

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES

Dpto. Matemática Aplicada i

1

Tema 1: INTRODUCCIÓN A LAS IMÁGENES DIGITALES



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

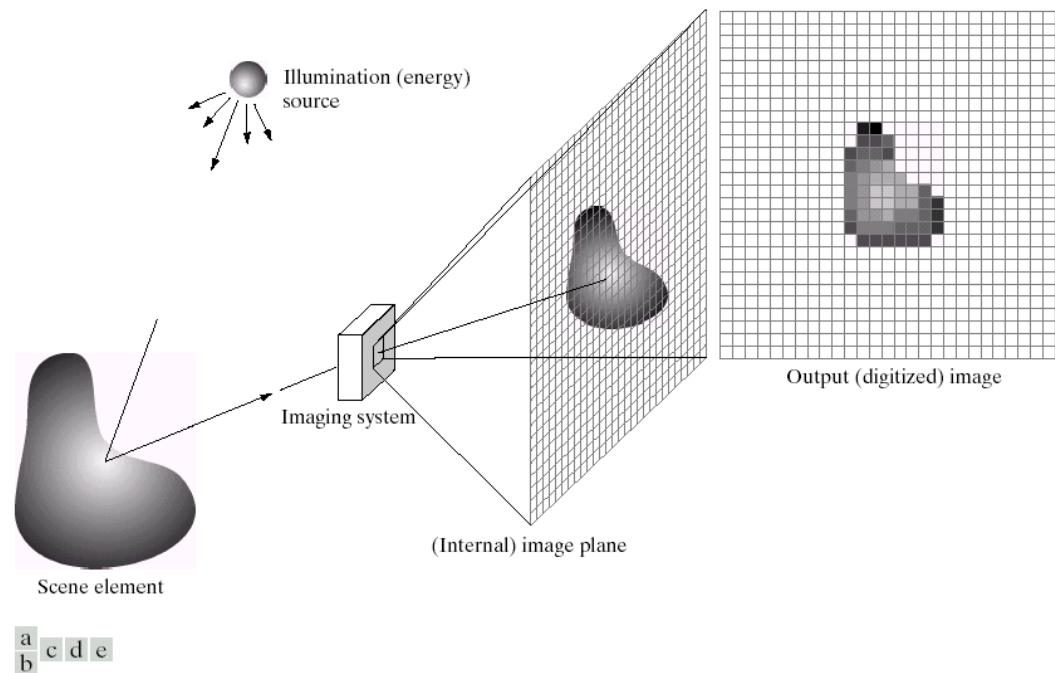
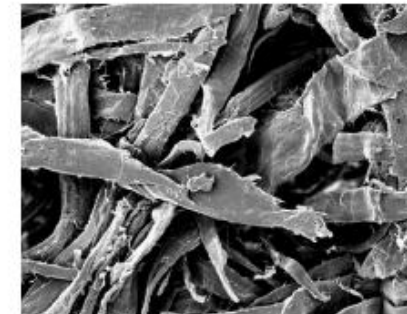


FIGURE 2.15 An example of the digital image acquisition process. (a) Energy (“illumination”) source. (b) An element of a scene. (c) Imaging system. (d) Projection of the scene onto the image plane. (e) Digitized image.

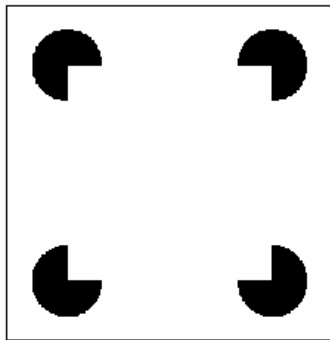
Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

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

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



Binary image



Grayscale image



Color image

- 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

- **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)

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

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

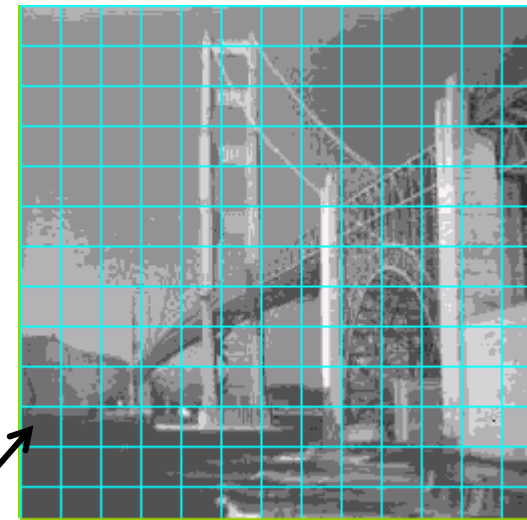
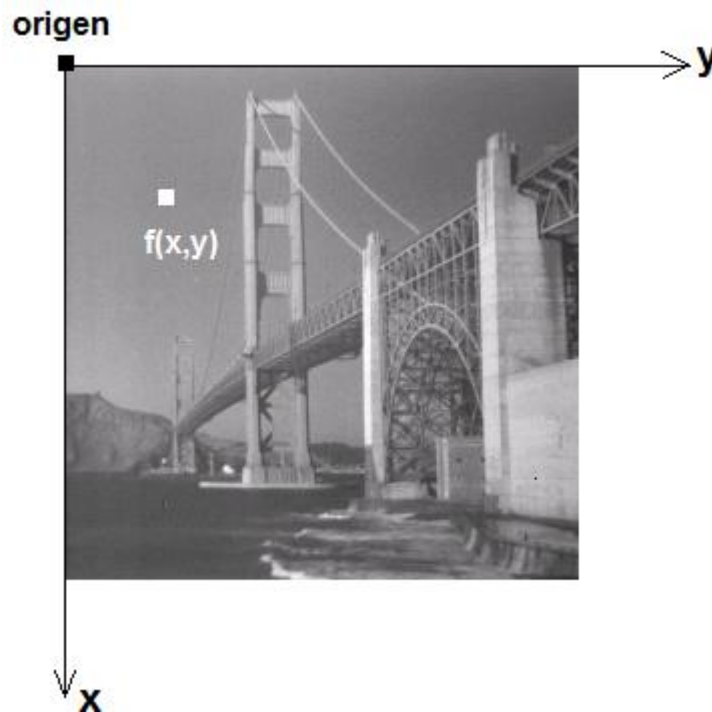
- **DIGITALIZACIÓN (digitization):**

- Digitalización de las coordenadas espaciales: **muestreo (sampling)**.

- Digitalización de la amplitud (niveles de gris): **cuantificación (quantification)**

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- **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

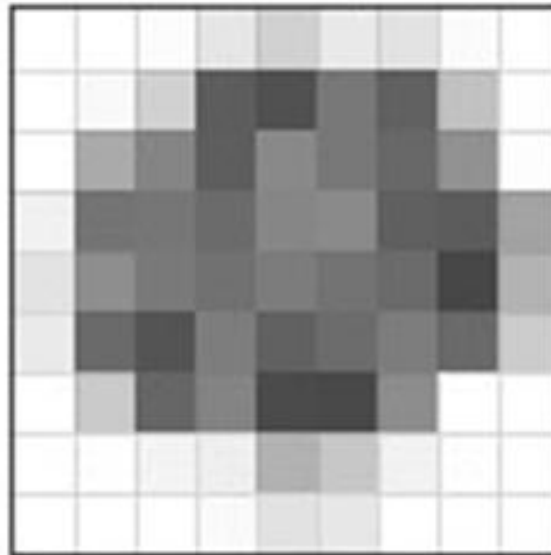
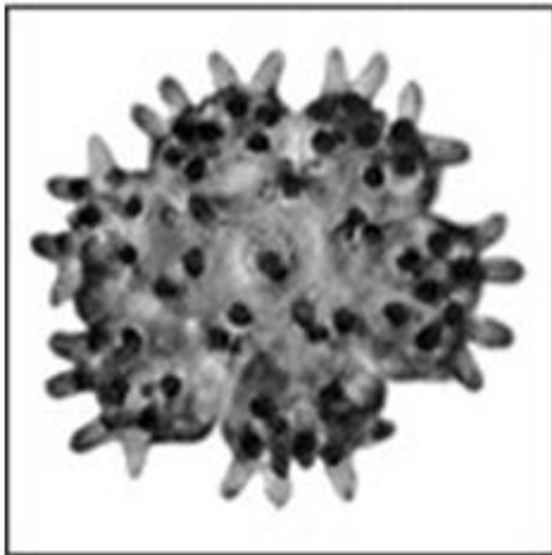
- **Cuantificación:** Proceso de discretización del color.

