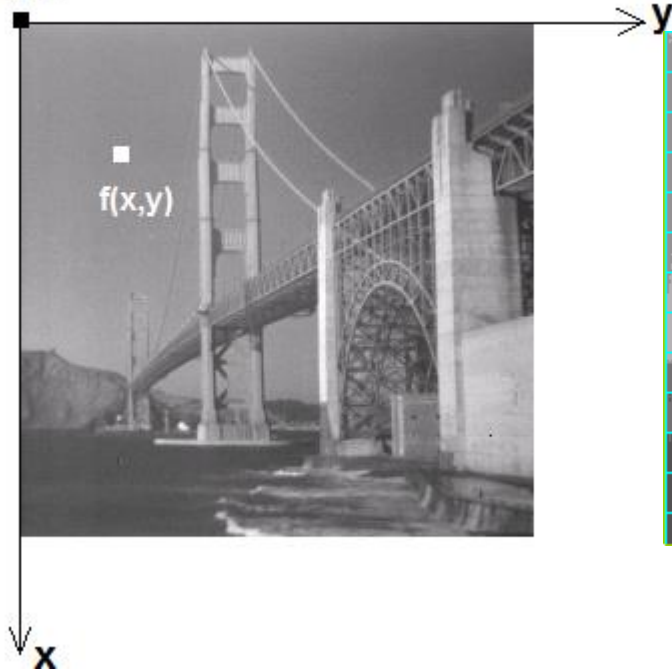
Pixel: polígono del mallado de color constante

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

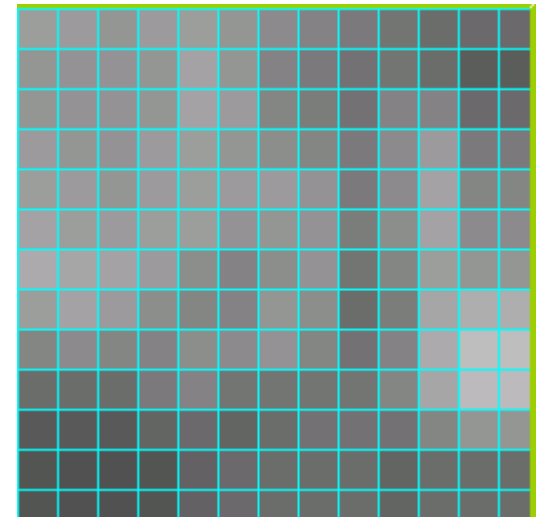


10

origen



Muestreo



Cuatificación con 64
niveles de grises

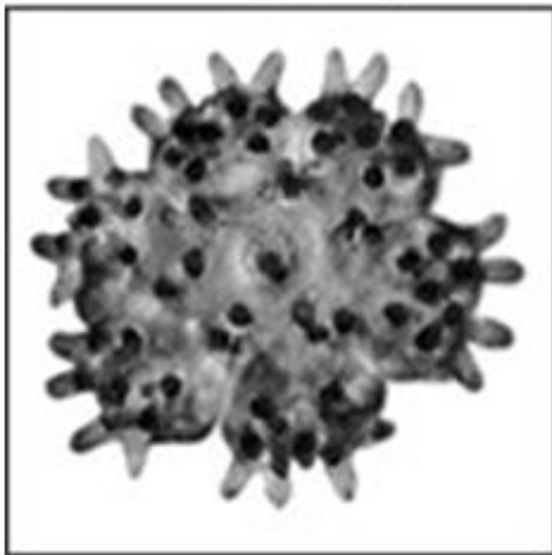
Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



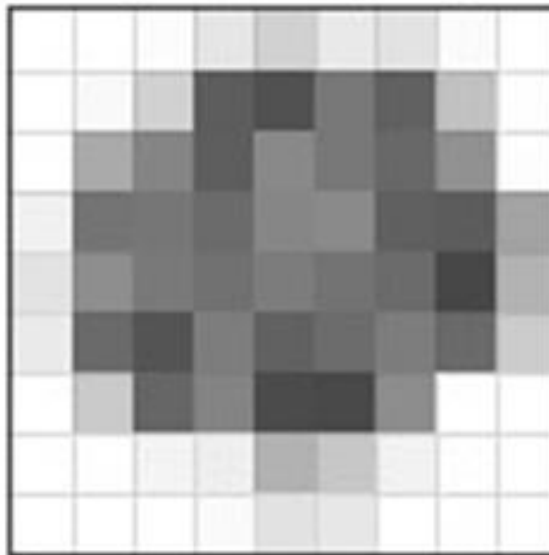
11

- 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

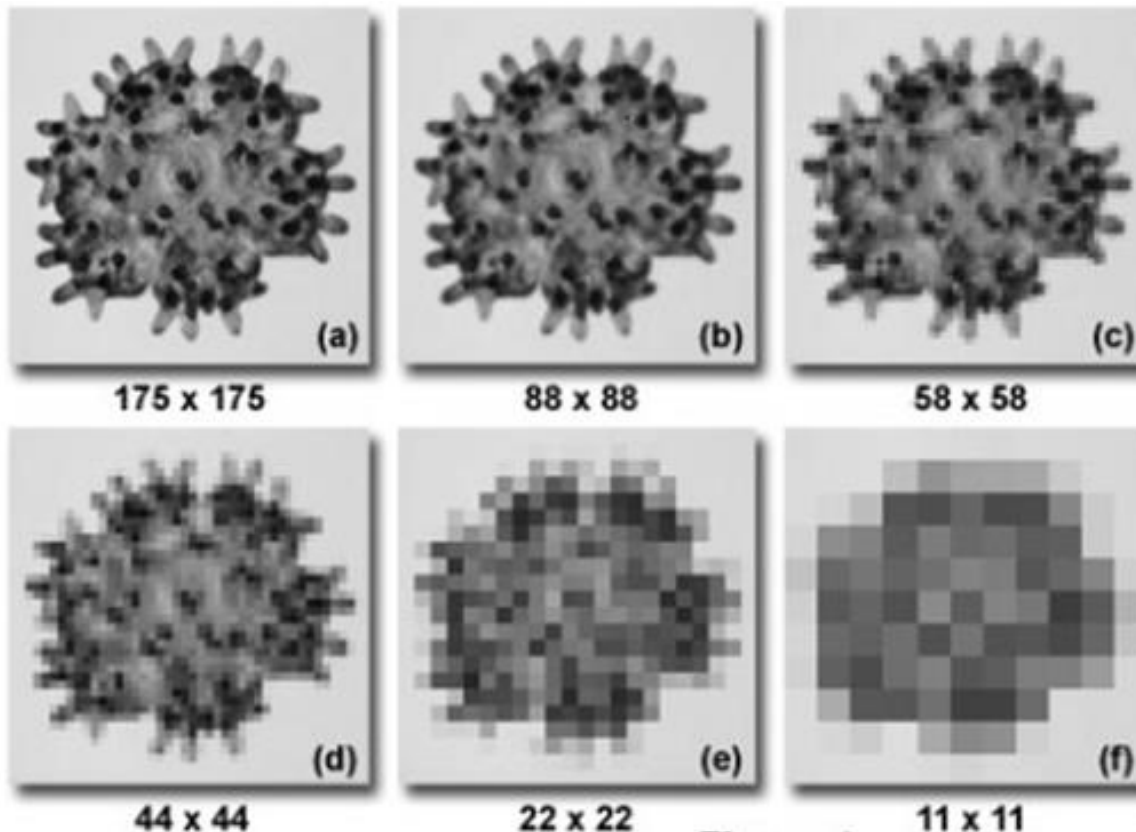
249	244	240	230	209	233	227	251	255
248	245	210	93	81	120	97	193	254
250	170	133	94	137	120	104	145	253
241	116	118	107	134	138	96	92	163
277	142	121	113	124	115	107	71	179
234	106	84	125	97	108	125	106	204
241	202	102	132	75	73	141	246	252
253	252	244	239	178	199	242	250	245
255	249	244	250	226	231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

