

---

# Procesamiento y Análisis de Imágenes Digitales (PAID)

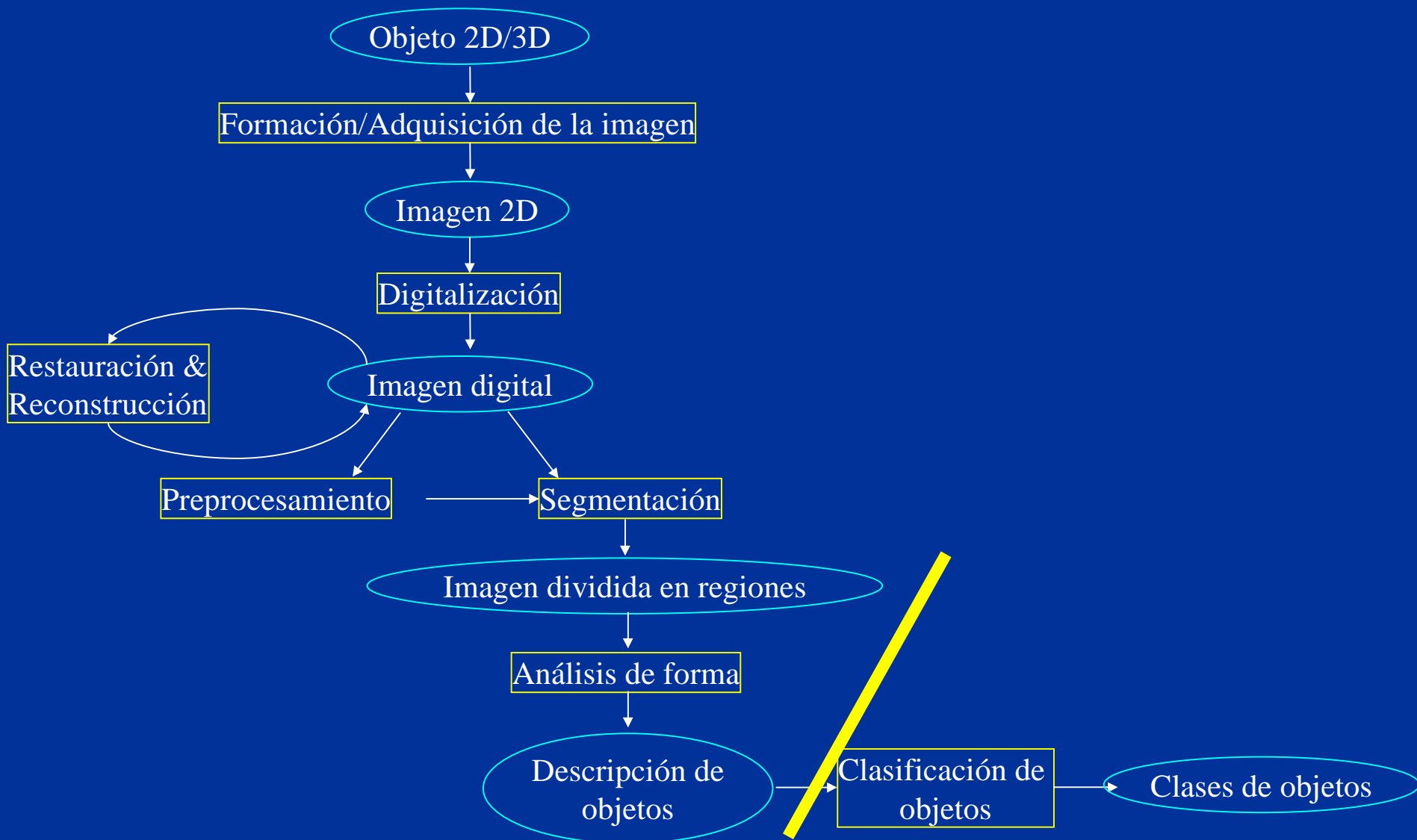
Marcela Hernández Hoyos

# Que es PAID ?

---

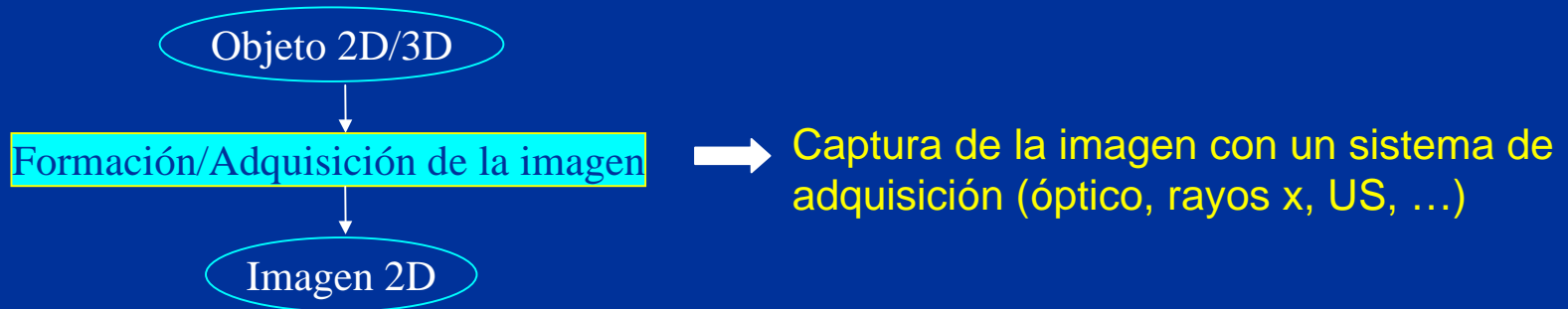
- Procedimientos de manipulación y análisis de la información contenida en una imagen digital por medio de computador
  - Mejorar la calidad de la imagen
  - Corregir defectos
  - Analizar el contenido
  - ...

# Operaciones fundamentales en PAID



# Operaciones fundamentales en PAID

---

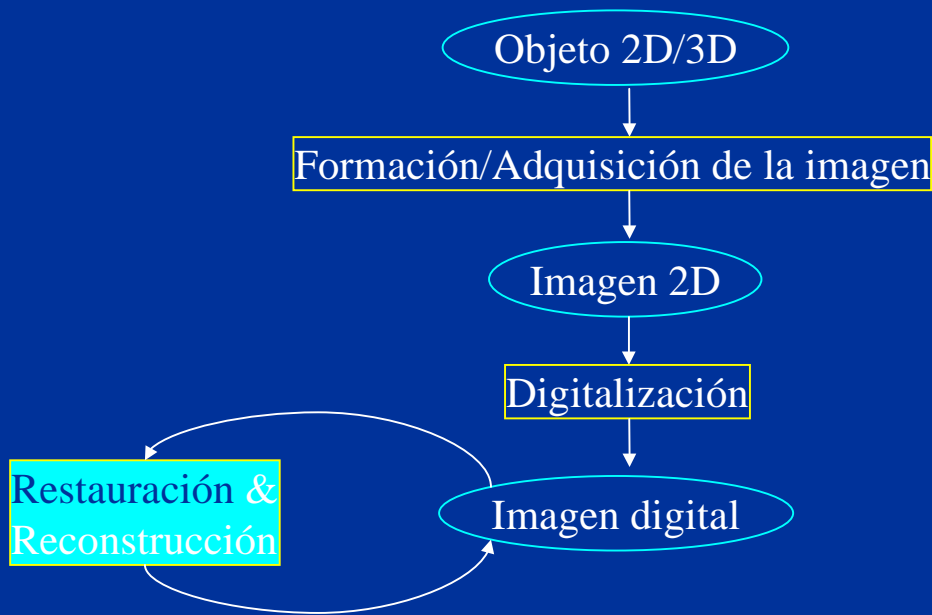


# Operaciones fundamentales en PAID



# Operaciones fundamentales en PAID

---

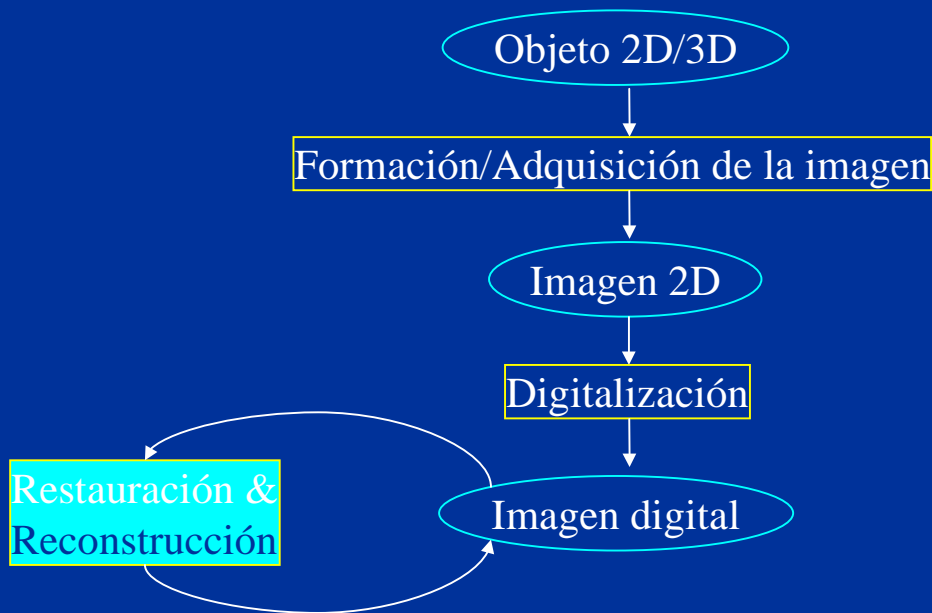


Corrección de degradaciones conocidas generadas durante la adquisición:

- Distorsión geométrica
- Imagen desenfocada
- Movimiento de la cámara
- Defectos en los captores o en la transmisión de la imagen

# Operaciones fundamentales en PAID

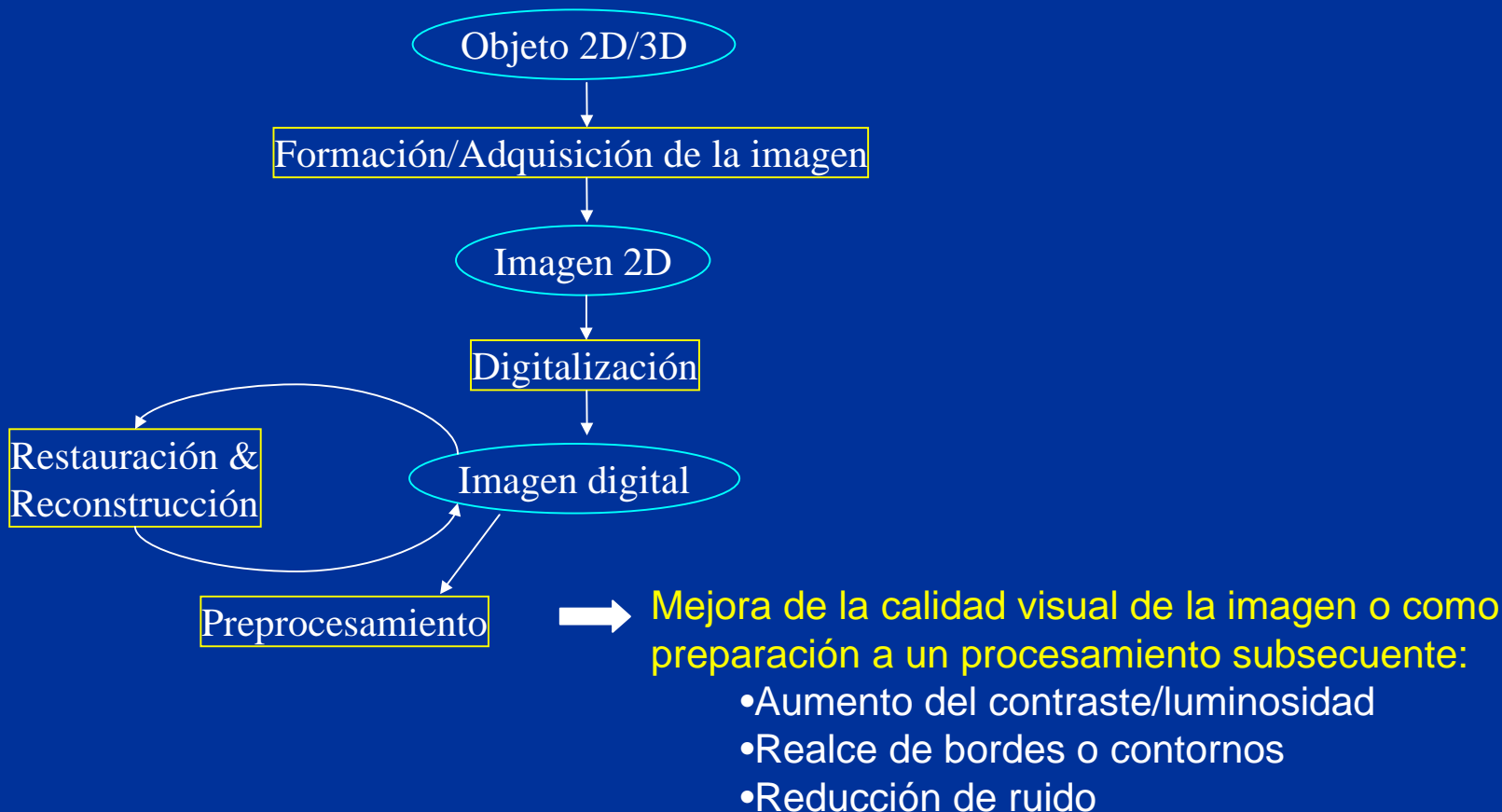
---



Reconstrucción necesaria en algunas técnicas de adquisición que no generan una imagen directa:

- Tomografía
- Proyecciones multiples (angiografía rotacional)

# Operaciones fundamentales en PAID

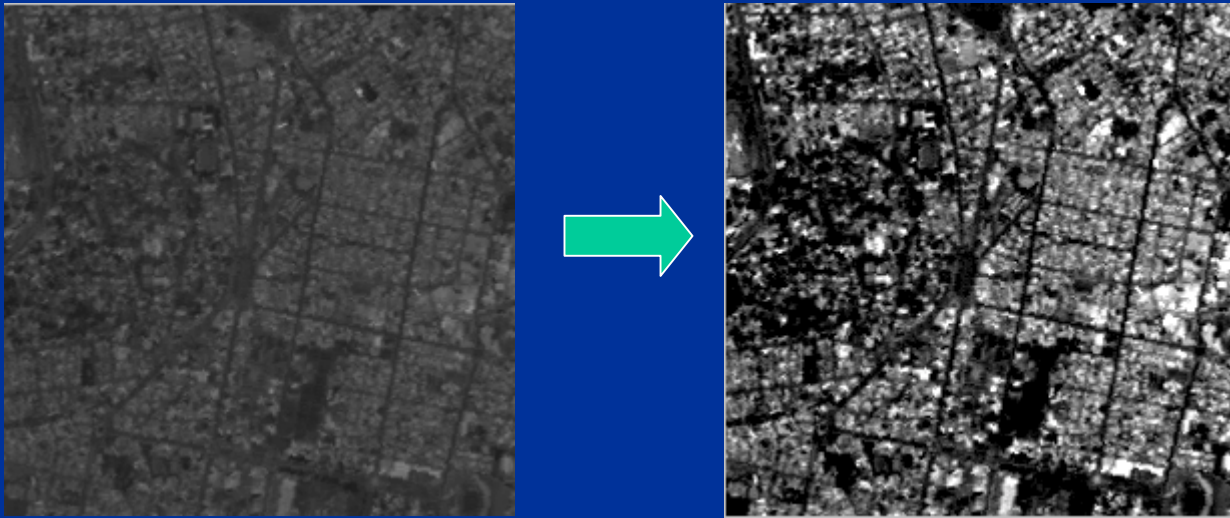




# Preprocesamiento de una imagen

---

- Aumento de contraste



# Preprocesamiento de una imagen

---

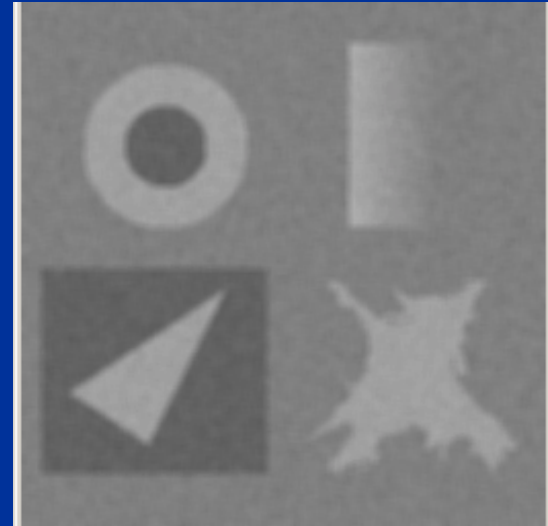
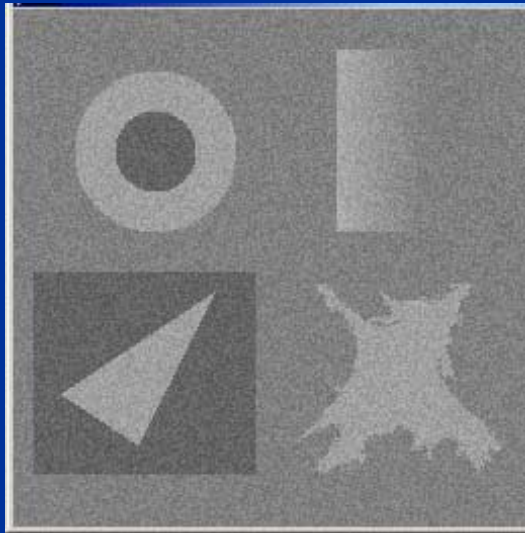
- Realce de bordes o contornos