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

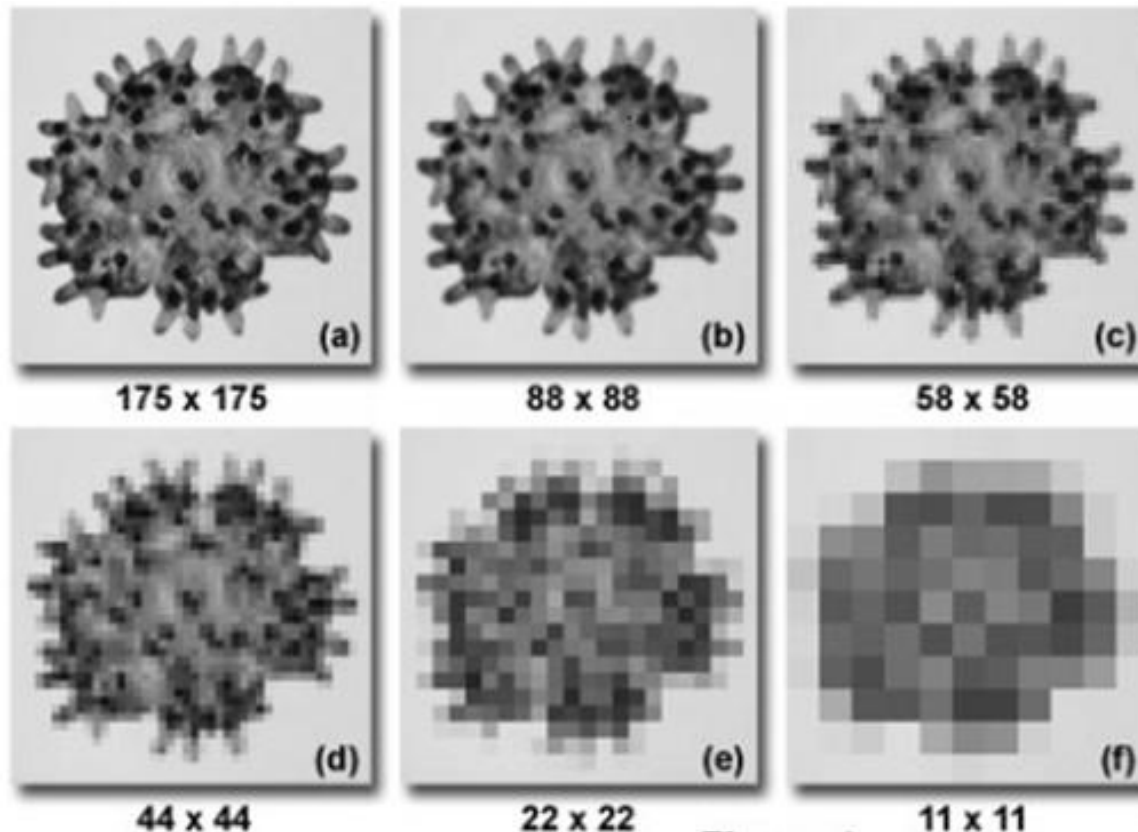
- El muestreo se ha hecho usando un mallado cuadrangular de 9 por 9 cuadrados y la cuantificación consiste en una paleta de 256 niveles de gris (donde 0 indica el color negro y 255 el color blanco):



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

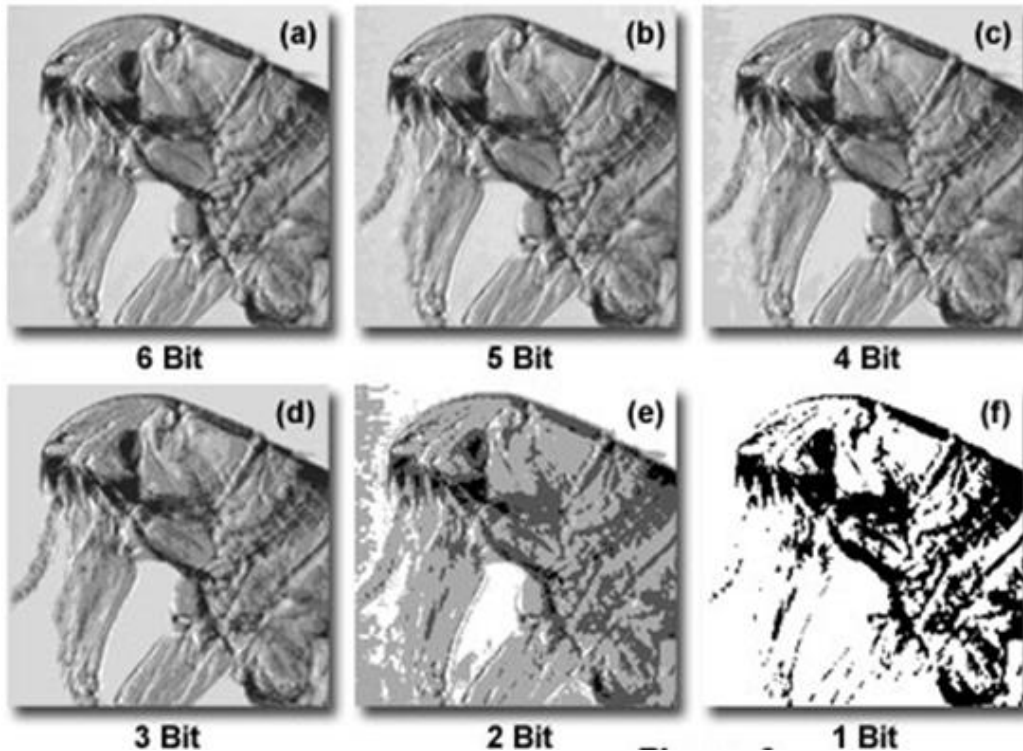
Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- 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

- 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

¿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

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

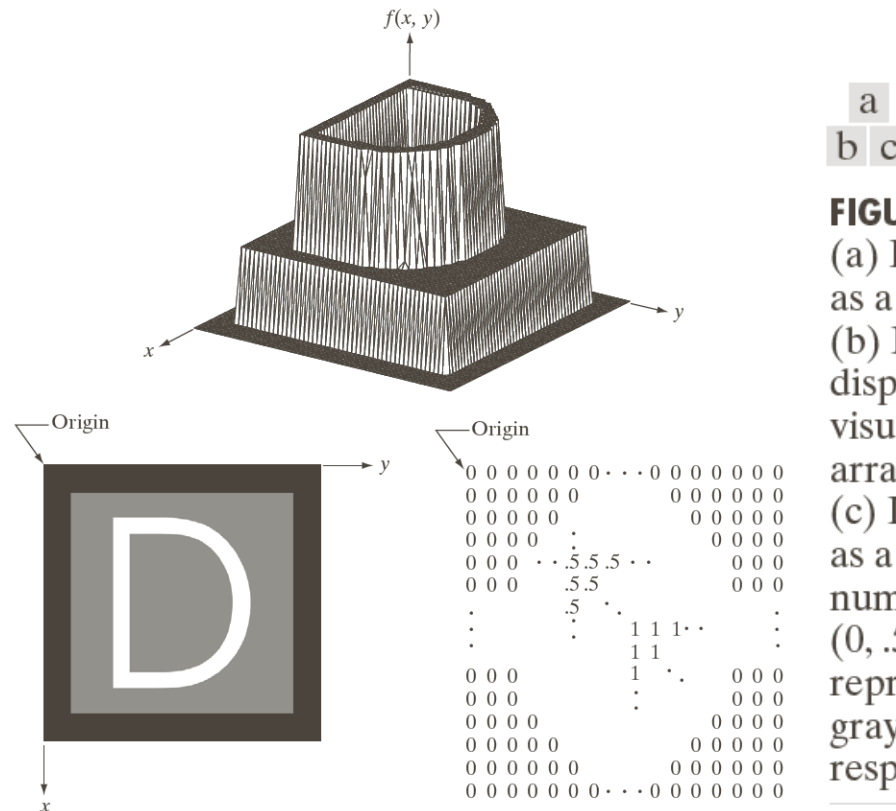


FIGURE 2.18
 (a) Image plotted as a surface.
 (b) Image displayed as a visual intensity array.
 (c) Image shown as a 2-D numerical array (0, .5, and 1 represent black, gray, and white, respectively).