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



12

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

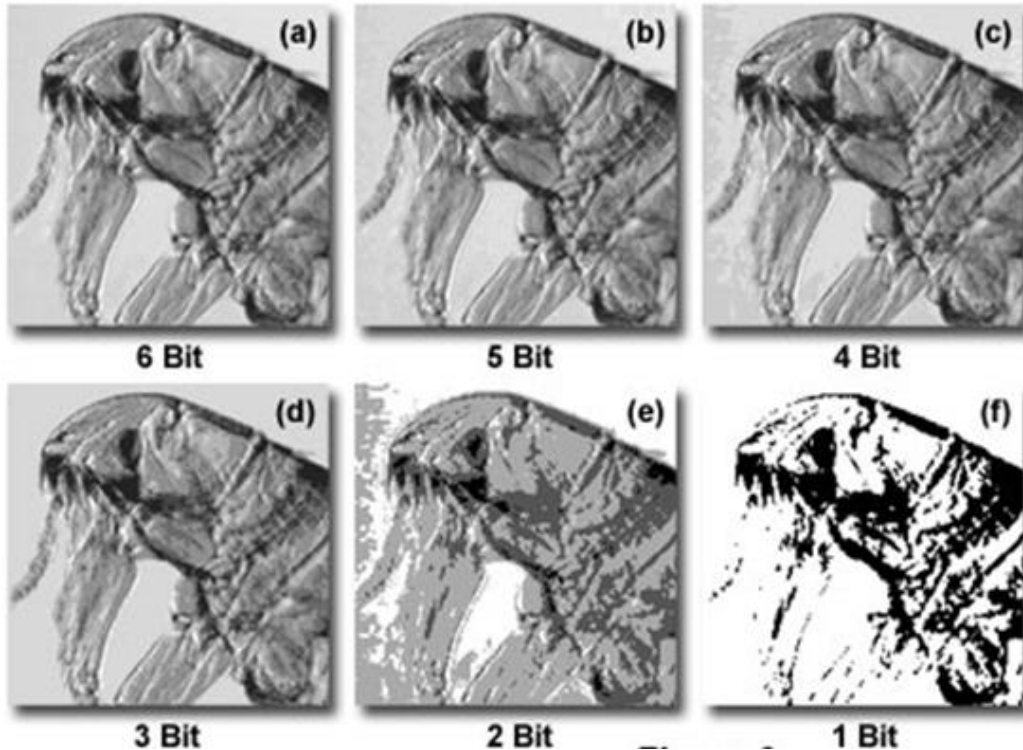


Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



13

- 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



14

¿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 ($M = 2^m$ y $N = 2^n$).

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



15

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

$$\left. \begin{array}{l} -M = 2^m \\ -N = 2^n \end{array} \right\} \text{muestreo}$$
$$-L = 2^k \longrightarrow \text{cuantificación}$$

- 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

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

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

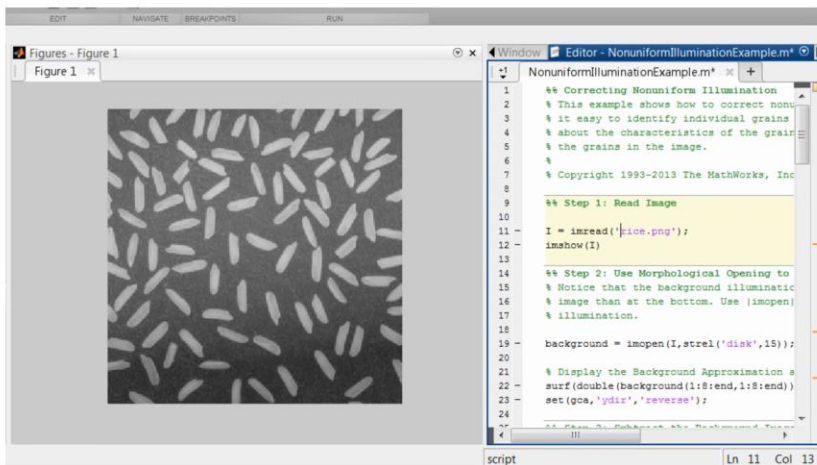


16

Imágenes 2D

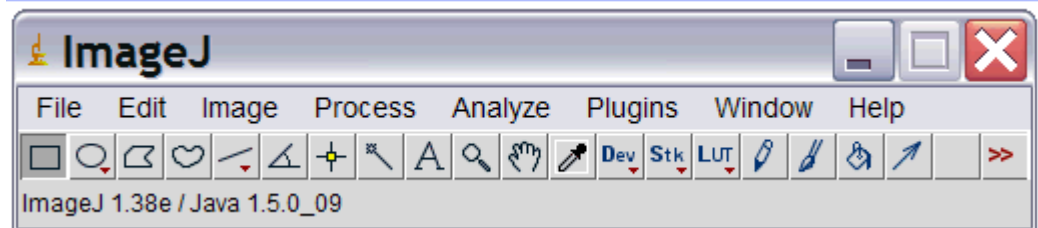
Matlab image processing toolbox:

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



ImageJ:

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



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

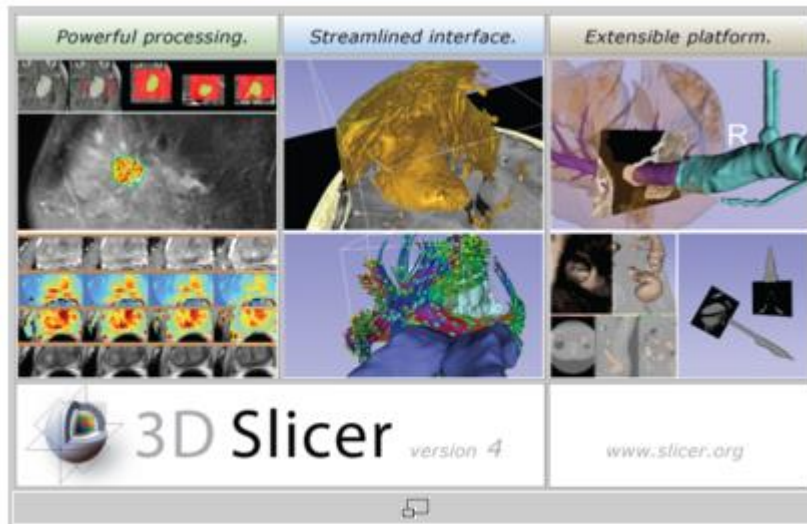


17

Imágenes 3D

Visualización:

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



Creación (Computer graphics):

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



1.2. Imágenes a color

18



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



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



20

- 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

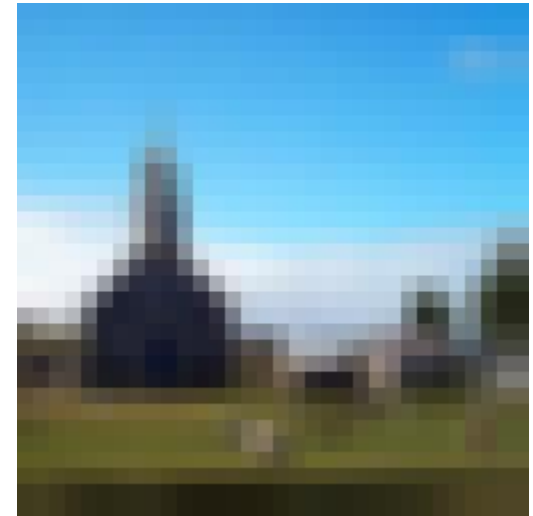
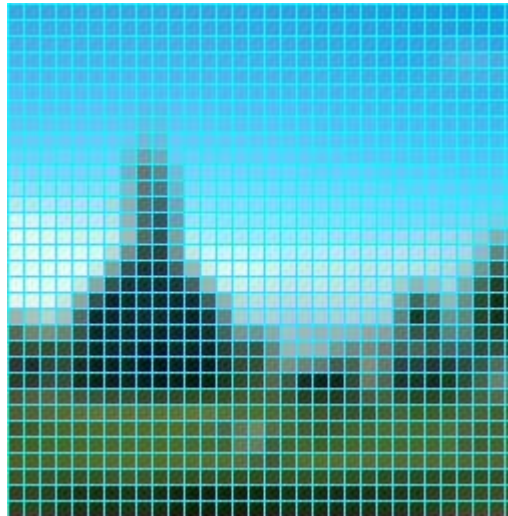
$$3 \times M \times N \times k \text{ bits, } L=2^k$$

- 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



21



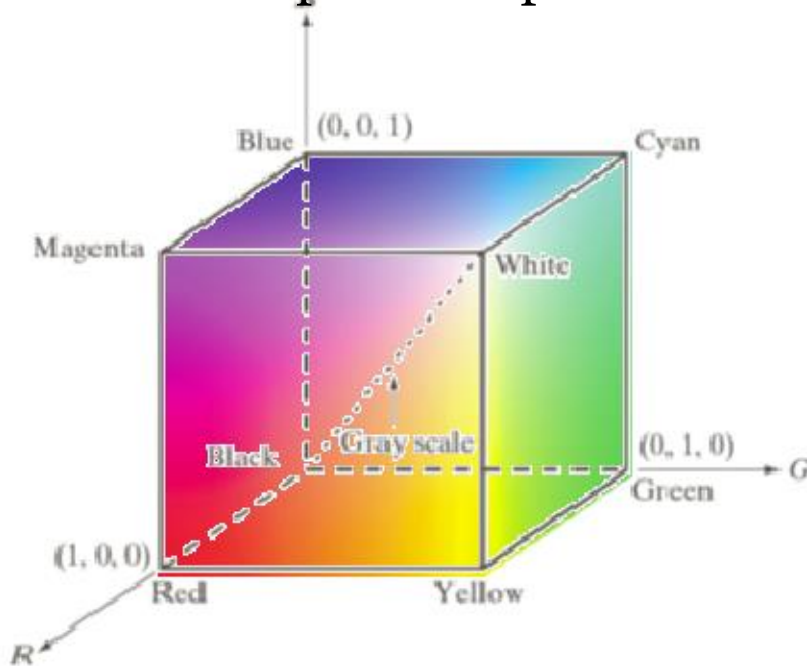
- **Modelos de color:**

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

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

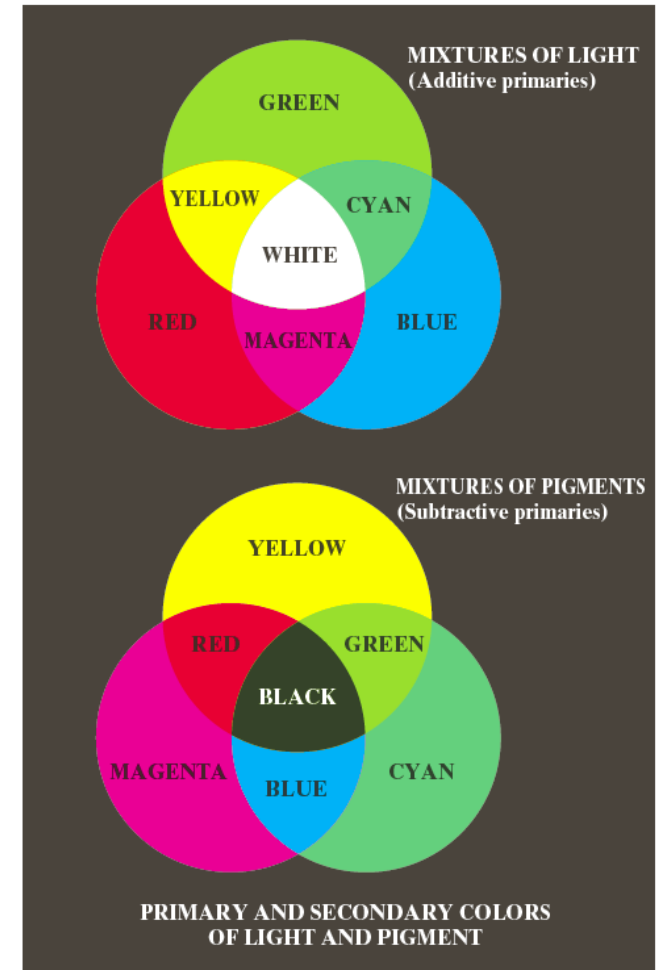
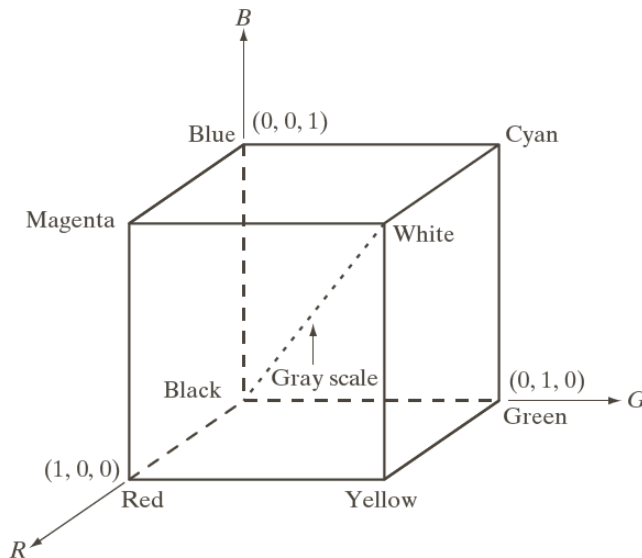
Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