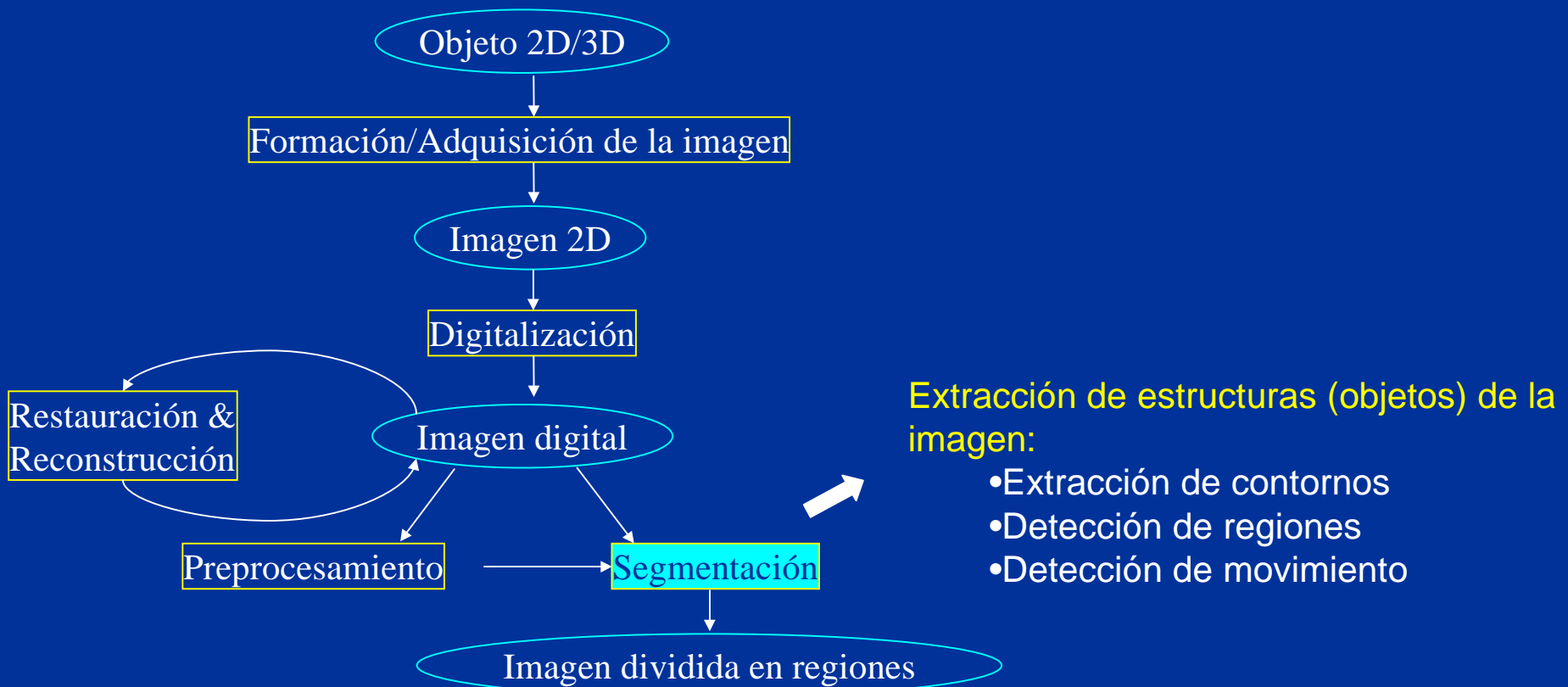
# Preprocesamiento de una imagen

---

- Reducción de ruido



# Operaciones fundamentales en PAID



# Segmentación $\cong$ Extracción

---



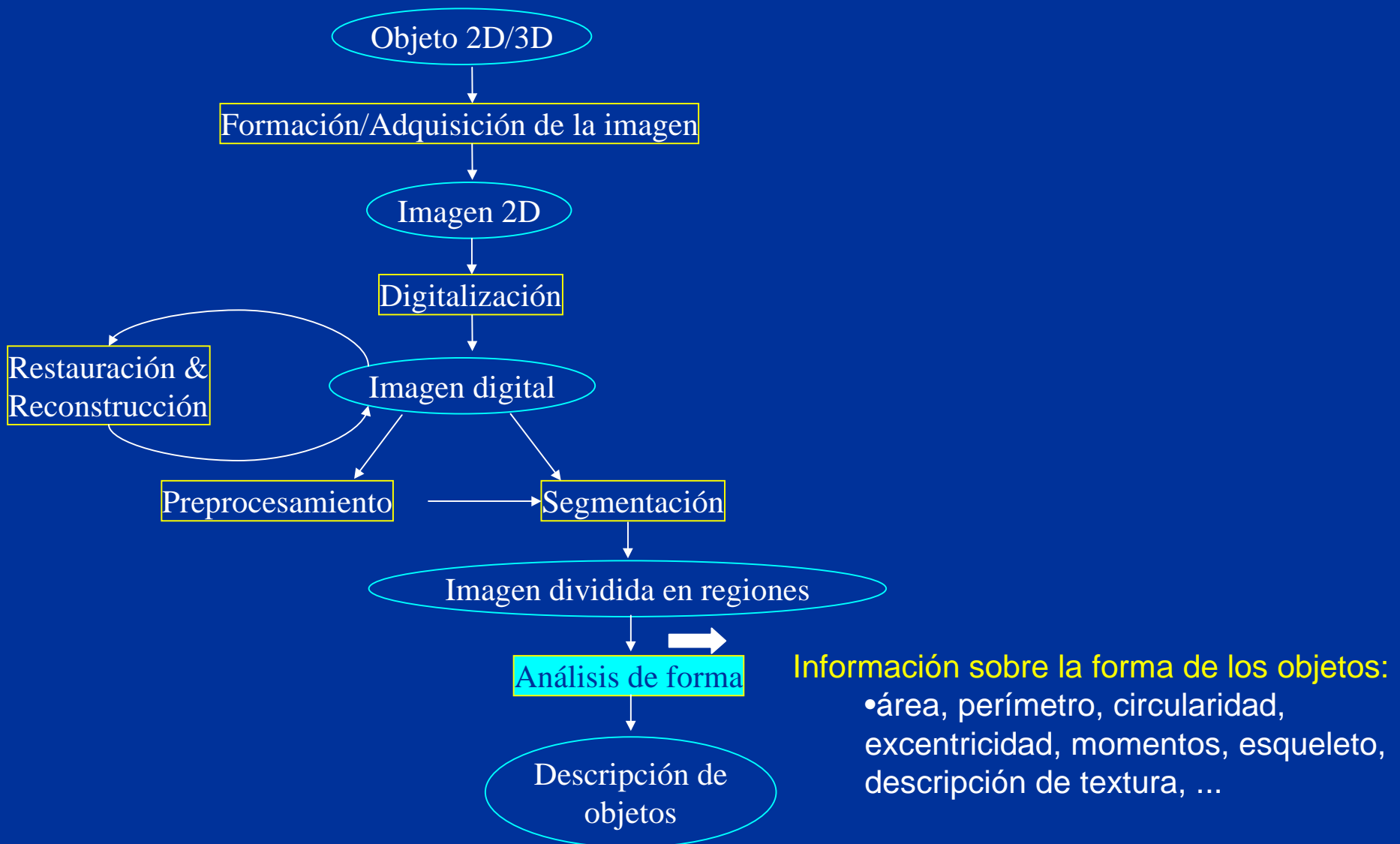
Contornos



Regiones

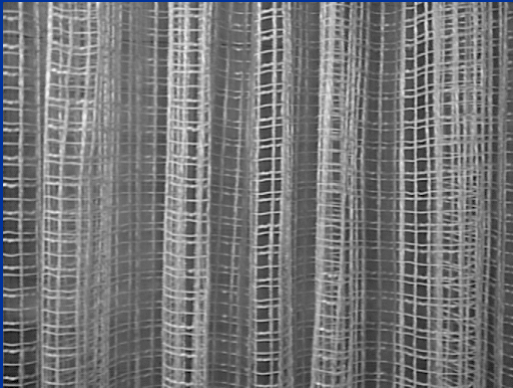


# Operaciones fundamentales en PID



# Texturas (patrones complejos)

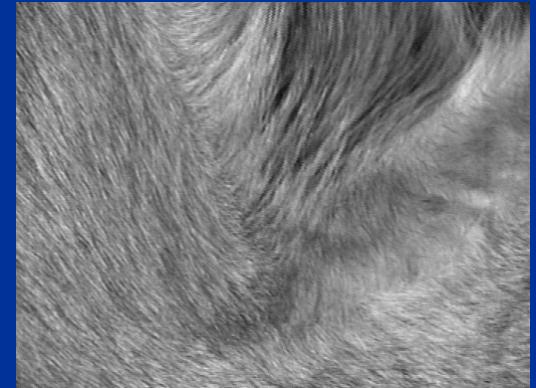
---



Cortina



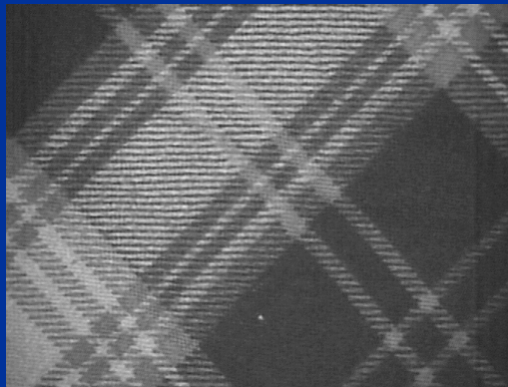
Madera



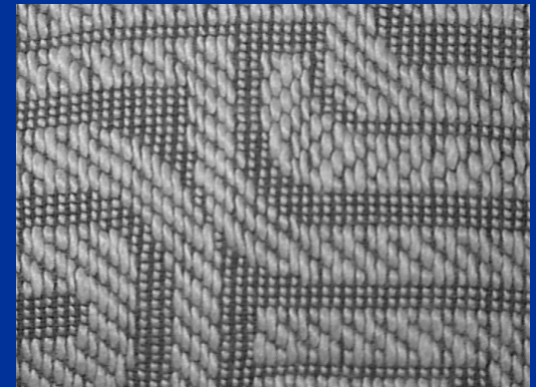
Pelo de perro



Papel lija

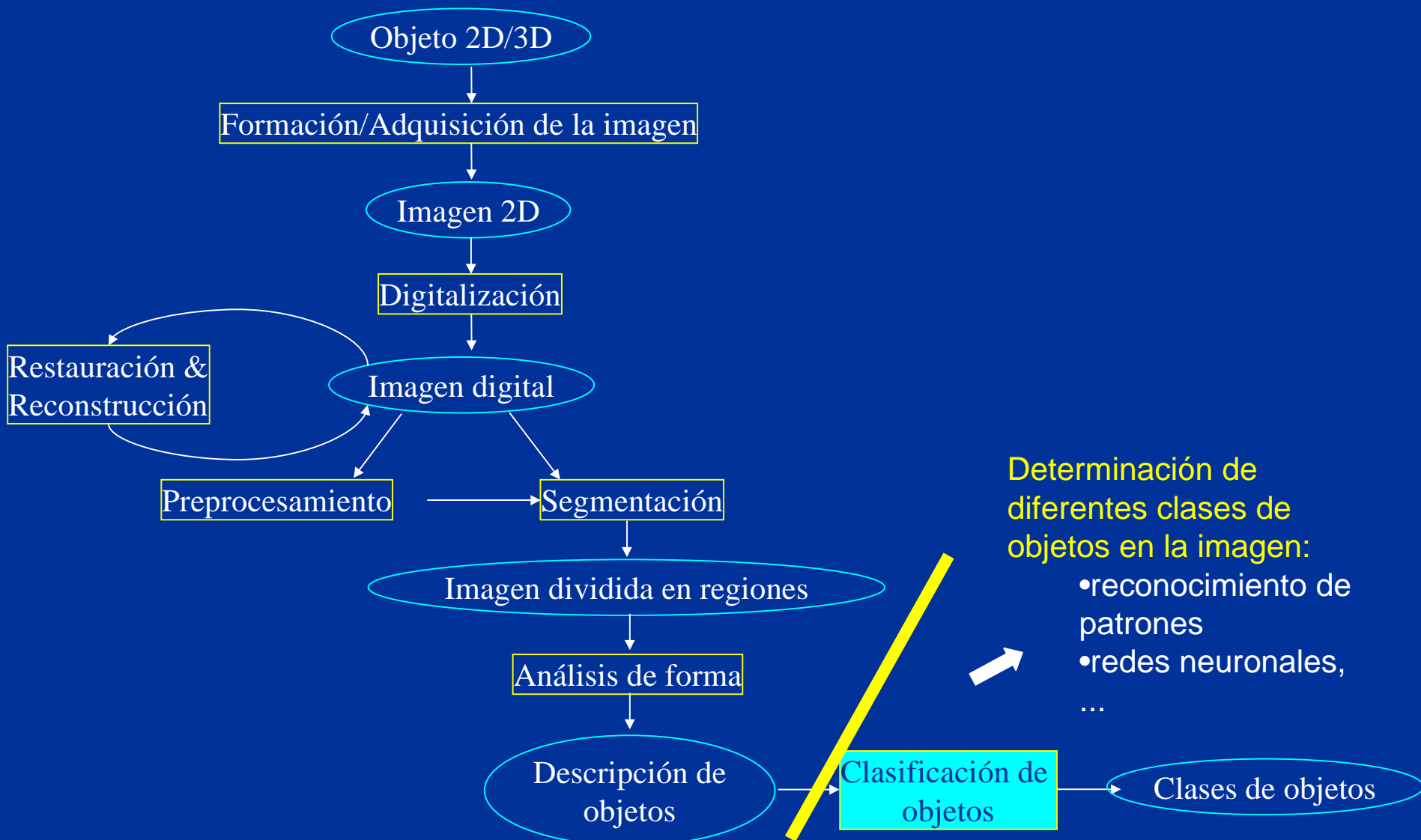


Tejidos





# Operaciones fundamentales en PID





# Areas de aplicación del PAID

---

## – Biología y genética

- Análisis de huesos, tejidos y células: conteo automático y clasificación de células y otros objetos que cumplan con características predefinidas.
- Análisis y clasificación de material ADN.

## – Defensa/Inteligencia

- Interpretación automática de imágenes satelitales en búsqueda de objetivos militares (aeropuertos, navíos, instalaciones militares, carreteras, ...)
- Reconocimiento y seguimiento de objetivos militares en tiempo real en sistemas de guías de misiles.



# Áreas de aplicación del PAID

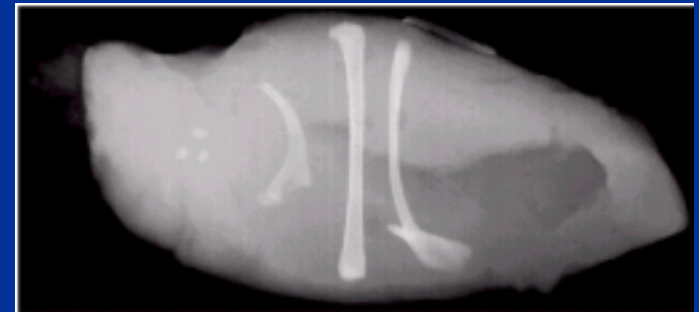
---