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

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

-M
- N $\left. \vphantom{\begin{matrix} -M \\ -N \end{matrix}} \right\}$ 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

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

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



Practica:

- Carga una imagen en escala de grises. ¿Qué tipo de dato es?
- Visualiza la imagen con OpenCV.
- Visualiza la imagen con Matplotlib.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

1.2 Imágenes a color. Modelos de color

- 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

- 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

- **Modelos de color:**

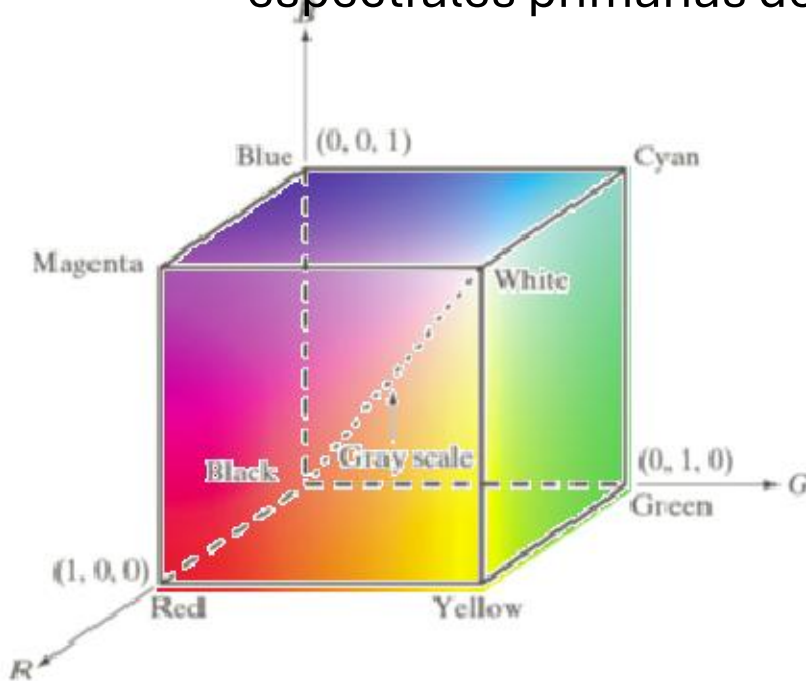
Un modelo de color es la especificación de un sistema de coordenadas tridimensional y de un subespacio de este sistema en el que cada color quede representado por un punto. Un espacio de color es una representación matemática del conjunto de colores que permite la especificación de un color de manera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

- Modelo RGB (gráficos por computador)
- Modelo CMY(K) (sistemas de impresión)
- Modelo YCbCr (compresión jpeg)
- Modelo HSV (procesamiento de las imágenes)

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- **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.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- **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

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

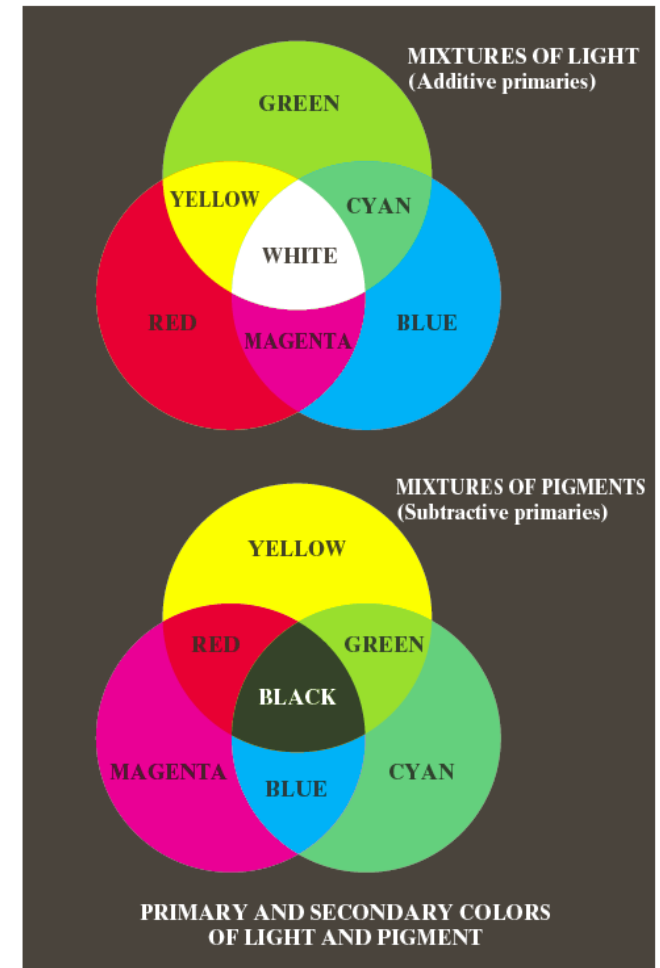
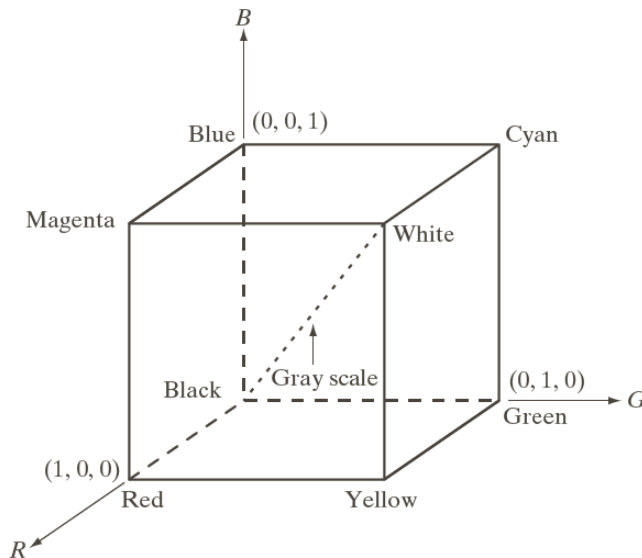
Practica:

Carga una imagen a color y separa los tres canales de la imagen para visualizarlos por separado.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

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

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



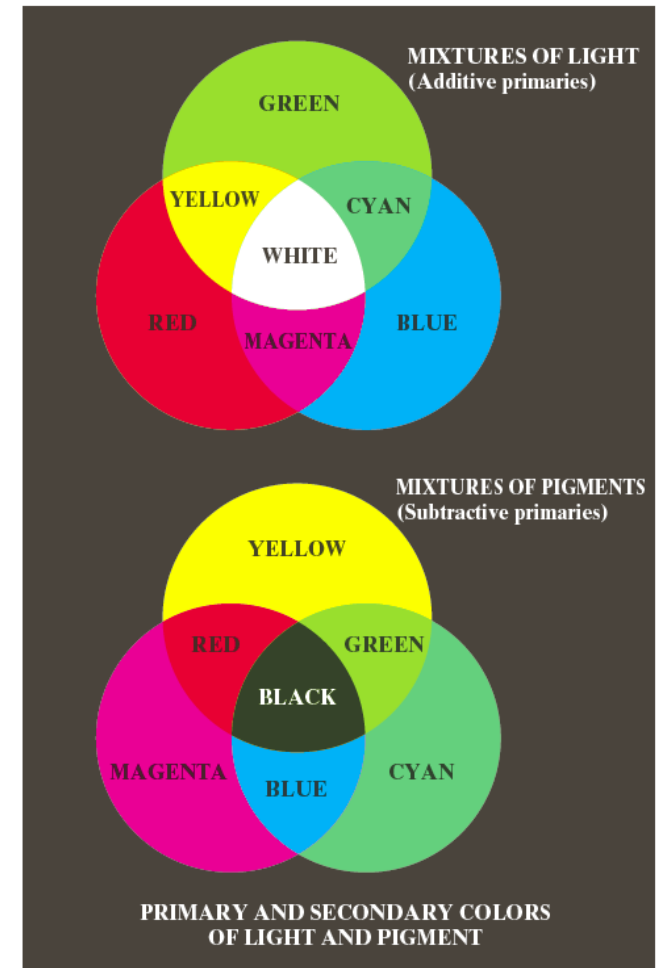
Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

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

La conversión viene dada por:

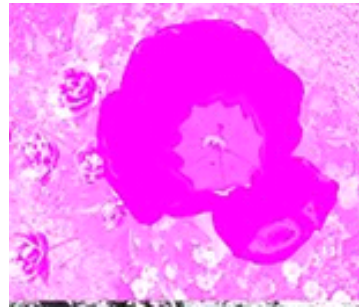
$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L \\ L \\ L \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix}$$

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



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- **Modelo de color CMY(K)**
(cian-magenta-yellow, K=black):



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- **Modelo de color YCbCr:**

El modelo YCbCr se usa en vídeo, sistemas de televisión y la compresión jpeg.

