

## Tema 1.- Introducción a la Visión Artificial

### Visión Artificial Avanzada

Prof. Dr. Nicolás Luis Fernández García

Departamento de Informática y Análisis Numérico  
Escuela Politécnica Superior  
Universidad de Córdoba

## Programa

### **Tema 1.- Introducción a la Visión Artificial**

Tema 2.- Dificultades en los procesos de reconocimiento 2D

Tema 3.- Dificultades y limitaciones asociadas al uso de la Visión 3D

## Programa

### 1 Imagen digital

## Imagen digital

### 1 Imagen digital

## Imagen digital

### Introducción

- 1 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

### Introducción

#### Tipos de imágenes según el dispositivo de captura (1/3)

##### Imágenes formadas por

- **La luz visible:** capturadas por una cámara fotográfica, de vídeo o de TV.
- **Sensores de rango:** generan una imagen a partir de la distancia de los objetos.
- **Rayos infrarrojos:** permiten la visión nocturna.
- **Rayos ultravioleta:** espectrograma (fotografía de un espectro luminoso).
- **Campos magnéticos:** resonancia magnética

## Imagen digital

### Introducción

#### Tipos de imágenes según el dispositivo de captura (2/3)

##### Imágenes formadas a partir de

- **Ultrasonidos**
  - **Ecografía**: reflexión de las ondas sonoras con partes del cuerpo.
  - **Ecocardiograma**: utiliza ondas ultrasonoras de alta frecuencia.
- **Radiación de rayos X**:
  - **Radiografía**
  - **Radioscopia** (fluoroscopia): exploración continua con rayos X que muestra el movimiento del corazón y los pulmones.
  - **Tomografía computarizada**: crea imágenes transversales (y 3D) utilizando los rayos X y muestra la ubicación exacta de las anomalías.
  - **Angiografía**: se inyecta un líquido para explorar la circulación sanguínea.

## Imagen digital

### Introducción

#### Tipos de imágenes según el dispositivo de captura (3/3)

##### Imágenes formadas a partir de

- **Impulsos eléctricos**
  - **Electrocardiograma:** amplifica los impulsos eléctricos del corazón y se registran en un papel en movimiento.
  - **Electroencefalograma:** imagen formada a partir de los impulsos eléctricos de electrodos colocados sobre el cuero cabelludo para analizar la actividad cerebral.
- **Isótopos radiactivos:** los indicadores se reparten por todo el cuerpo y se detectan con una gammacámara.
  - **Tomografía computarizada por emisión de fotones simples.**
  - **Tomografía por emisión de positrones:** se inyecta una sustancia en la sangre que se desplaza hasta las estructuras cerebrales que permite medir la actividad que desarrolla el cerebro.



## Imagen digital

### Introducción

#### Modelización de las imágenes

- Las **imágenes** se puede modelar por una **función continua** de dos o tres **variables**.
  - **Imágenes estáticas**: los dos argumentos de la función son las coordenadas  $(x,y)$  del plano cartesiano
  - **Imágenes dinámicas**: se necesita una tercera coordenada  $t$  que especifica el tiempo.
- **Valores** de la función:
  - Luminosidad, brillo o intensidad de la radiación de los puntos de la imagen.
  - También pueden representar temperatura, presión, distancia al observador, etc.

## Imagen digital

### Definición

- 1 Imagen digital
  - Introducción
  - **Definición**
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

### Definición

#### Definición (Imagen digital)

- *Una imagen digital es una función **discreta** que representa la **proyección** de una imagen real (continua).*

## Imagen digital

### Definición

#### Tipos de resoluciones en una imagen digital

- **Resolución espacial** (**muestreo**): número de puntos de la imagen discreta
- **Resolución espectral**: número de bandas de la imagen discreta
  - Imagen monocromática: 1 banda
  - Imagen en color: 3 bandas
  - Imagen multiespectral: n bandas
- **Resolución radiométrica** (**cuantización**): número de valores o niveles diferentes que puede tomar en cada banda
- **Resolución temporal**: intervalo de tiempo entre muestras consecutivas