25

• 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



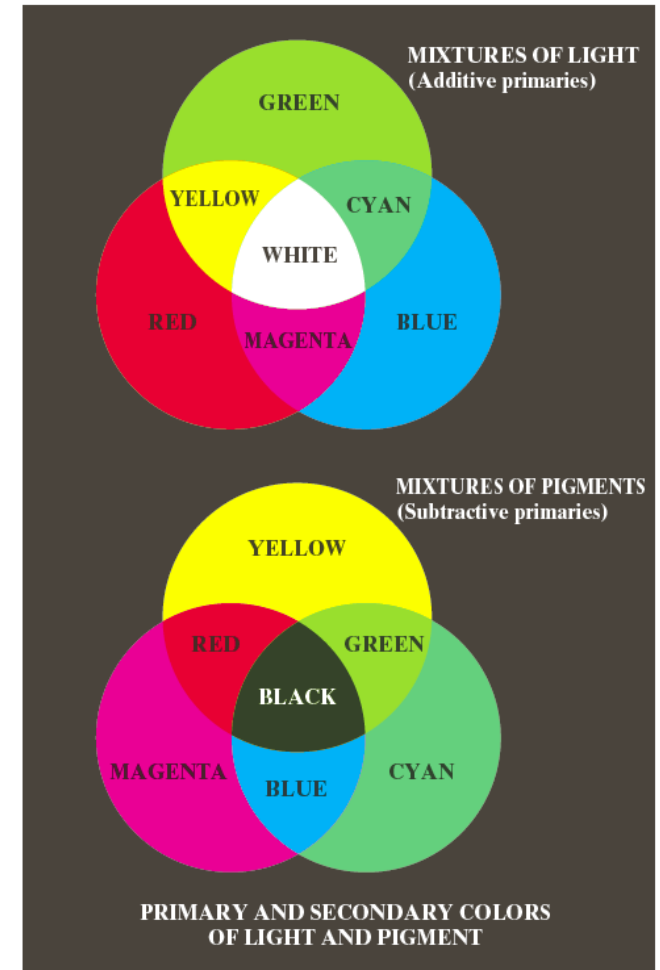
26

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

La conversión viene dada por:

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

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



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



27

- **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

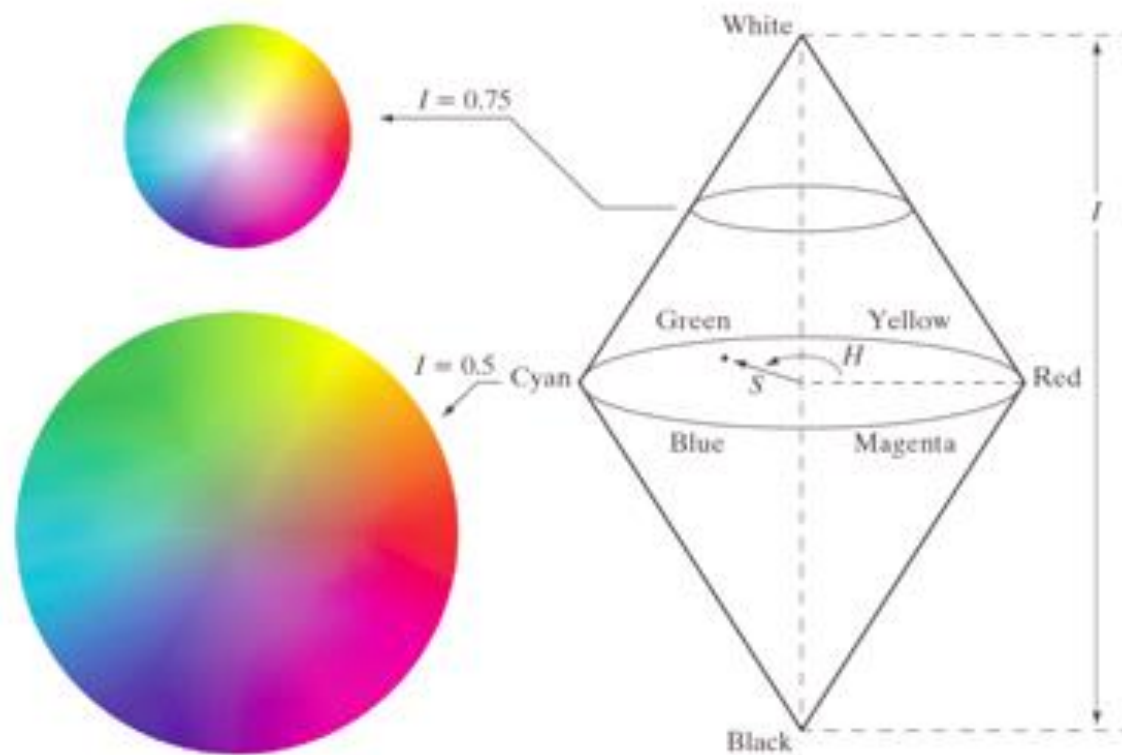
- **Modelo de color HSI:**

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

- **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

35



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



36

- 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



37

- **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



38

- Sean n_P y n_Q el número de bits necesarios para almacenar dos representaciones distintas, P y Q, de una misma imagen.

Redundancia relativa de P (respecto de Q):

$$R_D = 1 - (1 / C_R)$$

donde $C_R = n_P / n_Q$ es el *radio de compresión*.

- Ejemplo:**

Si $C_R = 10$, la representación P necesita 10 bits por cada bit de la representación Q. $R_D = 0,9$, luego el 90% de los datos en la representación P es redundante.

- **Redundancia de código:**

Código en 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



40



FIGURE 8.1 Computer generated $256 \times 256 \times 8$ bit images with (a) coding redundancy, (b) spatial redundancy, and (c) irrelevant information. (Each was designed to demonstrate one principal redundancy but may exhibit others as well.)

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



41

- La **compresión de imágenes** consiste en eliminar uno 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.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



42

- **Redundancia en el código:**

- Código de Huffman

- **Redundancia entre píxeles:**

- LZW
- Representación por filas.
- Representación por árbol cuaternario.
- Planos de bits.