Componente Y = *luminancia*: medida de la cantidad de luz o brillo que se percibe.

Componentes Cb, Cr = *crominancia*: información del color.

Ventaja: la luminancia y la información del color están desacopladas. Así, la información del color puede reducirse (comprimirse) de manera que no sea perceptible al ojo humano (ya que detectamos más los cambios en la luminancia que en el color).

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- **Modelo de color YCbCr:**

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

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

Practica:

- Carga una imagen a color y pásala a escala de grises usando la fórmula anterior.
- Prueba a cargarla directamente en escala de grises e intenta ver si dan el mismo resultado.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

jupyter E1-Copy1 Last Checkpoint: hace 28 minutos (autosaved)



Logout

File Edit View Insert Cell Kernel Widgets Help

Trusted

Python 3

Run

Ejemplo:

leemos una imagen a color y visualizamos su estructura de matriz con triple entrada en cada posición.

```
In [1]: import cv2
import numpy as np

img = cv2.imread("mariajo.png")
print(img)
```

```
[[[199 205 200]
  [198 204 199]
  [197 203 198]
  ...
  [229 230 226]
  [229 230 226]
  [229 230 226]]

  [[199 205 200]
  [198 204 199]
  [197 203 198]
  ...
  [229 230 226]
  [229 230 226]
  [229 230 226]]]
```

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- **Modelo de color HSI:**

A la hora de procesar imágenes a color, el modelo RGB puede no ser el más eficiente ya que el brillo, intensidad o cantidad de luz se encuentra repartido en los tres canales.

En el modelo HSI los colores se representan por:

- Información de color:
 - su tono (Hue=H)
 - su saturación (Saturation=S)
- Información de la intensidad de luz:
 - Su valor de intensidad (I)

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- **Modelo de color HSI:**

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



diferentes tonalidades (color dominante)

S = 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.



variedades de saturación del color rojo

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- **Modelo de color HSI:**

I = intensidad: representa la iluminación o cantidad de luz percibida.

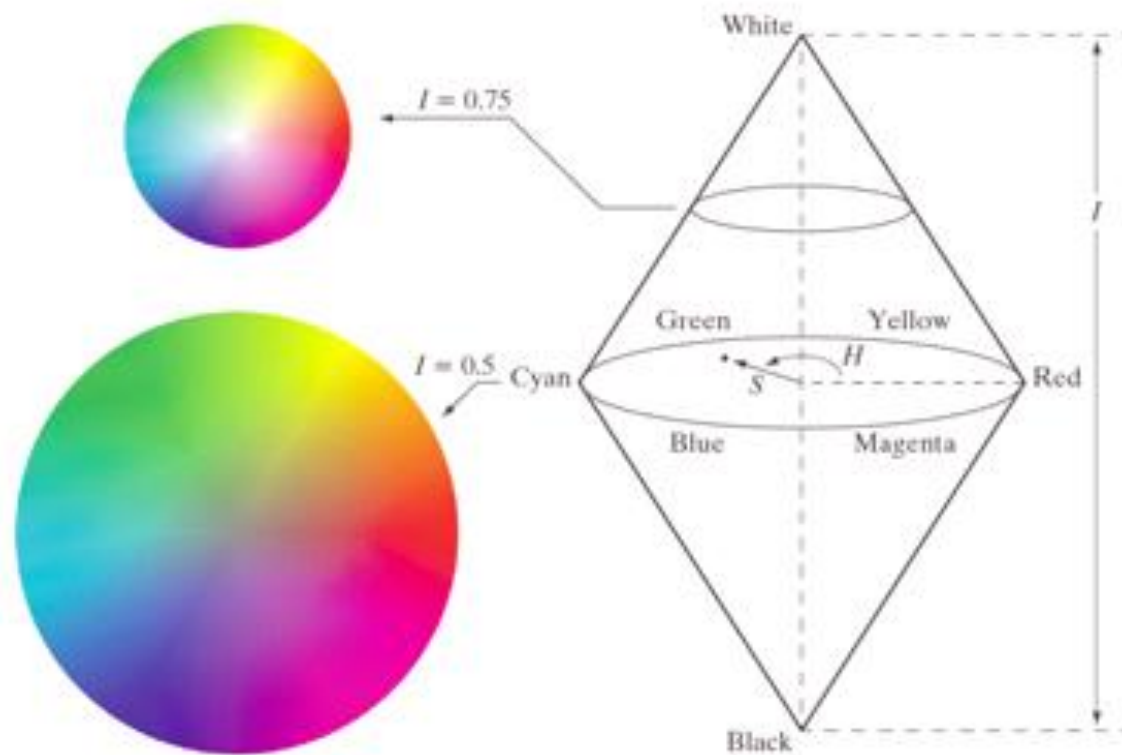


distintas intensidades

HSV, HSL son modelos de color similares .

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- **Modelo de color HSI:**



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- **Modelo de color HSI:**

Herramienta ideal para desarrollar algoritmos de procesamiento de imágenes a color en las que queremos procesar el color independientemente de la cantidad de luz.

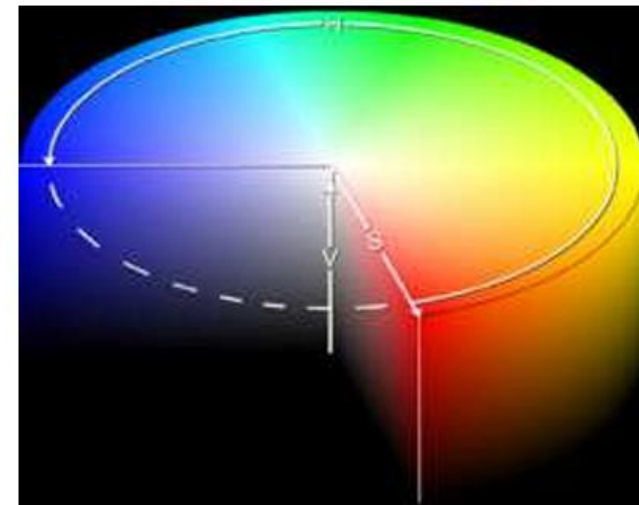
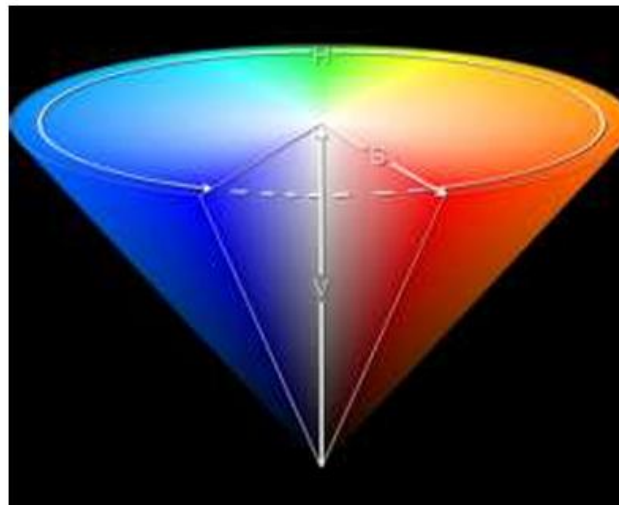
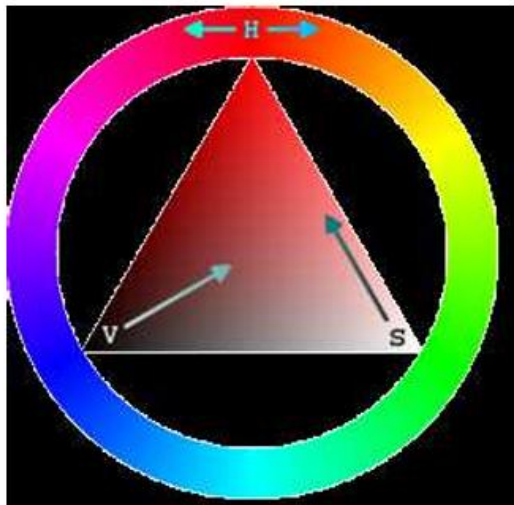
En la conversión de RGB a HSI, la componente I es fácil de calcular:

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

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- **Modelo de color HSV:**

Similar al HSI, pero) $V = \max(R, G, B)$

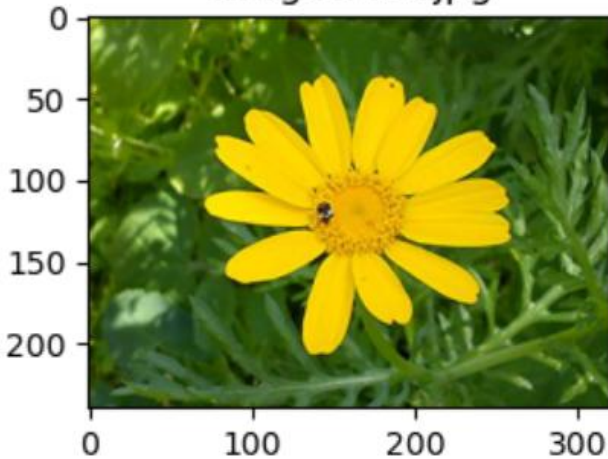


Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

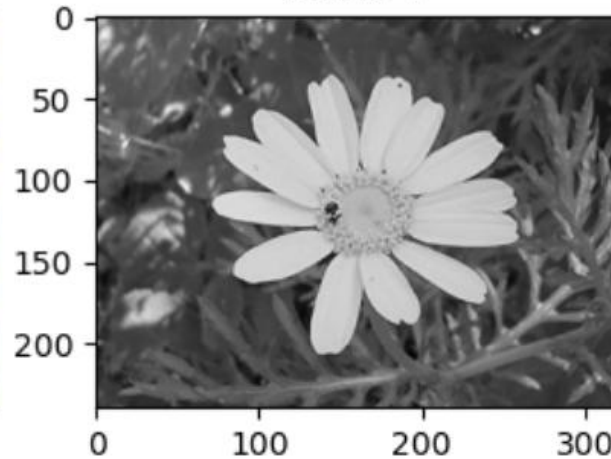


Practica:

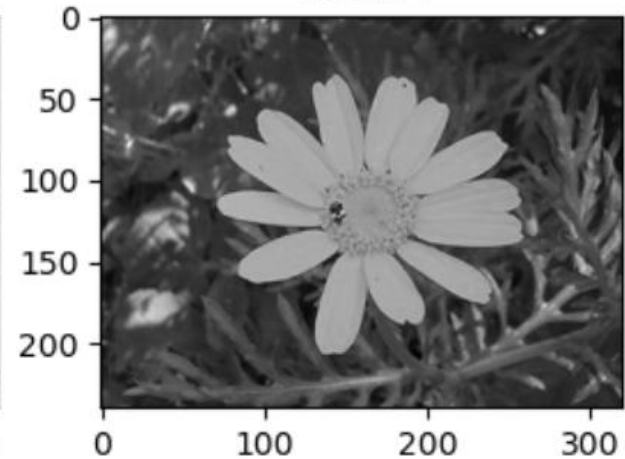
Imagen flor.jpg



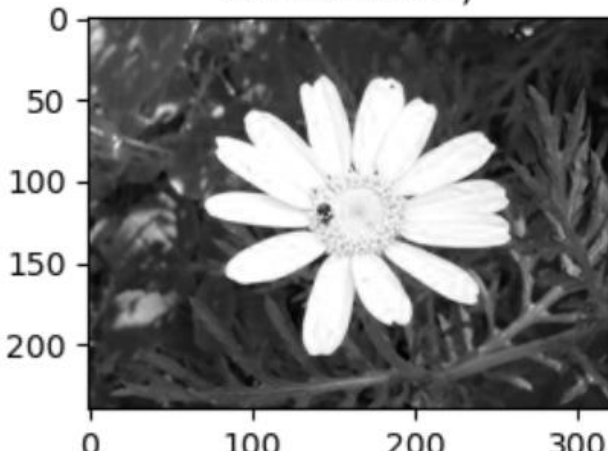
Canal Y



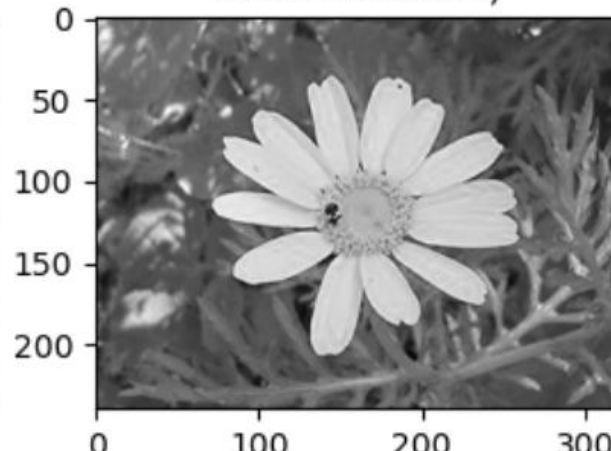
Canal I



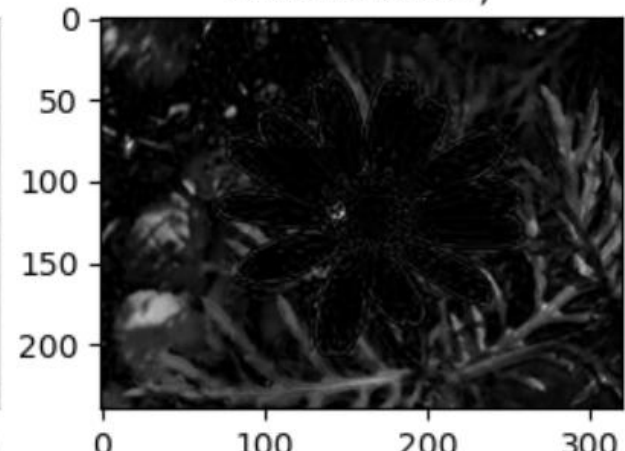
Red channel)



Green channel)



Blue channel)



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



1.3 Almacenamiento

35



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



- 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



- **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



- **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.

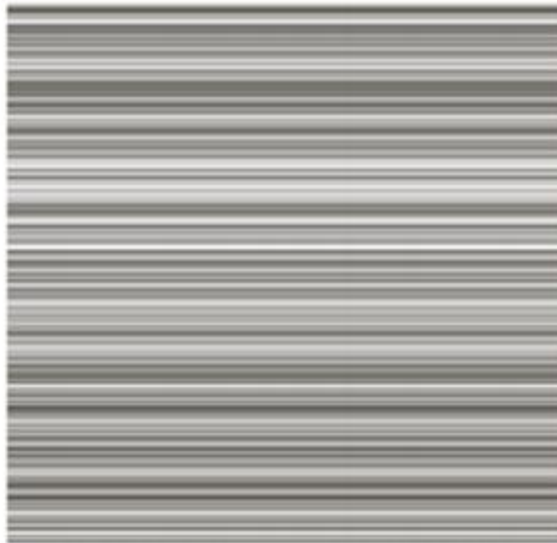
- **Redundancia entre píxeles:**

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



[128,127,128,128,129,...
...]

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



- 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.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



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)

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



CÓMO COMPRIMEN LOS FORMATOS DE IMÁGENES:

- **GIF:** usa el método LZW que resulta “rentable” cuando hay mucha redundancia entre píxeles. **SIN PÉRDIDA (para imágenes de 256 colores).**
- **PNG:** surgió para sustituir a GIF porque éste hacía uso del método de compresión LZW que estaba patentado. Usa otro algoritmo y también codificación de Huffman. **SIN PÉRDIDA.**
- **BMP:** formato **SIN PÉRDIDA** propiedad de Microsoft.