## Imagen digital

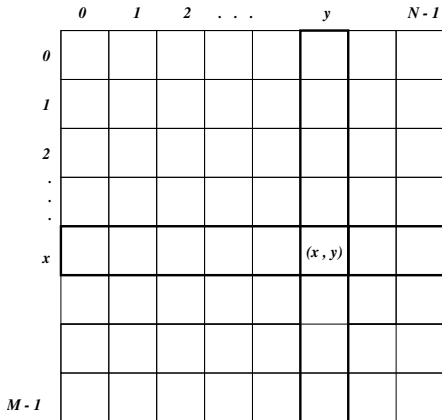
### Definición

#### Definición (Representación de una imagen digital)

- **Matriz** rectangular de  $M$  filas y  $N$  columnas
- Cada posición  $(x, y)$ 
  - Representa un **punto** o pixel (picture element) de la imagen.
  - Tiene asociada el nivel de **gris** o los niveles de **color** de dicho punto.

## Imagen digital

### Definición



### Estructura de una imagen digital

## Imagen digital

### Concepto de imagen digital monocroma

- 1 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - **Concepto de imagen digital monocroma**
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multispectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

Concepto de imagen digital monocroma

### Definición (Imagen digital monocroma)

- $f$ : *función bidimensional de intensidad de luz*
- $(x, y)$ : *coordenadas espaciales de un punto de la imagen*
- $f(x, y)$ : *valor de la función de intensidad lumínica en el punto  $(x, y)$ .*
- *La intensidad lumínica también se denomina **nivel de gris***



## Imagen digital

Concepto de imagen digital monocroma

### Definición (Intensidad lumínica)

- $f(x, y)$  es una forma de **energía** donde

$$0 < f(x, y) = i(x, y)r(x, y) < \infty$$

- $i(x, y)$ : **iluminación** o intensidad de la luz incidente en la imagen

$$0 < i(x, y) < \infty$$

- $r(x, y)$ : **reflectancia** o proporción de la luz reflejada por los objetos

$$0 < r(x, y) < 1$$

(0: absorción total; 1: reflectancia total).

## Imagen digital

Concepto de imagen digital monocroma

### Nota (Niveles de gris)

$$G_{min} \leq f(x, y) = g \leq G_{max}$$

*Generalmente*

- $G_{min} = 0$  (*negro*)
- $G_{max} = 255$  (*blanco*)

## Imagen digital

### Muestreo

- 1 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - **Muestreo**
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

### Muestreo

#### Definición (Resolución espacial, muestreo o **sampling**)

- *Imagen **real**: imagen **continua** con infinitos puntos.*
- *Imagen **digital**: imagen **discreta** con un número finito de puntos.*
- *Conversión **analógico** - **digital**: se recorre la imagen real “fila a fila” y selecciona un número concreto de puntos de cada fila.*
- ***Resolución espacial** de la imagen digital: número de filas ( $M$ ) y de puntos por cada fila ( $N$ ).*
- *El **muestreo** genera una matriz o rejilla de  $M \times N$  puntos igualmente espaciados que representan la imagen discreta.*

## Imagen digital

### Muestreo

#### Muestreo de una imagen digital de $M \times N$ puntos

$$\begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \dots & f(0, N - 1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \dots & f(1, N - 1) \\ \vdots & & & \\ f(M - 1, 0) & f(M - 1, 1) & \dots & f(M - 1, N - 1) \end{bmatrix}$$

- $(x, y)$ : coordenadas espaciales de un punto
- $f(x, y)$ : nivel de gris de dicho punto.

## Imagen digital

Muestreo



$256 \times 256$



$182 \times 128$



$64 \times 64$



$32 \times 32$

Imagen con diferentes resoluciones

## Imagen digital

### Cuantificación

- 1 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - **Cuantificación**
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

### Cuantificación

#### Definición (Cuantificación de los niveles de gris *quantization*)

- También se denomina *resolución radiométrica*
- Consiste en asignar un valor **discreto** de intensidad luminosa (o nivel de gris) a cada uno de los puntos de la imagen.
- **Rango finito** de niveles de gris: determinado por el **número de bits** utilizados

$$G = 2^b$$

donde  $b$  representa el número de bits disponibles para almacenar un valor.

normalmente

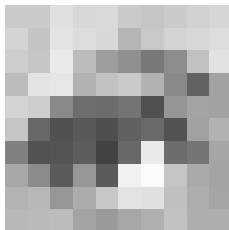
$b = 8$  **bits** (1 **byte**),  $G = 2^b = 256$  y  $g \in [0, G - 1]$