- **Redundancia psicovisual:**

- Transformadas de la imagen.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



43

- **Redundancia en el código:**

- P = imagen de N píxeles es escala de grises con L niveles de gris.
- N_k = cantidad de píxeles con el mismo nivel de gris k .
- $l(k)$ = número de bits necesarios para almacenar el nivel de gris k .

Promedio de bits necesarios para representar cada pixel:

$$\frac{\sum_{k=0}^{L-1} l(k) N_k}{N} = \sum_{k=0}^{L-1} l(k) p(k)$$

- **Redundancia en el código: Ejemplo**

Imagen con 6 niveles de gris $\{a_1, a_2, \dots, a_6\}$ tal que las probabilidades de cada píxel de tener el color a_k son mostradas en la siguiente tabla:

$p(a_1) = 0,1$	$p(a_2) = 0,4$	$p(a_3) = 0,06$	$p(a_4) = 0,1$	$p(a_5) = 0,04$	$p(a_6) = 0,3$
----------------	----------------	-----------------	----------------	-----------------	----------------

Si usamos un código binario de longitud constante, el promedio de bits necesario para almacenar un píxel es **3 bits**.

Valor	Valor codificado
a1	000
a2	001
a3	010
a4	011
a5	100
a6	101

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



45

- **Redundancia en el código: Código de Huffman**

- **Idea:** Código de longitud variable tal que aquellos valores con más probabilidad se le asigna un menor número de bits. Así, se consigue que el promedio sea menor.
- El procedimiento consta de cuatro pasos:

- **Redundancia en el código: Código de Huffman**

- **Paso 1:** Ordenar los valores de grises según la probabilidad de que ocurran (de mayor a menor) y considerar la lista de probabilidades ordenadas.
- **Paso 2:** Crear una tabla donde se van sumando sucesivamente las dos probabilidades más pequeñas y se reordenan los resultados, repitiendo el proceso hasta llegar a la probabilidad 1.
- **Paso 3:** Crear un árbol binario a partir de la tabla donde los hijos son las probabilidades de partida.
- **Paso 4:** A partir del árbol, crear el nuevo código.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



47

- Redundancia en el código: Código de Huffman. Ejemplo**

$p(a_1) = 0,1$	$p(a_2) = 0,4$	$p(a_3) = 0,06$	$p(a_4) = 0,1$	$p(a_5) = 0,04$	$p(a_6) = 0,3$
----------------	----------------	-----------------	----------------	-----------------	----------------

Símbolo	Probabilidad	1	2	3	4
a2	0,4				
a6	0,3				
a1	0,1				
a4	0,1				
a3	0,06				
a5	0,04				

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



48

- Redundancia en el código: Código de Huffman. Ejemplo**

$p(a_1) = 0,1$	$p(a_2) = 0,4$	$p(a_3) = 0,06$	$p(a_4) = 0,1$	$p(a_5) = 0,04$	$p(a_6) = 0,3$
----------------	----------------	-----------------	----------------	-----------------	----------------

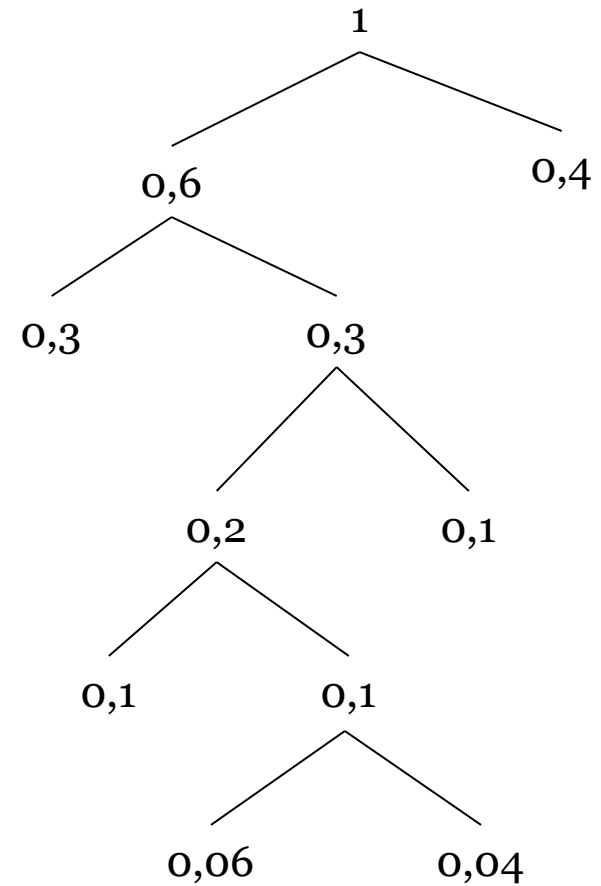
Símbolo	Probabilidad	1	2	3	4
a2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6
a6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
a1	0,1	0,1	0,2	0,3	
a4	0,1	0,1	0,1		
a3	0,06	0,1			
a5	0,04				

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



49

Símbolo	Probabilidad	1	2	3	4
a2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6
a6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
a1	0,1	0,1	0,2	0,3	
a4	0,1	0,1	0,1		
a3	0,06	0,1			
a5	0,04				