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



CÓMO COMPRIMEN LOS FORMATOS DE IMÁGENES:

- **JPG:** Usa la Transformada Discreta del Coseno; sus coeficientes se “redondean” y se anulan muchos de ellos (ahí se pierde información). El resultado se codifica usando código de Huffman y RLE. **CON PÉRDIDA.**
- **TIFF:** Puede tener compresión, **CON O SIN PÉRDIDA**, pero generalmente se usa sin compresión para imágenes de mucha calidad.

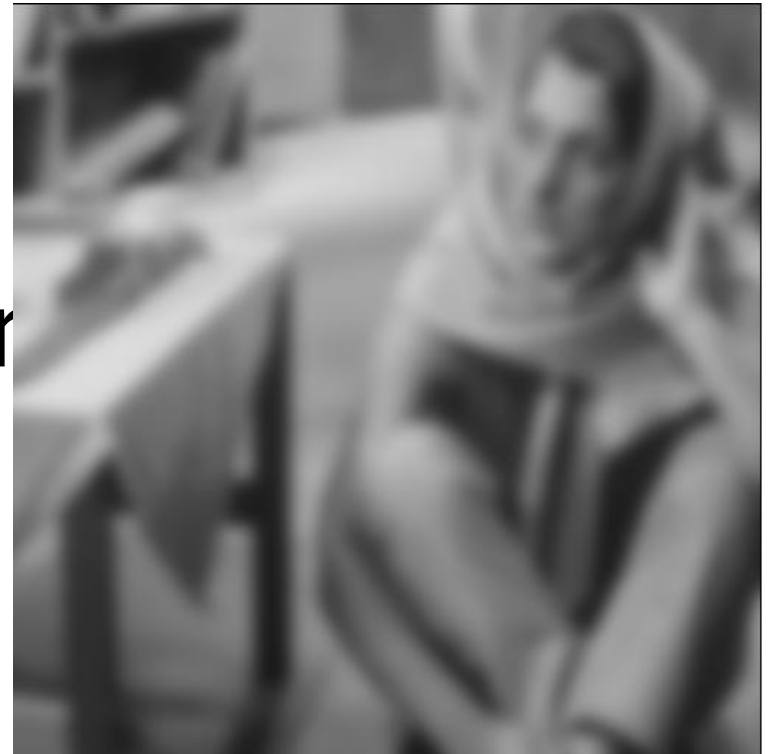
Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

1.4 Formas de operar sobre una imagen

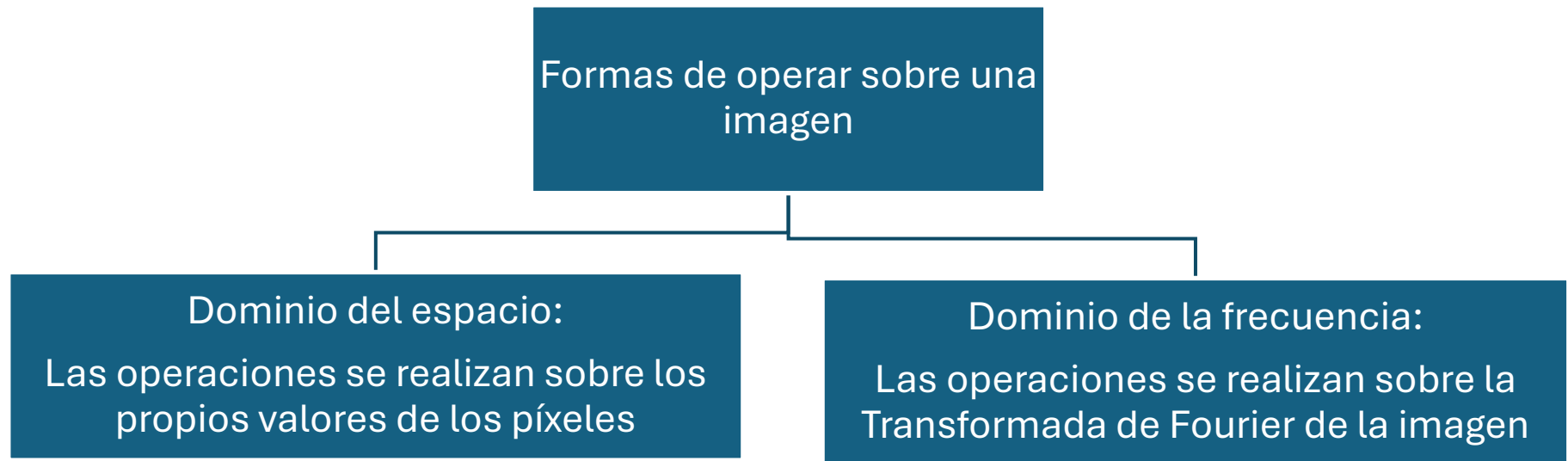
44



e oper
→



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- Dominio espacial

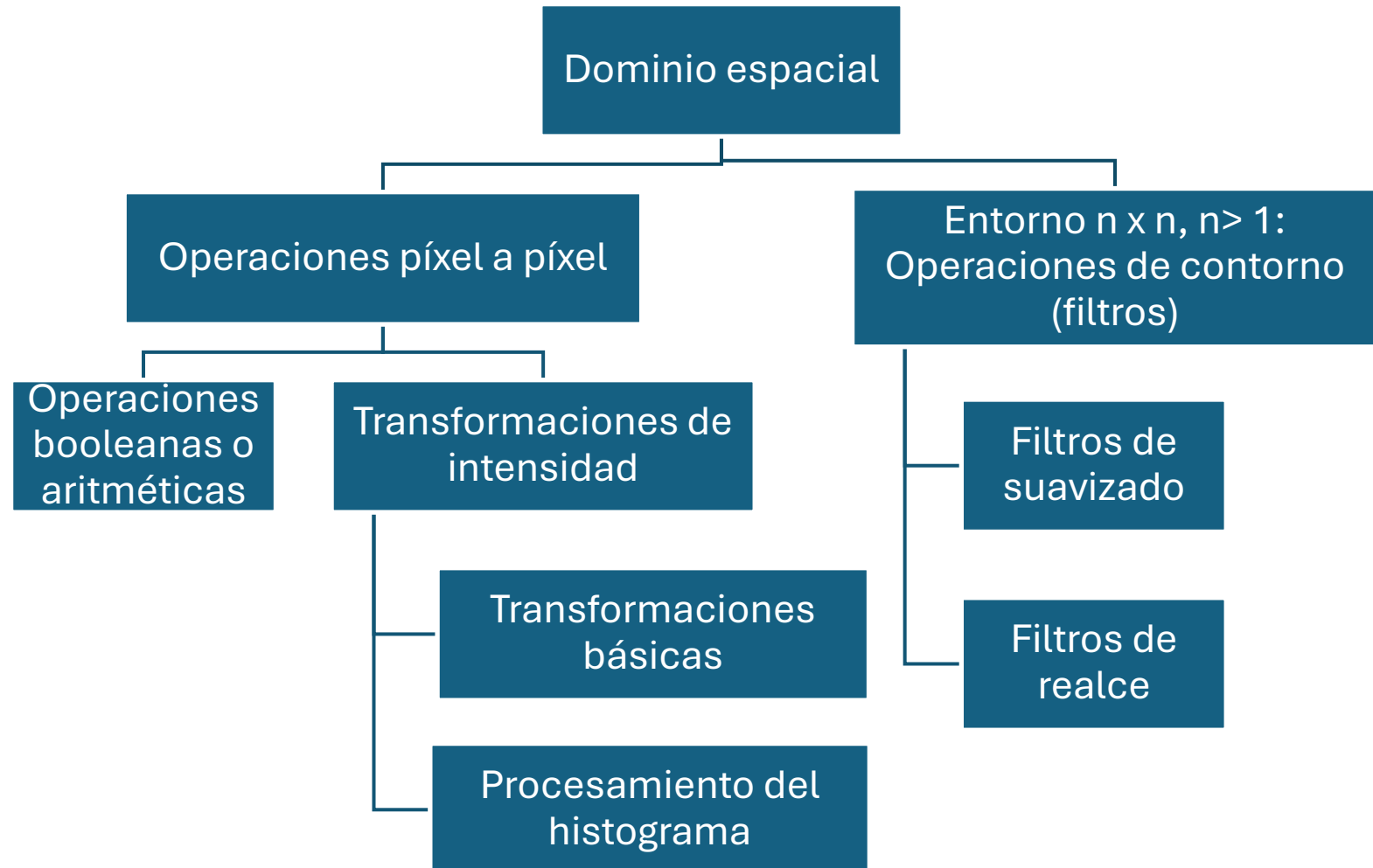
Se refiere a la imagen en sí misma. Los métodos en esta categoría están basados en la manipulación directa de los píxeles de la imagen.