## Imagen digital

### Cuantificación

Imagen



Niveles de gris

202	202	224	216	217	202	197	202	209	214
212	196	227	220	216	181	200	211	215	22
205	198	234	188	157	143	121	141	193	226
188	227	230	178	194	202	178	137	99	162
211	206	137	110	108	116	80	149	163	161
197	104	81	89	79	96	105	82	161	178
128	82	84	93	67	104	234	109	117	165
167	139	91	150	91	241	251	197	169	164
179	184	150	172	199	227	224	192	174	165
184	186	188	163	153	167	176	194	174	174

## Imagen digital

### Cuantificación



64 niveles



16 niveles



4 niveles



2 niveles

Imagen con diferentes “cuantificaciones” de los niveles de gris

## Imagen digital

### Concepto de imagen digital multiespectral

- 1 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - **Concepto de imagen digital multiespectral**
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

Concepto de imagen digital multiespectral

### Definición (Imagen digital multiespectral)

- **Función vectorial** con tantas componentes como bandas o planos tenga la imagen

$$\vec{f}(x, y) = (f_1(x, y), f_2(x, y), \dots, f_n(x, y))$$

- Las **imágenes en color** tienen **tres bandas**, que dependen del **espacio de color**<sup>a</sup>.
- El espacio de color más popular es **RGB**

$$\vec{f}(x, y) = (\text{rojo}(x, y), \text{verde}(x, y), \text{azul}(x, y))$$

---

<sup>a</sup>Más adelante se describirán los espacios de color

## Imagen digital

Concepto de imagen digital multiespectral

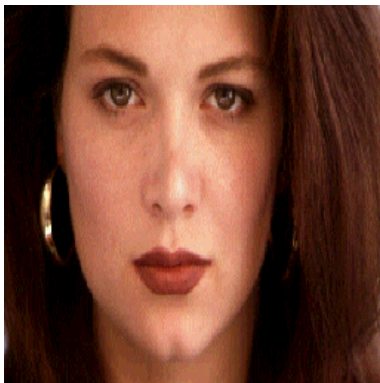


Imagen en color

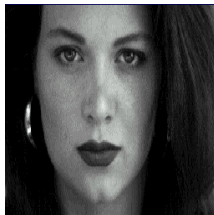
## Imagen digital

Concepto de imagen digital multiespectral

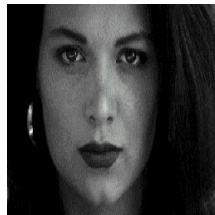
Planos de color de una imagen con formato RGB



Plano rojo



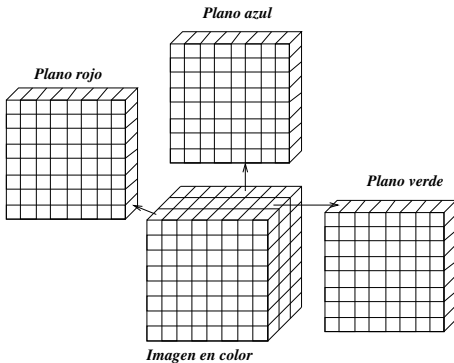
Plano verde



Plano azul

## Imagen digital

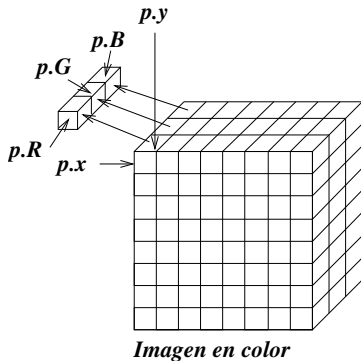
Concepto de imagen digital multiespectral



Estructura de una imagen en color con formato RGB

## Imagen digital

Concepto de imagen digital multispectral



Punto o *pixel* de una imagen en color con formato RGB



## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital

- 1 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - **Vecindad entre puntos de una imagen digital**
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital

### Definición (Vecindad entre puntos de una imagen digital)

- Cada punto  $P$  establece una **relación de vecindad o adyacencia** con los puntos que le rodean.
- Tipos de vecindad:
  - **Vecindad de orden 4:** sus dos vecinos horizontales y dos vecinos verticales
  - **Vecindad de orden 8:** sus ocho vecinos que lo rodean, dos horizontales, dos verticales y cuatro diagonales
- Los vecinos de orden 4 se denominan  $V_4(p)$
- Los cuatro vecinos diagonales se denominan  $V_D(p)$ .
- **Observacion:** si un punto está en los límites de la imagen, el vecindario se reduce.

## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital

	$(x-1, y)$	
$(x, y-1)$	$(x, y)$	$(x, y+1)$
	$(x+1, y)$	

Vecindad de orden 4

$(x-1, y-1)$	$(x-1, y)$	$(x-1, y+1)$
$(x, y-1)$	$(x, y)$	$(x, y+1)$
$(x+1, y-1)$	$(x+1, y)$	$(x+1, y+1)$

Vecindad de orden 8

## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital

### Definición (Conectividad entre puntos)

- *Dos puntos son **conexos** si tienen una determinada **propiedad** con un **valor similar**.*
- *Permite delimitar los **contornos** de los objetos*
- **Tipos de conectividad**
  - *Conectividad por **distancia**: dos puntos  $P$  y  $Q$  son conexos si la distancia entre ellos es menor que un determinado valor.*
  - *Conectividad por **vecindad** y **similitud**: dos puntos  $P$  y  $Q$  son conexos si*
    - *Poseen una relación de vecindad de orden 4 u 8*
    - *Poseen unas características similares (intensidad, color, textura, etc.)*

## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital

### Definición (Distancia entre puntos de una imagen digital)

- **D** es una función de **distancia** si:

$$\left\{ \begin{array}{l} D(P_1, P_2) \geq 0; \quad D(P_1, P_2) = 0 \iff p_1 = p_2 \\ D(P_1, P_2) = D(P_2, P_1) \\ D(P_1, P_3) \leq D(P_1, P_2) + D(P_2, P_3) \end{array} \right.$$

donde  $P_1, P_2$  y  $P_3$  son tres puntos de la imagen.

## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital

### Tipos de distancias

- **Euclídea:**

Distancia en línea recta entre dos puntos (también denominada  $D_2$ )

- **Manhattan** o de **la ciudad de los bloques** o  $D_4$  (también denominada  $D_1$ )

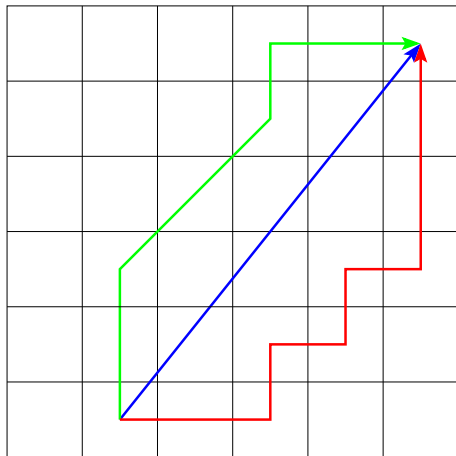
Representa el número mínimo de pasos en dirección vertical u horizontal necesarios para ir desde un punto  $P_1$  hasta otro  $P_2$

- **Tablero de ajedrez** o de **Tchebychev** o  $D_8$  (también denominada  $D_\infty$ )

Permite movimientos diagonales, además de los verticales y horizontales.

## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital



Distancia euclídea

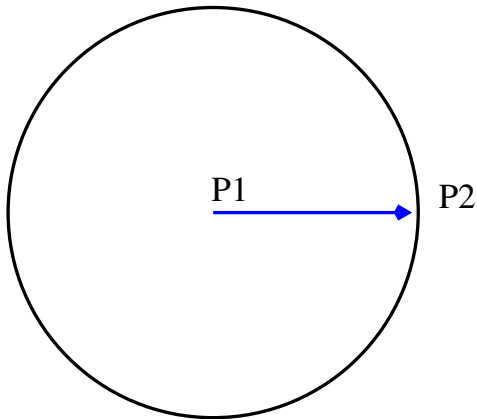
Distancia de Manhattan

Distancia del tablero de ajedrez

Distancias entre dos puntos

## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital

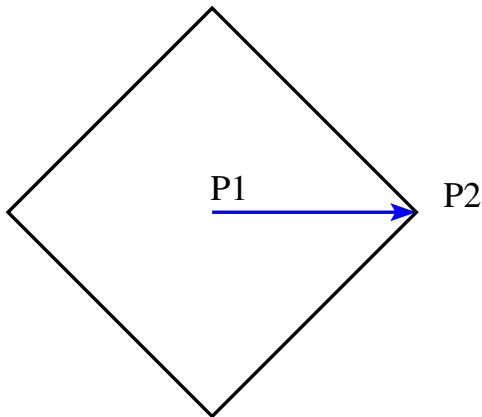


Distancia euclídea:  $D_2(P_1, P_2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$



## Imagen digital

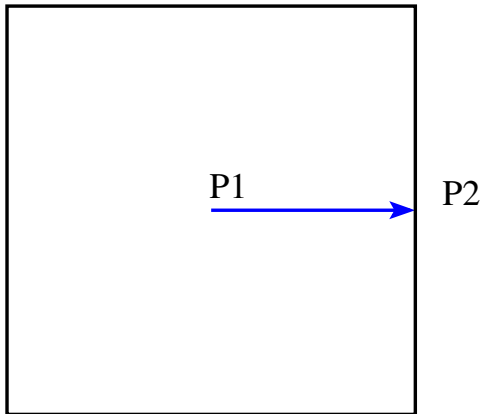
Vecindad entre puntos de una imagen digital



Distancia de Manhattan:  $D_4(p_1, p_2) = |x_2 - x_1| + |y_2 - y_1|$

## Imagen digital

Vecindad entre puntos de una imagen digital



Distancia del tablero de ajedrez:  $D_8(p_1, p_2) = \max(|x_2 - x_1|, |y_2 - y_1|)$

## Imagen digital

### Convolución digital

- 1 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - **Convolución digital**
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

### Convolución digital

#### Definición (Máscara digital)

- También denominada *ventana, filtro o plantilla*
- **Características**
  - **Matriz** que representa una imagen digital de tamaño reducido y rectangular (generalmente, cuadrada)
  - **Coefficientes:** valores de los puntos que la máscara
  - **Dimensión:** producto del número de filas por el de columnas

## Imagen digital

Convolución digital

$w1$	$w2$	$w3$
$w4$	$w5$	$w6$
$w7$	$w8$	$w9$

Ejemplo de máscara de dimensión  $3 \times 3$

## Imagen digital

### Convolución digital

#### Definición (Convolución digital)

- Se **superpone** la *máscara* sobre cada *vecindario* de cada punto
- Y se realiza la siguiente *operación aritmética*:

$$C = \sum_{i=1}^9 (z_i * w_i) = z_1 * w_1 + z_2 * w_2 + \dots + z_9 * w_9$$

- El *resultado* se **asigna** al *punto central* del vecindario.

## Imagen digital

### Convolución digital

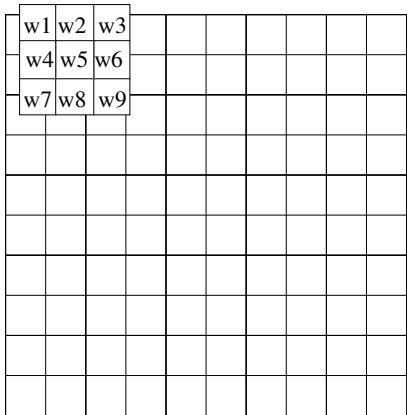
		$z1$	$z2$	$z3$	
		$z4$	$z5$	$z6$	
		$z7$	$z8$	$z9$	

$w1$	$w2$	$w3$
$w4$	$w5$	$w6$
$w7$	$w8$	$w9$

Vecindario al que se aplicará una máscara de convolución.