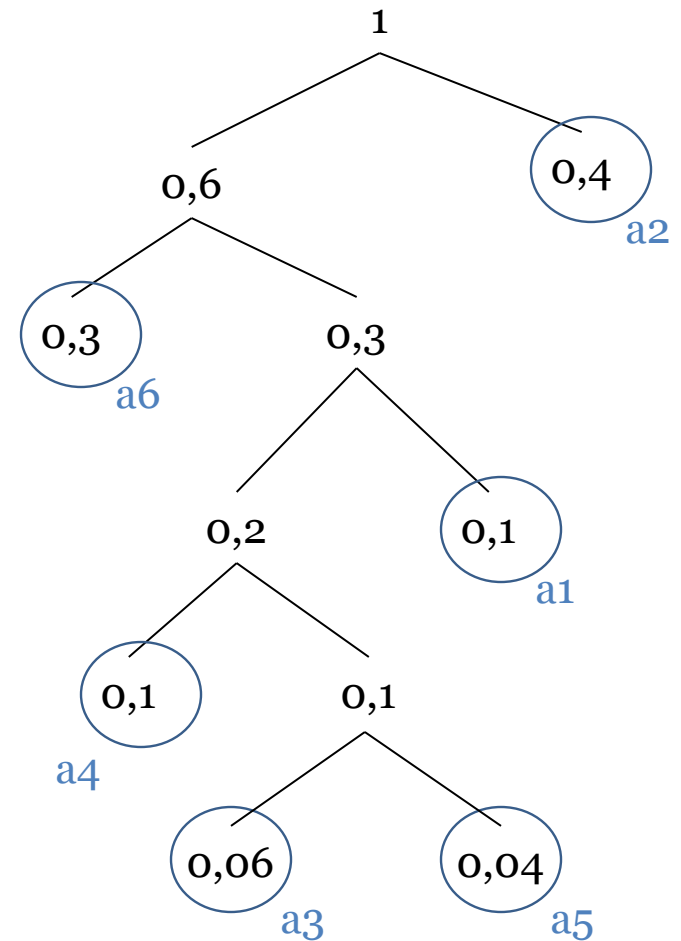


Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



50

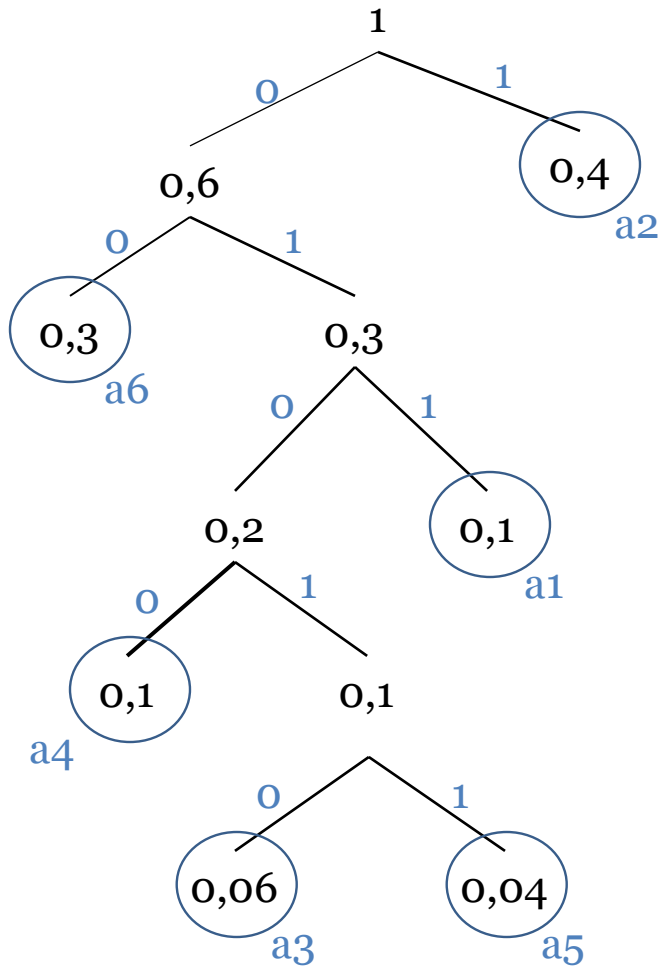
Símbolo	Probabilidad	1	2	3	4
a2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6
a6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
a1	0,1	0,1	0,2	0,3	
a4	0,1	0,1	0,1		
a3	0,06	0,1			
a5	0,04				



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



51



Símbolo	Probabilidad	Código Huffman
a1	0,1	011
a2	0,4	1
a3	0,06	01010
a4	0,1	0100
a5	0,04	01011
a6	0,3	00

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



52

Símbolo	Probabilidad	Código Huffman
a1	0,1	011
a2	0,4	1
a3	0,06	01010
a4	0,1	0100
a5	0,04	01011
a6	0,3	00

Mayor
probabilidad =
menor n° de bits

Menor
probabilidad =
mayor n° de bits

- Promedio de bits:

$$3 \times 0,1 + 1 \times 0,4 + 5 \times 0,06 + 4 \times 0,1 + 5 \times 0,04 + 2 \times 0,3 = \mathbf{2,2 \text{ bits}}$$

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



53

Símbolo	Codificado natural
a1	000
a2	001
a3	010
a4	011
a5	100
a6	101

• Promedio de bits = **3 bits**

Símbolo	Probabilidad	Código Huffman
a1	0,1	011
a2	0,4	1
a3	0,06	01010
a4	0,1	0100
a5	0,04	01011
a6	0,3	00

• Promedio de bits = **2,2 bits**

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



54

Símbolo	Codificado natural
a1	000
a2	001
a3	010
a4	011
a5	100
a6	101

• Promedio de bits = **3 bits**

Símbolo	Probabilidad	Código Huffman
a1	0,1	011
a2	0,4	1
a3	0,06	01010
a4	0,1	0100
a5	0,04	01011
a6	0,3	00

• Promedio de bits = **2,2 bits**

- *Radio de compresión:* $C_R = 3 \text{ bits} / 2,2 \text{ bits} = \mathbf{1,36 \text{ bits}}$

- *Redundancia relativa:* $R_D = 1 - (1 / 1,36) = 0,26$, luego el **26%** del código natural es redundante.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



55

- **Redundancia en el código: Decodificación de Huffman.**

Cualquier cadena del código es decodificable de manera única.

Símbolo	Probabilidad	Código Huffman
a1	0,1	011
a2	0,4	1
a3	0,06	01010
a4	0,1	0100
a5	0,04	01011
a6	0,3	00

cadena: 010100111100

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



56

- **Redundancia en el código: Decodificación de Huffman.**

Cualquier cadena del código es decodificable de manera única.

Símbolo	Probabilidad	Código Huffman
a1	0,1	011
a2	0,4	1
a3	0,06	01010
a4	0,1	0100
a5	0,04	01011
a6	0,3	00

cadena: **010100111100**

a3

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



57

- **Redundancia en el código: Decodificación de Huffman.**

Cualquier cadena del código es decodificable de manera única.

Símbolo	Probabilidad	Código Huffman
a1	0,1	011
a2	0,4	1
a3	0,06	01010
a4	0,1	0100
a5	0,04	01011
a6	0,3	00

cadena: 01010**011**1100

a3 a1

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



58

- **Redundancia en el código: Decodificación de Huffman.**

Cualquier cadena del código es decodificable de manera única.

Símbolo	Probabilidad	Código Huffman
a1	0,1	011
a2	0,4	1
a3	0,06	01010
a4	0,1	0100
a5	0,04	01011
a6	0,3	00

cadena: 01010011**11**00

a3 a1 a2 a2

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



59

- **Redundancia en el código: Decodificación de Huffman.**

Cualquier cadena del código es decodificable de manera única.