## – Procesamiento de documentos

- Detección y reconocimiento automático de caracteres dentro de un documento.
  - Cheques bancarios
  - Formularios de impuestos
  - Correo postal
  - ...

## – Automatización industrial

- Inspección visual automática.
- Análisis de características de piezas manufacturadas en una línea de producción
  - Detección de defectos
  - Detección de anomalías del proceso



# Areas de aplicación del PAID

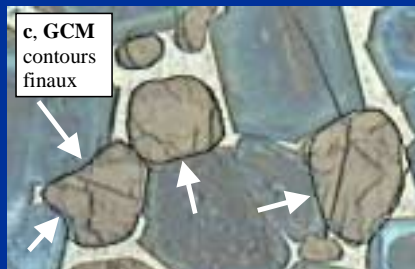
## – Forense/Criminología

- Analisis de huellas dactilares (clasificación automática e identificación).
- Análisis de similitud de fotografías.
- Estudio de correspondencia de ADN.



## – Análisis de materiales

- Conteo automático y clasificación de objetos tales como: componentes del material, impurezas, ...
- Creación de superficies 3D y visualización de la estructura interna de un material.



Segmentación de cristales tipo « bélite » en imágenes de « clinker »

# Areas de aplicación del PAID

---

## – Fotografía / Video

- Composición de escenas con múltiples objetos
- Adición de efectos especiales

## – Imágenes satelitales

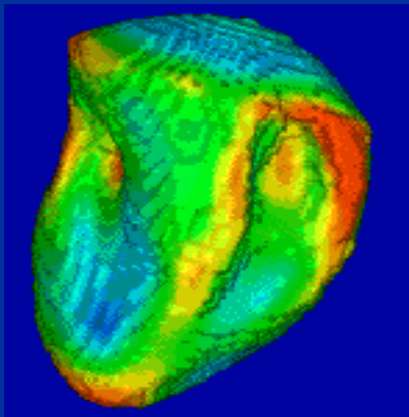
- Análisis de paisajes. Medida de características de vegetación como: contenido de agua, temperatura, características del cultivo, ...