## Imagen digital

### Convolución digital

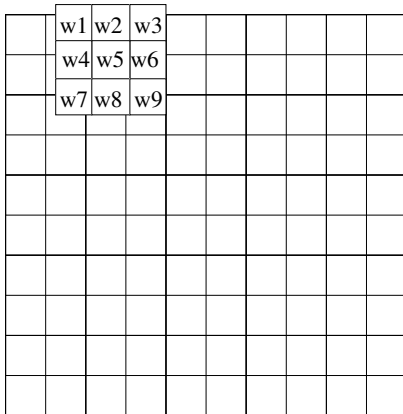


Paso 1 de una convolución



## Imagen digital

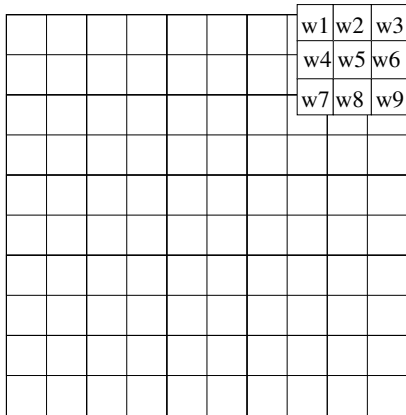
### Convolución digital



Paso 2 de una convolución

## Imagen digital

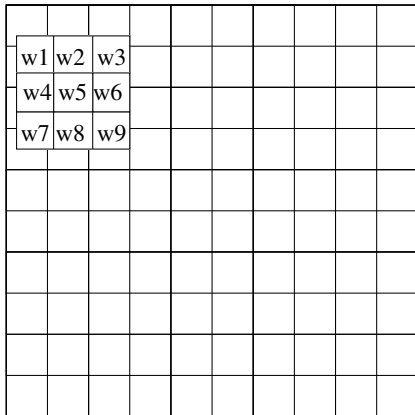
### Convolución digital



Paso n de una convolución

## Imagen digital

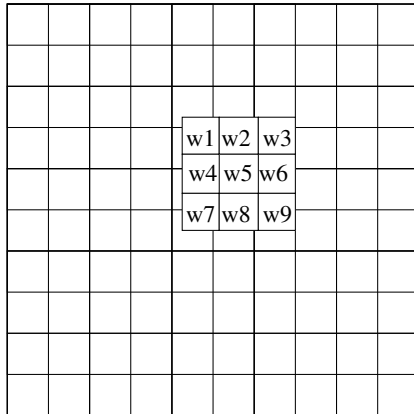
### Convolución digital



Paso fila de una convolución

## Imagen digital

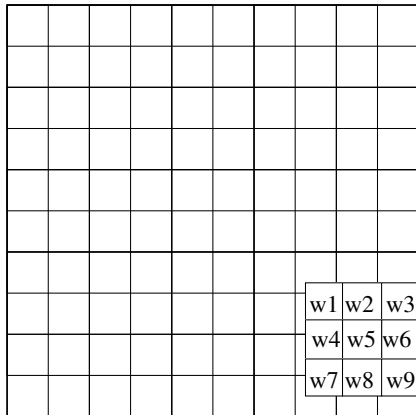
### Convolución digital



Paso medio de una convolución

## Imagen digital

### Convolución digital



Paso final de una convolución

## Imagen digital

### Histograma de niveles de gris

- 1 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - **Histograma de niveles de gris**
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

### Histograma de niveles de gris

#### Definición (Histograma de los niveles de gris)

- Eje de *abscisas*: posibles niveles de gris de la imagen
- Eje de *ordenadas*: número de puntos que tienen un determinado nivel de gris (*frecuencia absoluta*)

## Imagen digital

### Histograma de niveles de gris

#### Nota (Histograma de los niveles de gris “normalizado”)

Se suele *normalizar* el histograma entre 0 y 1 dividiendo la frecuencia absoluta de cada nivel de gris entre el número total de puntos de la imagen, con lo que se obtiene la *frecuencia relativa*.



## Imagen digital

### Histograma de niveles de gris

**Definición** (Histograma “normalizado” de niveles de gris)

$$h(g) = \frac{n_g}{n}$$

*donde*

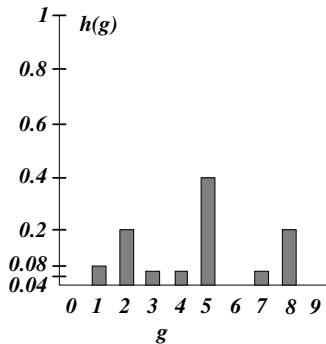
- **G**: número máximo de niveles de gris (generalmente, 256).
- **g**  $\in [0, G - 1]$ : nivel de gris (0: negro,  $G - 1$ : blanco)
- **I**: imagen de  $n = M \times N$  puntos
- **f(x, y)**: nivel de gris en el punto  $(x, y) \in I$ .
- **n<sub>g</sub>**: número de puntos de la imagen que tienen un nivel de gris igual a  $g$ .