Símbolo	Probabilidad	Código Huffman
a1	0,1	011
a2	0,4	1
a3	0,06	01010
a4	0,1	0100
a5	0,04	01011
a6	0,3	00

cadena: 0101001111**00**

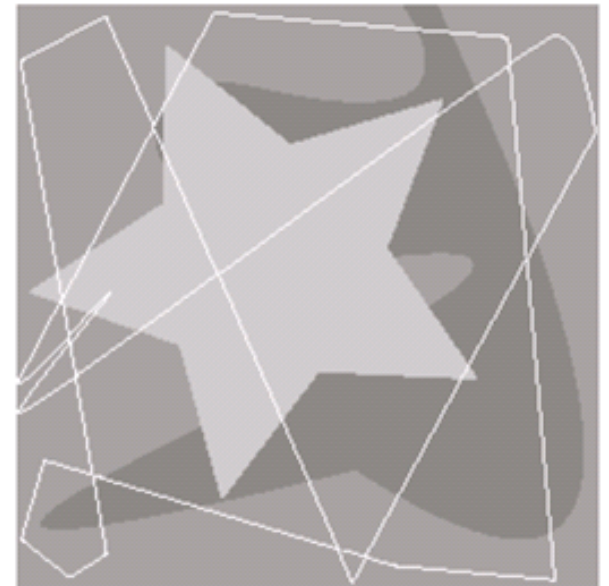
a3 a1 a2 a2 a6

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



60

- **EJERCICIO:** Esta imagen de 8 bits posee sólo 4 niveles de gris distintos con probabilidades 0'25, 0'47, 0'25 y 0'03, respectivamente.
 - ¿Se podría dar una representación más económica con un código de longitud constante?
 - ¿Se podría mejorar con un código de longitud variable?
 - ¿Cuál sería el ratio de compresión y la cantidad de datos redundantes?



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



61

- **Redundancia en el código:**

- Código de Huffman

- **Redundancia entre píxeles:**

- LZW
- Representación por filas.
- Representación por árbol cuaternario.
- Planos de bits.

- **Redundancia psicovisual:**

- Transformadas de la imagen.

- **Redundancia entre píxeles: Código LZW.**

Claves:

- La compresión se produce por darse reiteradamente la sustitución de una cadena de caracteres por un solo símbolo del código.
- Conforme se realiza la codificación, se va creando un diccionario en el que se recogen los nuevos símbolos de código.
- En general, reduce la redundancia entre píxeles, excepto si el diccionario es excesivamente largo, en cuyo caso puede resultar contraproducente.

- **Redundancia entre píxeles: Código LZW.**

Dada una “frase” de un alfabeto de M letras, el pseudocódigo sería:

1. Inicializar una tabla (diccionario), asignando a cada letra un código de 0 a $M-1$.
2. Inicializar P = primera letra de la frase.
3. Sea S = siguiente carácter en la frase.
4. Si PS es una palabra del diccionario,
 $P = PS$ e ir al paso 3.
 En caso contrario
 añadir PS al diccionario asignándole un código n no utilizado,
 $P = S$ e ir al paso 3.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



64

• Redundancia entre píxeles: Código LZW. Ejemplo

Alfabeto de 3 letras {A,B,C}. Codificar la palabra ABACABA.

• **CÓDIGO LZW:**

- 1:** Inicializar una tabla (diccionario), asignando a cada letra un código de 0 a M-1
- 2:** Inicializar P = primera letra de la frase.
- 3:** Sea S = siguiente carácter en la frase.
- 4:** Si PS es una palabra del diccionario,
P = PS e ir al paso 3.
En caso contrario,
añadir PS al diccionario asignándole un código no utilizado,
P = S e ir al paso 3.

P	S	Diccionario	Código
		A	0
		B	1
		C	2
A	B	AB	3
B	A	BA	4
A	C	AC	5
C	A	CA	6
A	B		
AB	A	ABA	7
A			

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



65

• Redundancia entre píxeles: Código LZW. Ejemplo

Alfabeto de 3 letras {A,B,C}. Codificar la palabra ABACABA.

ABACABA = 010230

• **CÓDIGO LZW:**

- 1:** Inicializar una tabla (diccionario), asignando a cada letra un código de 0 a M-1
- 2:** Inicializar P = primera letra de la frase.
- 3:** Sea S = siguiente carácter en la frase.
- 4:** Si PS es una palabra del diccionario,
P = PS e ir al paso 3.
En caso contrario,
añadir PS al diccionario asignándole un código no utilizado,
P = S e ir al paso 3.

P	S	Diccionario	Código
		A	0
		B	1
		C	2
A	B	AB	3
B	A	BA	4
A	C	AC	5
C	A	CA	6
A	B		
AB	A	ABA	7
A			

- **Redundancia entre píxeles: Código LZW. Ejemplo**

- Imagen 4 x 4 de 8-bits (256 niveles de gris)

39	39	126	126
39	39	126	126
39	39	126	126
39	39	126	126

- Asumimos un diccionario de 512 palabras (9 bits).

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



67

- Redundancia entre píxeles: Código LZW. Ejemplo**

Currently Recognized Sequence	Pixel Being Processed	Encoded Output	Dictionary Location (Code Word)	Dictionary Entry
	39			
39	39	39	256	39-39
39	126	39	257	39-126
126	126	126	258	126-126
126	39	126	259	126-39
39	39			
39-39	126	256	260	39-39-126
126	126			
126-126	39	258	261	126-126-39
39	39			
39-39	126			
39-39-126	126	260	262	39-39-126-126
126	39			
126-39	39	259	263	126-39-39
39	126			
39-126	126	257	264	39-126-126
126		126		

- **Redundancia entre píxeles: Código LZW. Ejemplo**
 - Luego, la imagen queda codificada por la lista de códigos:

39-39-126-126-256-258-260-259-257-126

Es decir, 10 códigos a 9 bits cada uno = 90 bits.

- Sin embargo, la representación matricial necesitaría $4 \times 4 \times 8 = 128$ bits de almacenamiento.

- **Redundancia entre píxeles: RLE**

- Se trata de una técnica desarrollada sobre 1950 y se conoce como run- length encoding, o RLE.
- Este tipo de representación o compresión es apropiado para imágenes en las que aparecen intensidades repetidas a lo largo de las filas de la imagen.
- Así, cada secuencia de la misma intensidad se codifica por un par que especifica la longitud y el nivel de gris que se repite en la secuencia.
- En los casos en los que hay pocas repeticiones, la técnica en realidad resulta en un aumento de datos.

- **Redundancia entre píxeles: RLE**

- Supongamos que la fila tiene una longitud n , y que hay r secuencias. Puesto que son necesarios $\log_2 n$ bits para especificar la longitud de una secuencia (puede tener cualquier longitud entre 1 y n), el número de bits necesarios para especificar todas las longitudes de secuencias de la fila es $r \log_2 n$.

- Si hay L posibles niveles de gris, cada fila requiere

$$r (\log_2 n + \log_2 L) = r \log_2 (n L) \text{ bits ,}$$

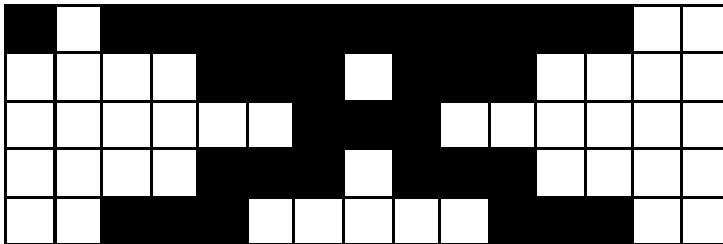
en contraposición con los $n \log_2 L$ bits que son necesarios cuando la fila es tratada como una cadena de longitud n .