# Areas de aplicación del PAID

---

## – Medicina: Radiología asistida por computador

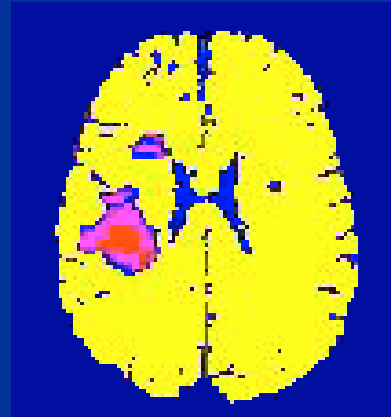
- Rayos X, resonancia magnética, US, tomografía por emisión de positrones.
- Sistemas de ayuda al diagnóstico, tratamiento y seguimiento de patologías



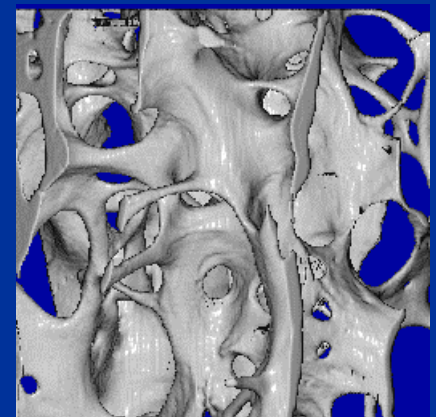
Imágenes cardíacas  
4D: movimiento,  
perfusión ...



Imágenes vasculares  
3D: estenosis,  
aneurismas ...



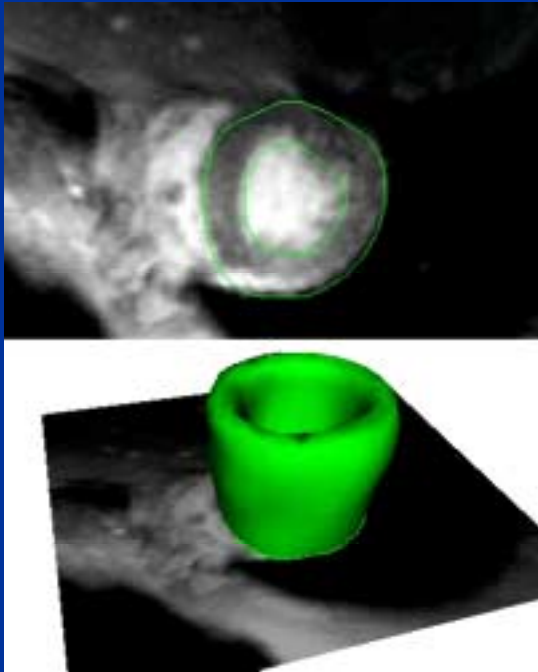
Imágenes cerebrales 3D:  
esclerosis múltiple,  
perfusión, imágenes  
funcionales ...



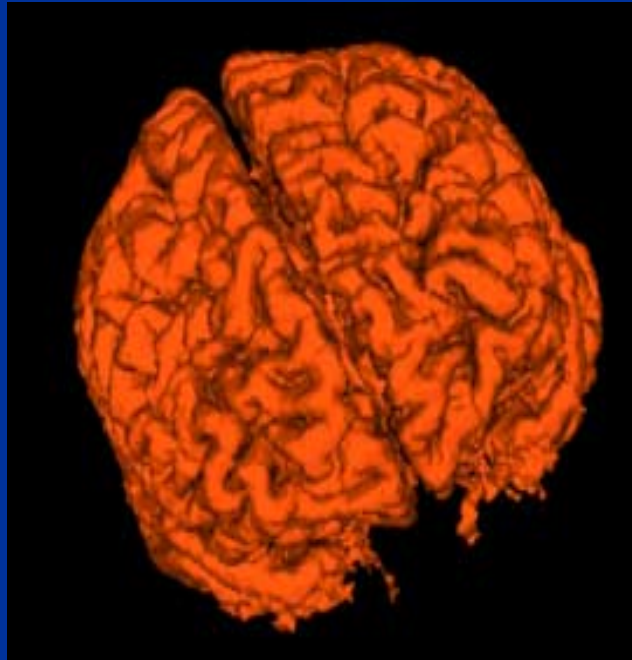
Imágenes de huesos  
de alta resolución :  
synchrotron, MRI ...

# Areas de aplicación del PAID

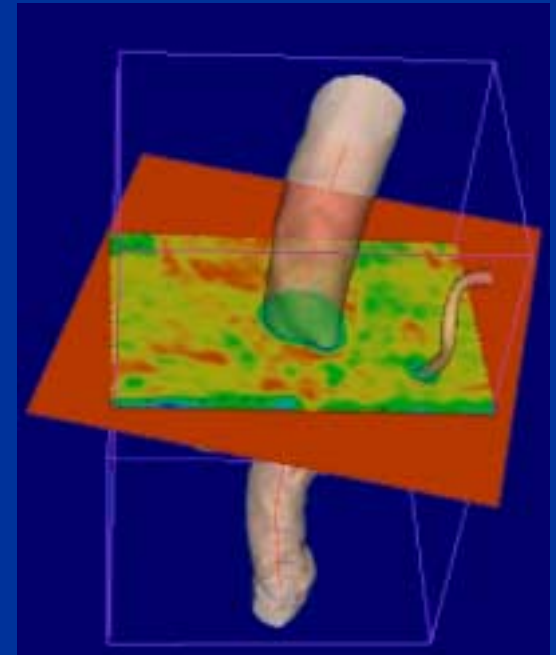
## – Ejemplos de segmentación:



Segmentación 3D del ventrículo izquierdo en IRM por medio de un modelo deformable elástico



Segmentación 3D de un volumen IRM del cerebro

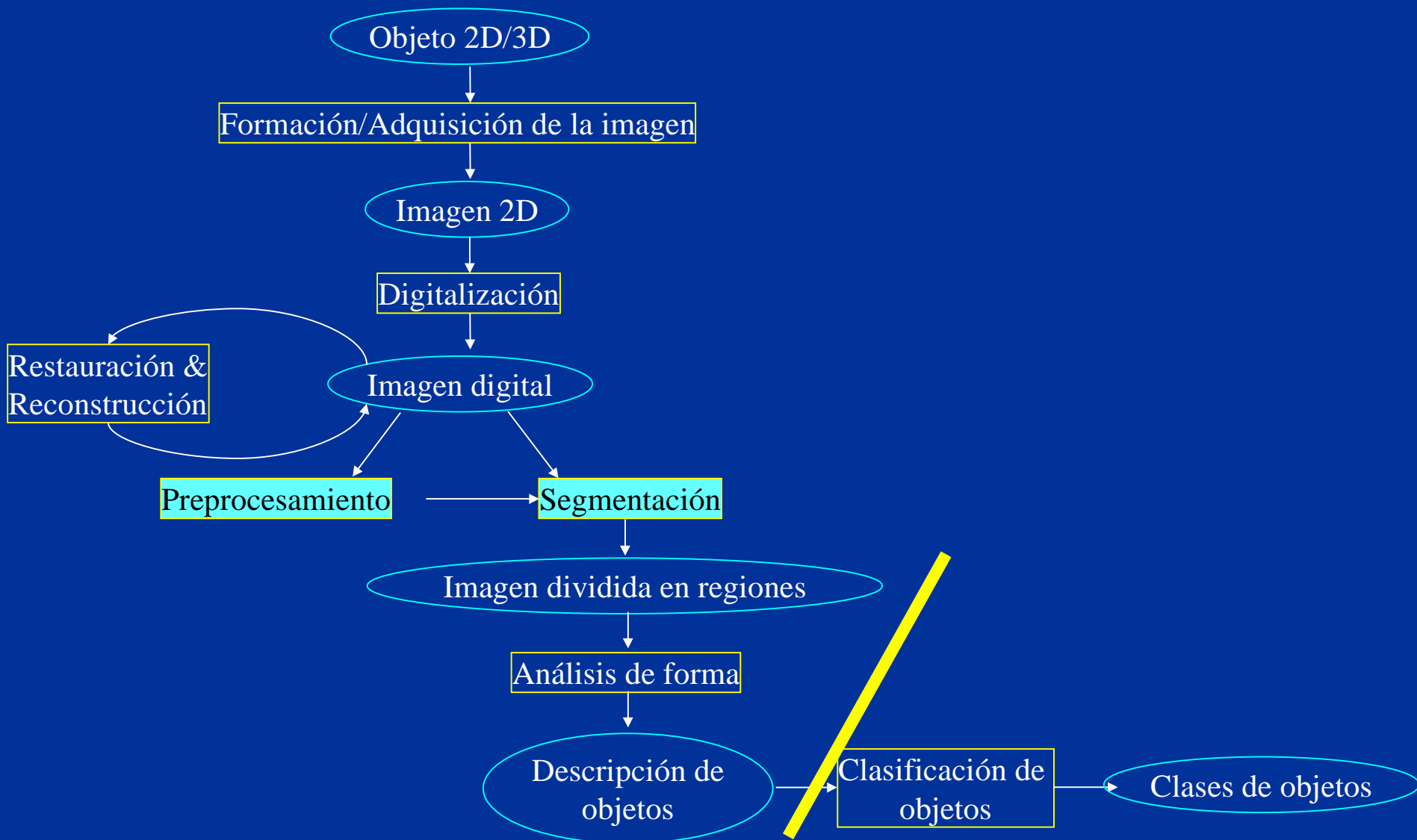


Segmentación vascular en ARM

---

# Ejemplo: MARACAS

# Operaciones fundamentales en PAID





---

# Conceptos claves del PAID:

Histograma

Producto de convolución

---

# Histograma

# Qué es ?

---

El Histograma de una imagen digital es una función discreta:

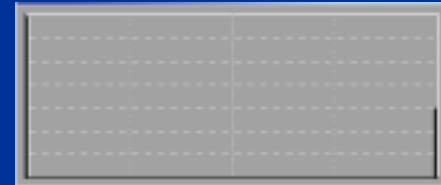
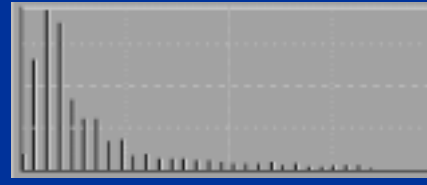
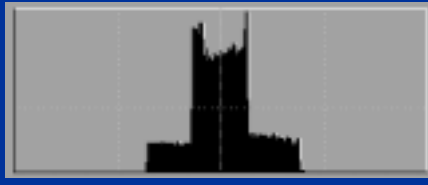
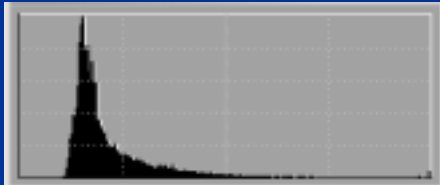
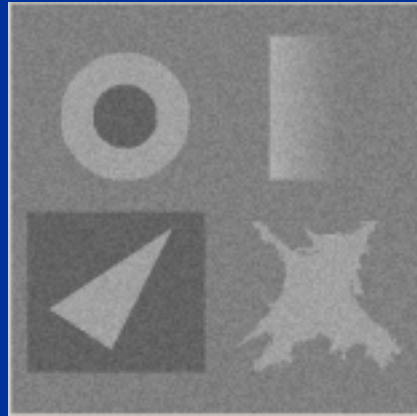
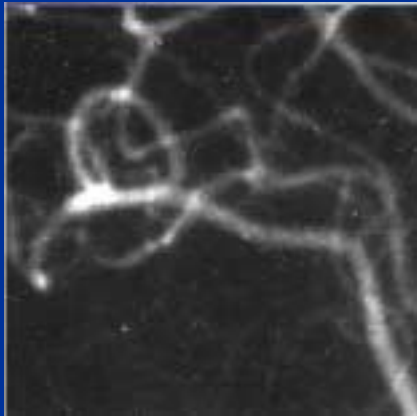
$$h(r_k) = n_k$$

donde:

- $0 \leq h(r_k) \leq L-1$
- $r_k$  es el k-ésimo nivel de gris y  $n_k$  es el número de píxeles en la imagen con el nivel de gris  $r_k$ .

# Ejemplos

---



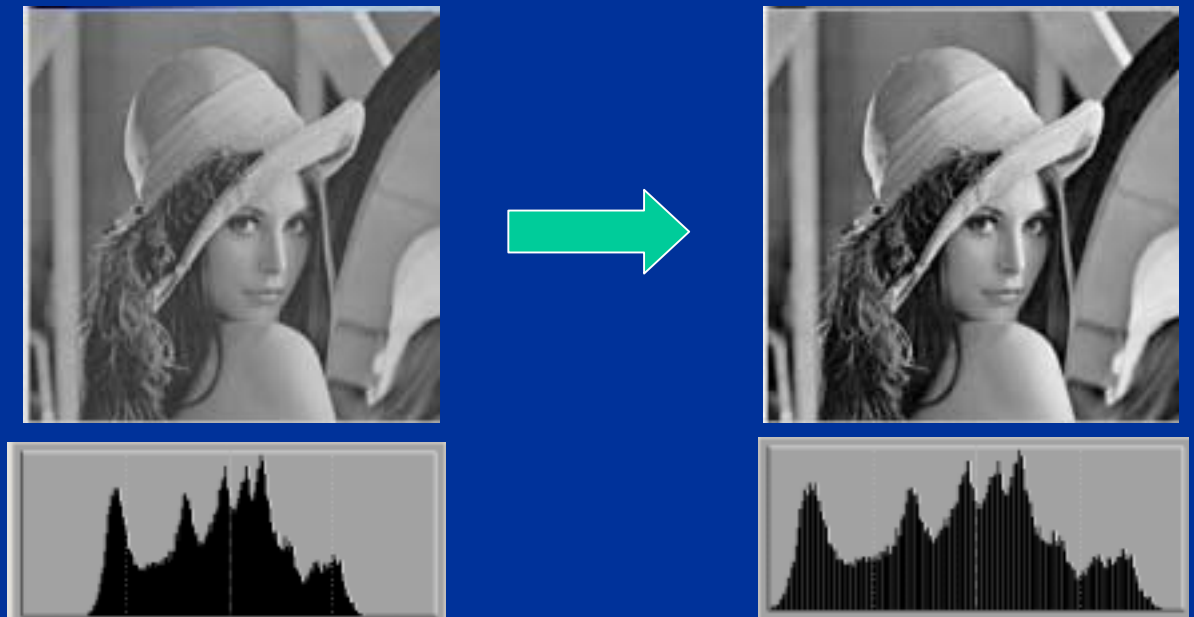
# Utilidad del histograma

---

- Base para el desarrollo de numerosas técnicas de procesamiento de imágenes:
  - Realce de imágenes
  - Provee estadísticas de la imagen
  - Segmentación: determinación de umbrales para binarización
- Herramienta fácil de implementar
- Modificación global de los niveles de gris de la imagen.
  - Definir, para cada nivel de gris  $I$  de la imagen original, un nuevo valor  $J$ .

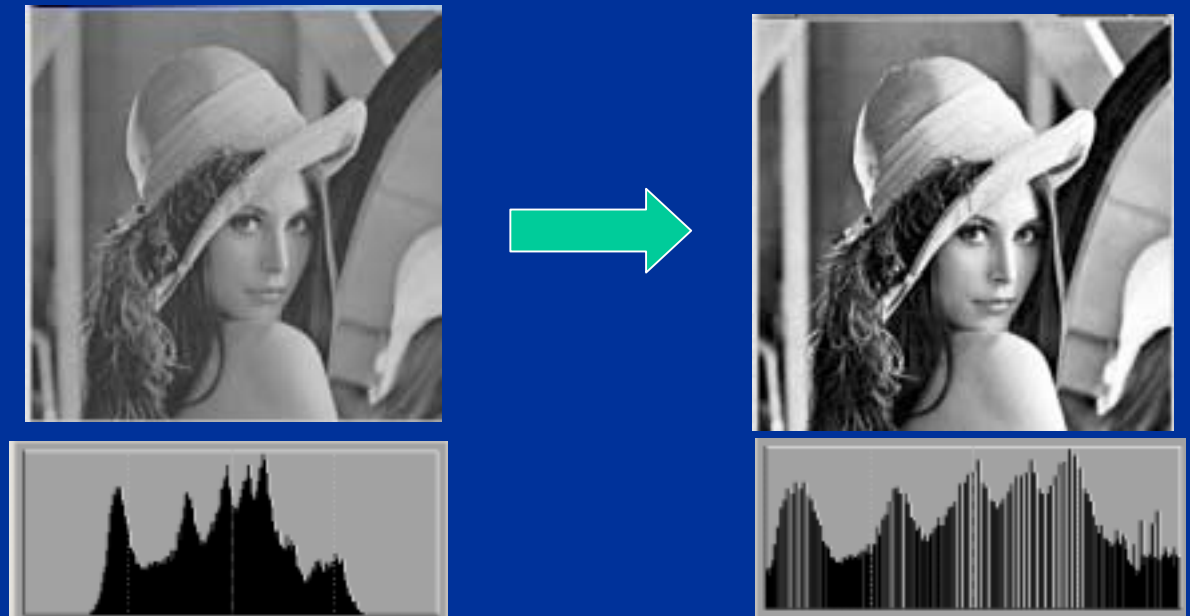
# Transformación del histograma

- Las principales transformaciones del histograma son:
  - Expansión del contraste (Calibración del histograma)