## Imagen digital

Histograma de niveles de gris

5	1	5	2	2
3	5	7	5	5
5	8	5	2	2
4	1	2	5	8
8	5	8	8	5

(a) Imagen



(b) Histograma

## Imagen digital

### Histograma de niveles de gris

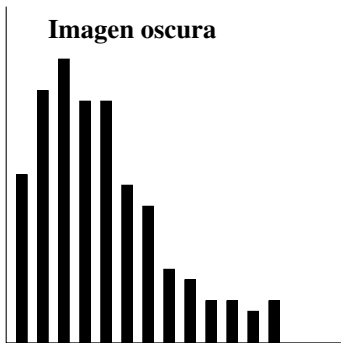
#### Histograma: análisis

- Permite **analizar** la imagen utilizando la **distribución** de los niveles de gris.
- Distribución **acumulada** en valores cercanos al nivel gris
  - 0: imagen oscura.
  - $G - 1$ : imagen con luminosidad
- **Contraste**: rango de valores del historigrama
  - Grande: imagen con un contraste alto
  - Pequeño: imagen con poco contraste
- **Número de objetos**: número de máximo locales (acumulaciones).

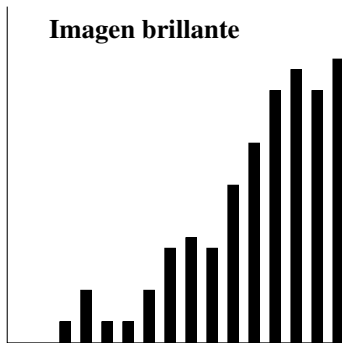
## Imagen digital

Histograma de niveles de gris

### Histogramas



(a) Imagen oscura

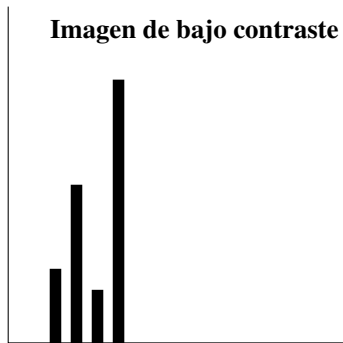


(b) Imagen brillante

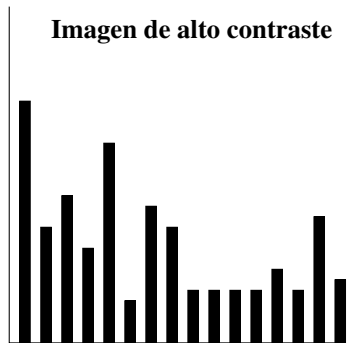
## Imagen digital

Histograma de niveles de gris

### Histogramas



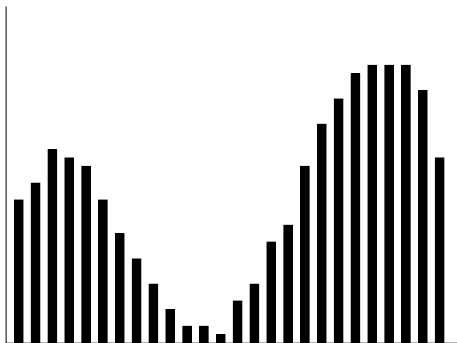
(a) Contraste bajo



(b) Contraste alto

## Imagen digital

Histograma de niveles de gris



Histograma de una imagen con un objeto diferenciado del fondo

## Imagen digital

Operaciones sobre los puntos de la imagen

- 1 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

Operaciones sobre los puntos de la imagen

### Definición (Operaciones sobre los puntos de la imagen)

- **Operaciones puntuales:** *se modifica el nivel de gris de un punto teniendo en cuenta sólo su nivel de gris*
- **Operaciones locales:** *se modifica el nivel de gris de un punto teniendo en cuenta su nivel de gris y el de sus vecinos.*