- Dominio de la frecuencia

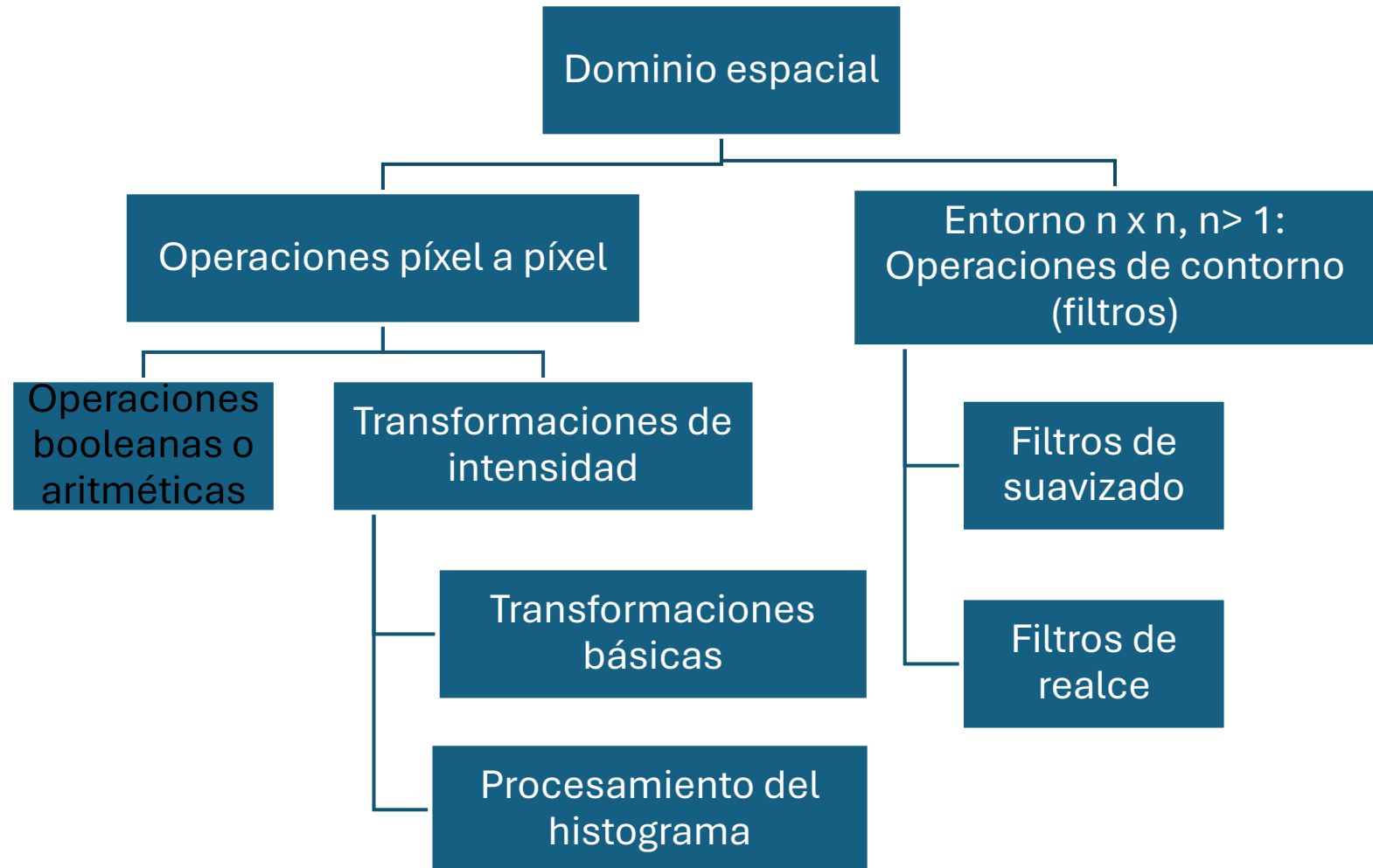
El procesamiento de la imagen se lleva a cabo en una **transformada de la imagen** (Transformada de Fourier) y, posteriormente, mediante la transformada inversa se obtienen los resultados.



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



- Operadores booleanos: and, or, xor, not

AND

A	B	Output
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



Imagen de
entrada
A

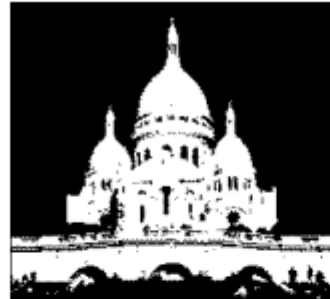


Imagen de
entrada
B



OR

A	B	Output
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

XOR

A	B	Output
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

A AND B



A OR B



A XOR B



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



- Operadores booleanos: and, or, xor, not

A



B



C



se suele llamar
máscara



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



- Operadores booleanos: and, or, xor, not



1. $T1 := B \text{ AND NOT } C$



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



- Operadores booleanos: and, or, xor, not



1. $T1 := B \text{ AND NOT } C$



2. $T2 := A \text{ AND } C$



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- Operadores booleanos: and, or, xor, not



1. $T1 := B \text{ AND NOT } C$



2. $T2 := A \text{ AND } C$



3. $R := T1 \text{ OR } T2$



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



- Operadores booleanos: and, or, xor, not

Practica:

- Usa las funciones de OpenCV `bitwise_and`, `bitwise_or`, `bitwise_xor`, y `bitwise_not`
- Aplícalos sobre dos imágenes sencillas binarias

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



- **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



- **Adición:** Reducción de ruido en una imagen mediante adición de imágenes con ruido (usado en fotografía nocturna o astrofotografía).

Sean:

- Imagen original $\mathbf{f(x,y)}$
- Imagen aleatoria (con ruido) $\mathbf{g(x,y)=f(x,y) + n(x,y)}$ tal que la intensidad de los píxeles de $n(x,y)$ son valores aleatorios no correlacionados y esperanza nula.
- $\{g_i(x,y)\}$ = conjunto de imágenes con ruido.
- Imagen promedio mediante la adición de las imágenes con ruido

$$\bar{g}(x,y) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K g_i(x,y)$$

Entonces,

$$\bar{g}(x,y) \rightarrow f(x,y) \text{ con } K \rightarrow \infty.$$

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

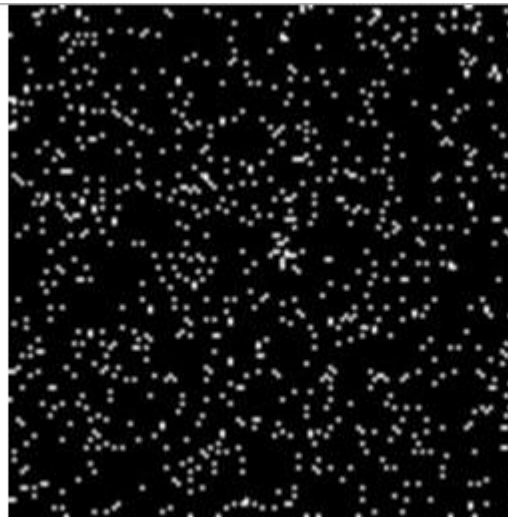


- **Adición:**



Imagen original

+



Ruido “sal y pimienta”

=



Imagen con ruido aditivo

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



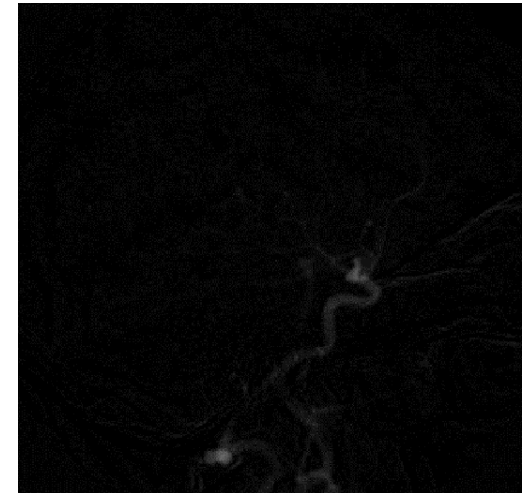
- **Sustracción:** Realce de diferencias entre imágenes. Ejemplo: Imagen médica.