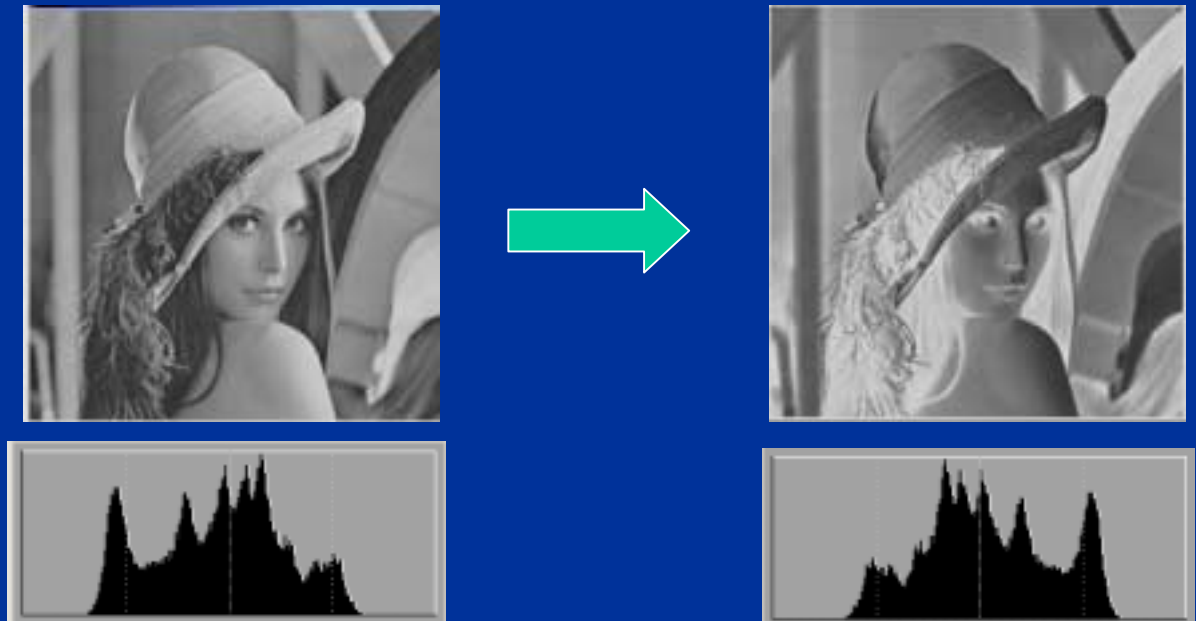
# Transformación del histograma

- Las principales transformaciones del histograma son:
  - Expansión del contraste (Calibración del histograma)
  - Ecualización



# Transformación del histograma

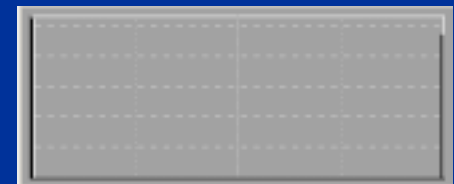
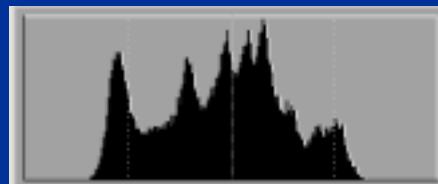
- Las principales transformaciones del histograma son:
  - Expansión del contraste (Calibración del histograma)
  - Ecualización
  - Negativo





# Transformación del histograma

- Las principales transformaciones del histograma son:
  - Expansión del contraste (Calibración del histograma)
  - Ecualización
  - Negativo
  - Umbralización



---

# Producto de convolución

# Producto de Convolución

---

El producto de convolution de  $f$  y  $h$  (funciones de  $x$ ) es definido como:

$$g(x) = f(x) * h(x).$$

Operador de convolución

Donde,

$$f(x) * h(x) \triangleq \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha)h(x - \alpha)d\alpha.$$

# Producto de Convolución

---

Qué tiene que ver la convolución con el procesamiento de imágenes ?

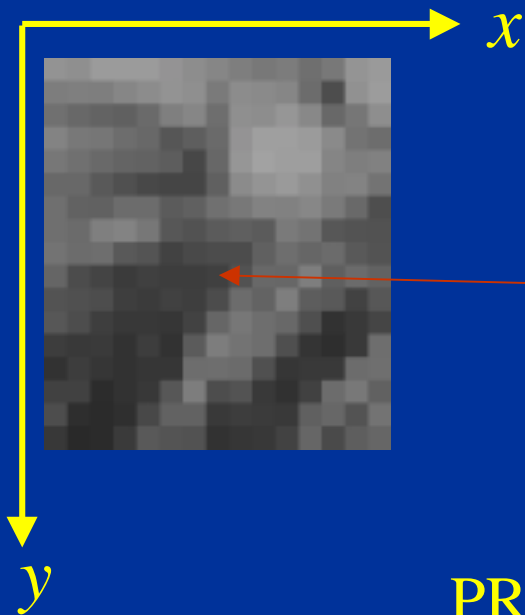


Imagen :  $f(x,y)$

$f(x,y)$  = Nivel de gris del pixel  
ubicado en la posición  $(x, y)$

La mayoría de operaciones de  
**PREPROCESAMIENTO (FILTROS)**  
se hacen por medio de una  
convolución

# Producto de Convolución

---

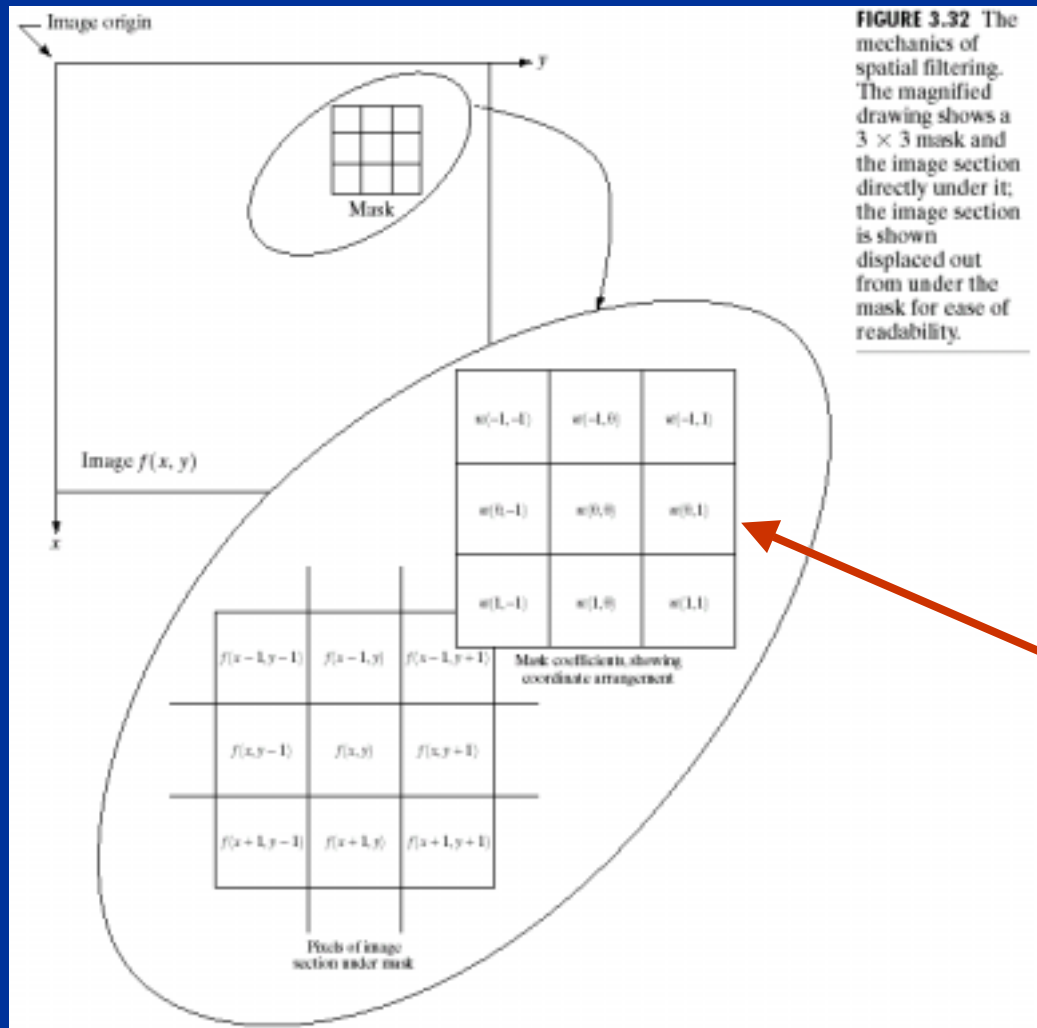
- Filtrado en el espacio: Operaciones directas sobre los píxeles.