## Imagen digital

Operaciones sobre los puntos de la imagen

### Ejemplo (Operación puntual)

*Conversión de una imagen de entrada  $f(x, y)$  en otra  $g(x, y)$ :*

$$g(x, y) = F[f(x, y)]$$

*donde  $F$  es la función de transformación.*

## Imagen digital

Operaciones sobre los puntos de la imagen

### Operaciones “lineales”

- Lineal:

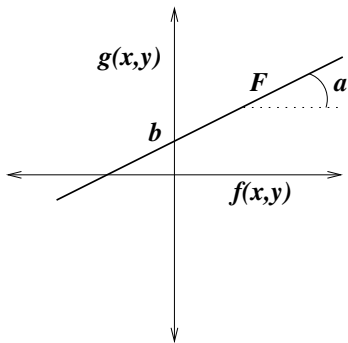
$$g(x, y) = F[f(x, y)] = af(x, y) + b$$

donde

- **f(x, y)**: nivel de gris de los puntos de la imagen de entrada,
- **g(x, y)**: nivel de gris de salida
- **a**: pendiente de la función lineal
- **b**: punto de corte con el eje de ordenadas de la función **F**

## Imagen digital

Operaciones sobre los puntos de la imagen



Función lineal

## Imagen digital

Operaciones sobre los puntos de la imagen

### Tipos de operaciones puntuales “lineales”

- Si  $a = 1$  y  $b = 0$  entonces  $g(x, y) = f(x, y)$  (identidad).
- Si  $a = 1$  y  $b \neq 0$ , el nivel de gris se **incrementa** en  $b$  unidades.
- Si  $a > 1$ , se produce un **incremento del contraste**.
- Si  $0 < a < 1$ , se **reduce el contraste**.
- Si  $a < 0$ , los niveles oscuros se **convierten** en claros y viceversa.

## Imagen digital

### Operaciones algebraicas

- 1 Imagen digital
  - Introducción
  - Definición
  - Concepto de imagen digital monocroma
  - Muestreo
  - Cuantificación
  - Concepto de imagen digital multiespectral
  - Vecindad entre puntos de una imagen digital
  - Convolución digital
  - Histograma de niveles de gris
  - Operaciones sobre los puntos de la imagen
  - Operaciones algebraicas

## Imagen digital

### Operaciones algebraicas

#### Definición (Operaciones algebraicas sobre imágenes)

- **Suma:**  $h(x, y) = f(x, y) + g(x, y)$
- **Resta:**  $h(x, y) = f(x, y) - g(x, y)$
- **Multiplicación punto a punto:**  $h(x, y) = f(x, y)g(x, y)$
- **División punto a punto:**  $h(x, y) = \frac{f(x, y)}{g(x, y)}$

## Imagen digital

Operaciones algebraicas

3	2	4
6	1	2
3	7	2

 $+$ 

3	6	3
5	7	1
2	0	4

 $=$ 

6	8	7
11	8	3
5	7	6

Función algebraica: suma

## Imagen digital

Operaciones algebraicas

<i>3</i>	<i>2</i>	<i>4</i>
<i>6</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>3</i>	<i>7</i>	<i>2</i>

 $-$ 

<i>3</i>	<i>6</i>	<i>3</i>
<i>5</i>	<i>7</i>	<i>1</i>
<i>2</i>	<i>0</i>	<i>4</i>

 $=$ 

<i>0</i>	<i>-4</i>	<i>1</i>
<i>1</i>	<i>-6</i>	<i>1</i>
<i>1</i>	<i>7</i>	<i>-2</i>

Función algebraica: resta



## Imagen digital

Operaciones algebraicas

<i>3</i>	<i>2</i>	<i>4</i>
<i>6</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>3</i>	<i>7</i>	<i>2</i>

 $\times$ 

<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

 $=$ 

<i>3</i>	<i>2</i>	<i>0</i>
<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>3</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

Función algebraica: multiplicación “punto a punto”

## Imagen digital

Operaciones algebraicas

3	2	4
6	1	2
3	7	2

 / 

3	2	4
1	1	1
1	1	1

 = 

1	1	1
6	1	2
3	7	2

Función algebraica: división "punto a punto"

## Tema 1.- Introducción a la Visión Artificial

### Visión Artificial Avanzada

Prof. Dr. Nicolás Luis Fernández García

Departamento de Informática y Análisis Numérico  
Escuela Politécnica Superior  
Universidad de Córdoba