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



71

Imagen binaria 2D



Representación matricial

1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0

Correspondencia Runs

Fila	Valor inicial de la fila	Longitudes de las secuencias alternadas
1	1	1 1 11 2
2	0	4 3 1 3 4
3	0	6 3 6
4	0	4 3 1 3 4
5	0	2 3 5 3 2

Sólo hay que indicar el primer elemento de la fila y las longitudes de las secuencias alternadas: $1 + r \log_2 n$ bits / fila

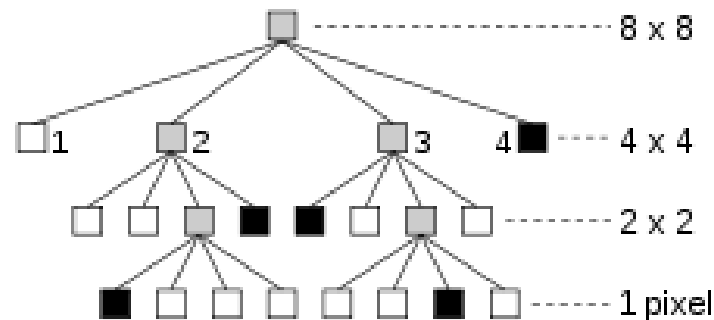
- **Redundancia entre píxeles: Árbol cuaternario**

Método (para imágenes binarias):

- El nodo raíz del árbol representa la imagen entera.
- Si la imagen tiene un solo valor, etiquetamos el nodo raíz con ese valor y paramos;
- En caso contrario, añadimos 4 descendientes al nodo raíz, representando los 4 cuadrantes de la imagen.
- Repetimos el proceso para cada uno de esos nuevos nodos.

- **Redundancia entre píxeles: Árbol cuaternario. Ejemplo**

- Imagen binaria $2^3 \times 2^3$. Árbol cuaternario de altura 3.



- El espacio para almacenar el árbol es proporcional al número de nodos.
- Mal comportamiento respecto a traslaciones de la imagen.

- **Redundancia entre píxeles: Planos de bits**

- Descomposición de una imagen en escala de grises de L bits en L imágenes de 1 bit cada píxel (binarias) que podrían, por ejemplo, codificarse mediante RLE.

- Sea k el nivel de gris asociado a un píxel:

$$k = a_{L-1} 2^{L-1} + a_{L-2} 2^{L-2} + \dots + a_1 2^1 + a_0 2^0$$

- Tomando cada uno de los coeficientes a_j , formamos el j-ésimo plano de bits, $j = 0, \dots, L-1$.

Plano a_j = Imagen binaria donde el valor de cada píxel es 0 o 1, dependiendo de lo que valga a_j al pasar el valor de intensidad del píxel al código binario.

- **Redundancia entre píxeles: Planos de bits. Ejemplo**

- Imagen de 256 niveles de gris (la intensidad de cada píxel se descompone en 8 bits)
- 8 planos de 1 bit.
- Píxel con valor 194

$$194 = 1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 =$$
$$= 11000010$$

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



76

- **Redundancia entre píxeles: Planos de bits**



Planos de los 4 bits más significativos.



plano a_7



plano a_6



plano a_5



plano a_4

- **Redundancia entre píxeles: Planos de bits**

Inconveniente: Pequeñas variaciones en los niveles de gris tienen un impacto significativo en la complejidad de los planos de bits.

- Ejemplo: En la imagen inicial hay un píxel de intensidad 127 junto a otro de intensidad 128:

$$127 = 01111111$$

$$128 = 10000000$$

En todos los mapas de bits habrá un salto de 0 a 1 ó de 1 a 0.

- **Redundancia entre píxeles: Planos de bits**

Alternativa: Representar primero la imagen mediante un código de Gray de L bits.

- Si los dígitos en binario son:

$$a_{L-1} a_{L-2} \dots a_1 a_0$$

El mismo número en código de Gray es:

$$g_{L-1} g_{L-2} \dots g_1 g_0$$

$$g_j = a_j + a_{j+1} \bmod 2 \text{ si } j < L-1$$

$$g_{L-1} = a_{L-1}$$

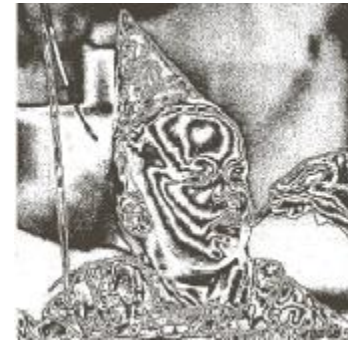
Número	Código binario	Código de Gray
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

79



Planos de los 4 bits **más significativos**.
La segunda fila de imágenes corresponde a los planos de bits usando el código de Gray.



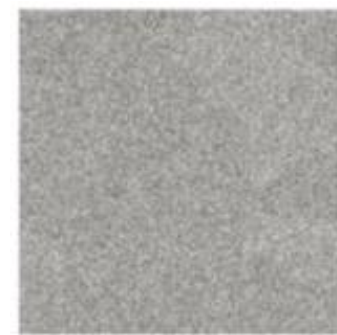
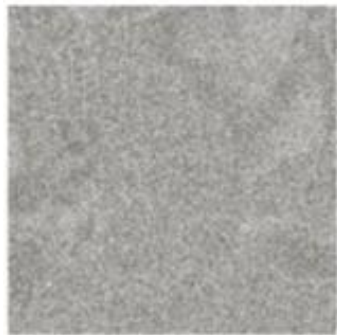
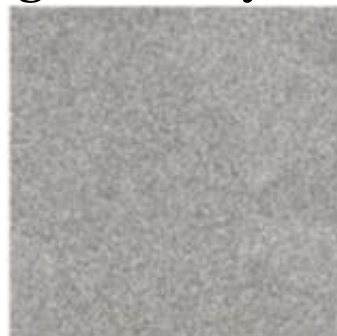
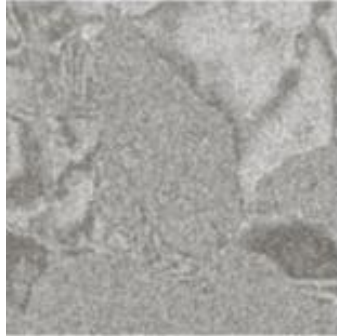
Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



80



Planos de los 4 bits **menos significativos**. La segunda fila de imágenes corresponde a los planos de bits usando el código de Gray.



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



81

- **Redundancia en el código:**

- Código de Huffman

- **Redundancia entre píxeles:**

- LZW
- Representación por filas.
- Representación por árbol cuaternario.
- Planos de bits.

- **Redundancia psicovisual:**

- Transformadas de la imagen (en otro tema)

BIBLIOGRAFÍA



82

- R.C. González, R.E. Woods. *Digital Image Proccesing*, 3rd edition. Prentice Hall, 2008.
- 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.