-



=



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

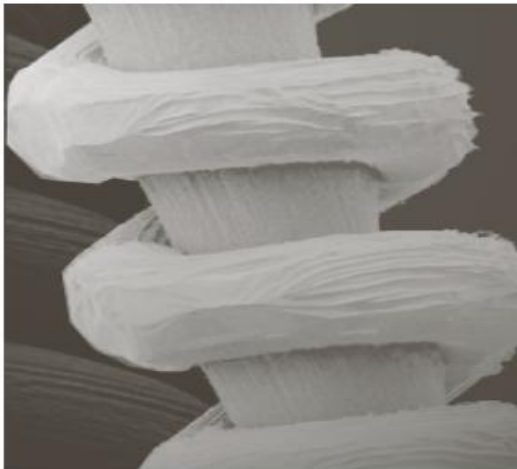
- **Sustracción:** Detección de movimiento entre imágenes de la misma escena.



Valor absoluto de la diferencia

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

- **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

- **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 $f(x,y)$ \times Máscara ROI $=$ Producto

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

Practica:

- Usa las funciones de OpenCV `add()`, `addWeighted()`. ¿Cuál es la diferencia con `+`?
- Usa `absdiff()`. ¿Cuál es la diferencia con restar `-`?
- Usa la función `divide()`. ¿Cuál es la diferencia con dividir `/`?

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

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

- Procesamiento píxel a píxel:

- Operación aritmética:

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

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

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

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales



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



Practica:

- Usa las funciones de OpenCV `converScaleAbs()` y `normalize()` sobre una imagen=matriz pequeña con valores que se salen del rango [0,255]. ¿Qué diferencia hay entre una y otra?
- Haz tú mismo/a las operaciones para llevar [A,B] en el [0, 255]:

$$((\text{imagen} - A)/(B-A)) * 255$$

Pasando después el resultado a tipo de dato `uint8`

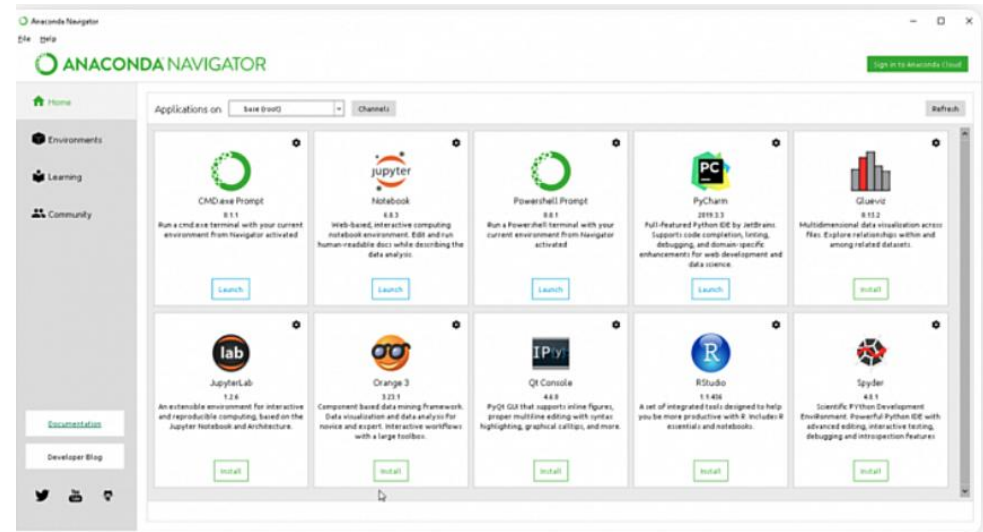
Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

Herramientas



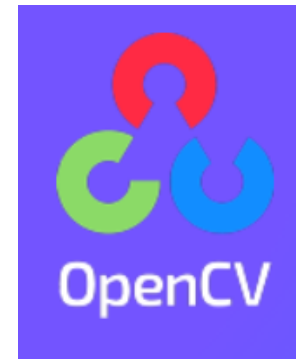
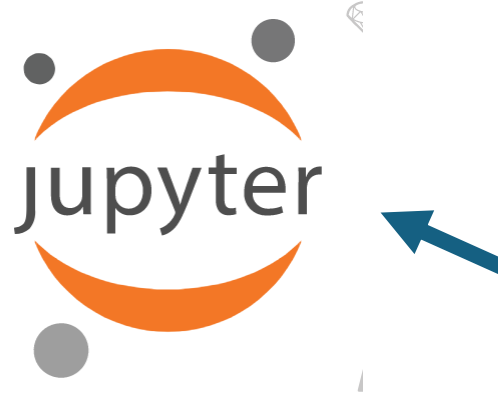
Python distribution platform

<https://www.anaconda.com/products/individual>



Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

Herramientas



https://docs.opencv.org/master/d6/d00/tutorial_py_root.html

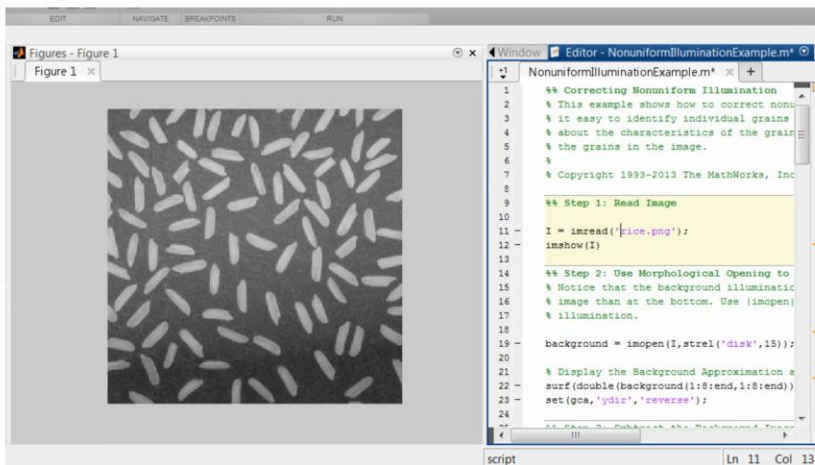
<https://numpy.org/doc/stable/>

Tema 1: Introducción a las imágenes digitales

Otras herramientas

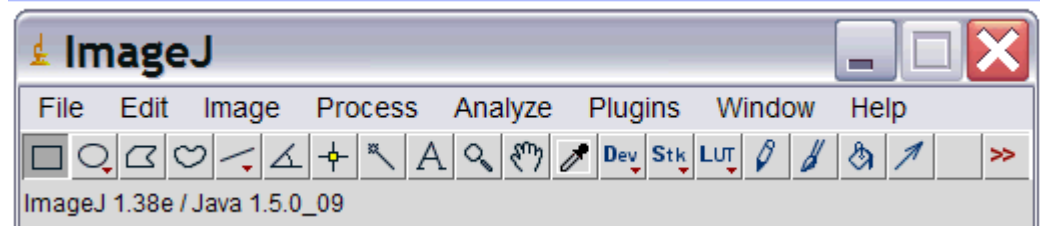
Matlab image processing toolbox:

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



ImageJ:

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



BIBLIOGRAFÍA

- R.C. González, R.E. Woods. *Digital Image Proccesing*, 4th edition. Pearson, 2018. **(La mayor parte de las imágenes han sido extraídas de esta publicación)**
- Mark S. Nixon, Alberto S. Aguado. *Feature Extraction and Image Processing for Computer Vision*. Elsevier, 2020.