$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t)$$

Máscara de convolución de  
mxn donde  $m=2a+1$  y  
 $n=2b+1$

Imagen de MxN

# Producto de Convolución = Filtrado lineal



$w_1$	$w_2$	$w_3$
$w_4$	$w_5$	$w_6$
$w_7$	$w_8$	$w_9$

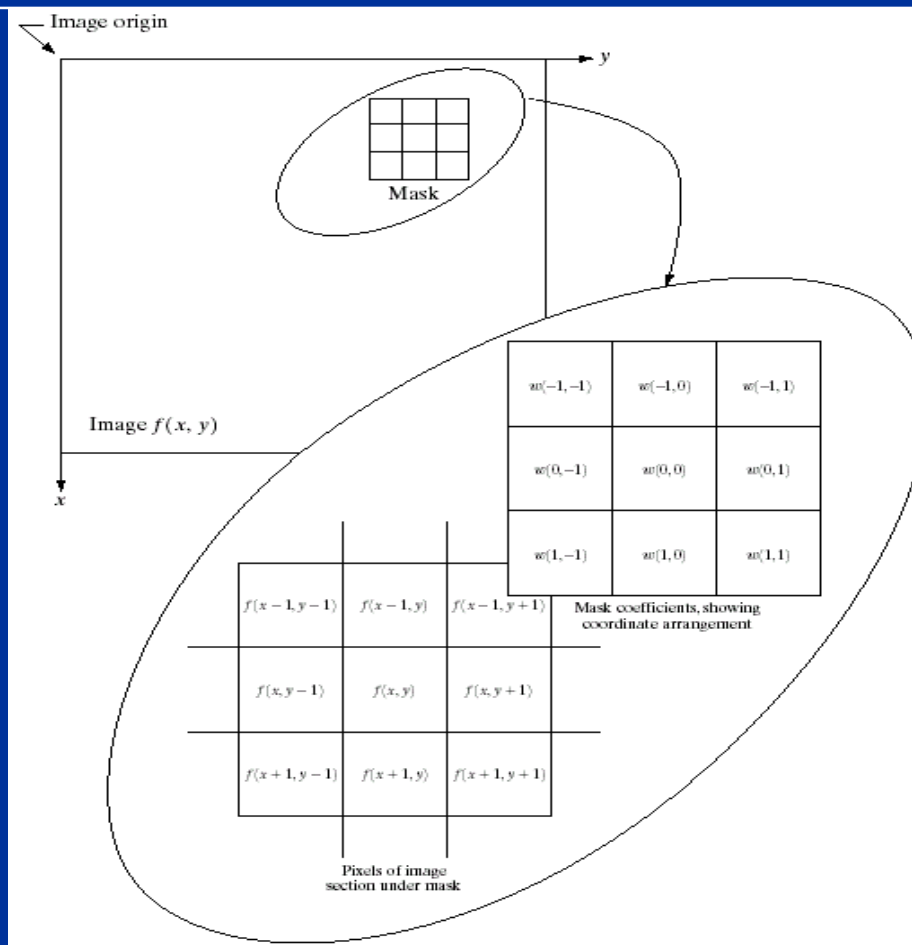
# Filtros lineales

---

- Consiste simplemente en mover la máscara de convolución punto a punto sobre la imagen.
- Para el filtrado lineal la respuesta está dada por la suma de productos de los coeficientes de la máscara y los píxeles correspondientes en el área cubierta por la máscara.

# Filtros lineales

## Máscara de Filtrado



**FIGURE 3.32** The mechanics of spatial filtering. The magnified drawing shows a  $3 \times 3$  mask and the image section directly under it; the image section is shown displaced out from under the mask for ease of readability.

$$R = w(-1,-1)f(x-1,y-1) + w(-1,0)f(x-1,y) + \dots + w(0,0)f(x,y) + \dots + w(1,0)f(x+1,y) + w(1,1)f(x+1,y+1)$$



# Filtros lineales

---

$$\sum_{i=1}^{mn} w_i z_i$$

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_{mn} z_{mn}$$

- Donde mn son el numero total de coeficientes de la máscara.
- $W_i$  son coeficientes de la mascara.
- $Z_i$  son los valores de niveles de gris de la imagen correspondientes a estos coeficientes.

# Filtros lineales

Para el caso de 3 x 3

**FIGURE 3.33**  
Another  
representation of  
a general 3 × 3  
spatial filter mask.

$w_1$	$w_2$	$w_3$
$w_4$	$w_5$	$w_6$
$w_7$	$w_8$	$w_9$

$$\sum_{i=1}^9 w_i z_i$$

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9$$

# Filtros lineales

---

- Se generan problemas en los bordes pues quedan secciones de la máscara fuera de la imagen.
- Mejor solución es limitar el centro de la máscara a una distancia no menor de  $(n-1) / 2$ .
- Se obtiene una imagen más pequeña pero todos los píxeles son filtrados con la máscara completa.
- Si se desea que el tamaño de la imagen sea el mismo, solo se computa la región interna de la máscara.
- Agregar columnas de ceros para poder incluir toda la máscara, esto genera que los bordes prevalescan a medida que se escogen máscaras más grandes.

# Filtros lineales: SUAVIZADORES

---

- Se utilizan para la atenuación (falta de definición) y reducción de ruido.
- Respuesta = promedio de la vecindad de pixeles de la mascara.
  - Filtros promediadores.
- Se reemplaza cada pixel en una imagen por el promedio de nivel de gris de la vecindad.

# Filtros lineales: SUAVIZADORES

---

- El resultado es una imagen con reducción en las transiciones agudas de los niveles de gris.
  - La aplicación más usada es la reducción de ruido aleatorio.
- Problemas con los contornos: atenuación.
- Uno de los usos más significativos es la reducción de detalles irrelevantes .
  - Regiones más pequeñas que la máscara

# Filtros lineales: SUAVIZADORES

$\frac{1}{9} \times$	1	1	1
	1	1	1
	1	1	1

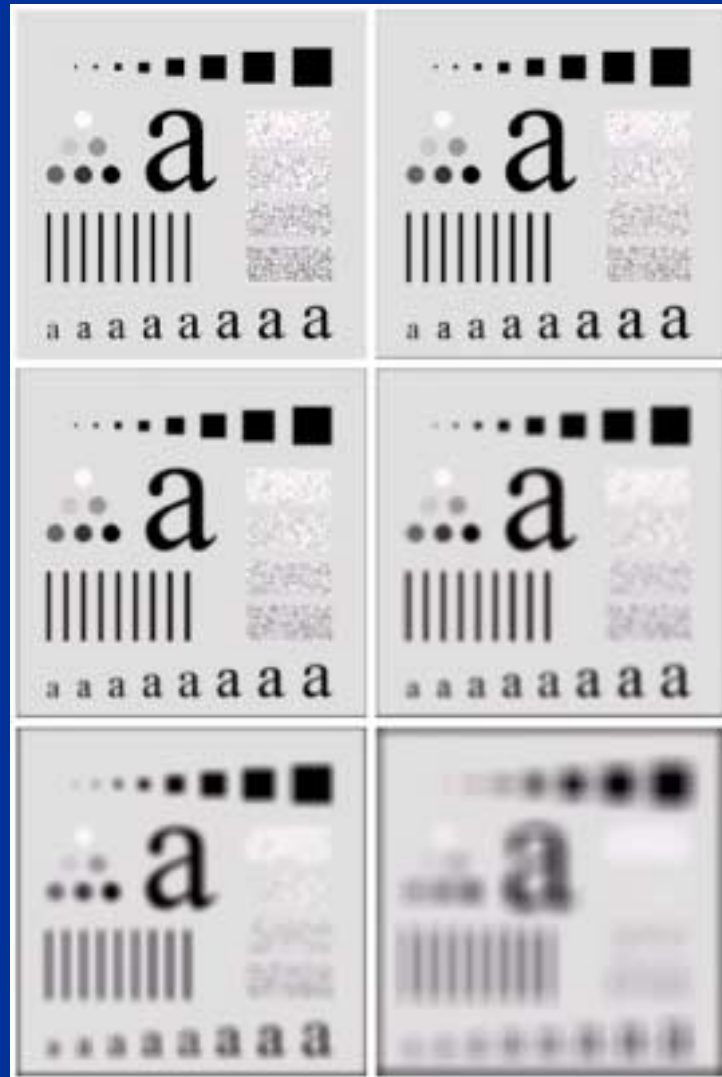
$\frac{1}{16} \times$	1	2	1
	2	4	2
	1	2	1

$$R = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 z_i$$
$$g(x, y) = \frac{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w = (s, t) f(x + s, y + t)}{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w = (s, t)}$$

Promedio Cargado

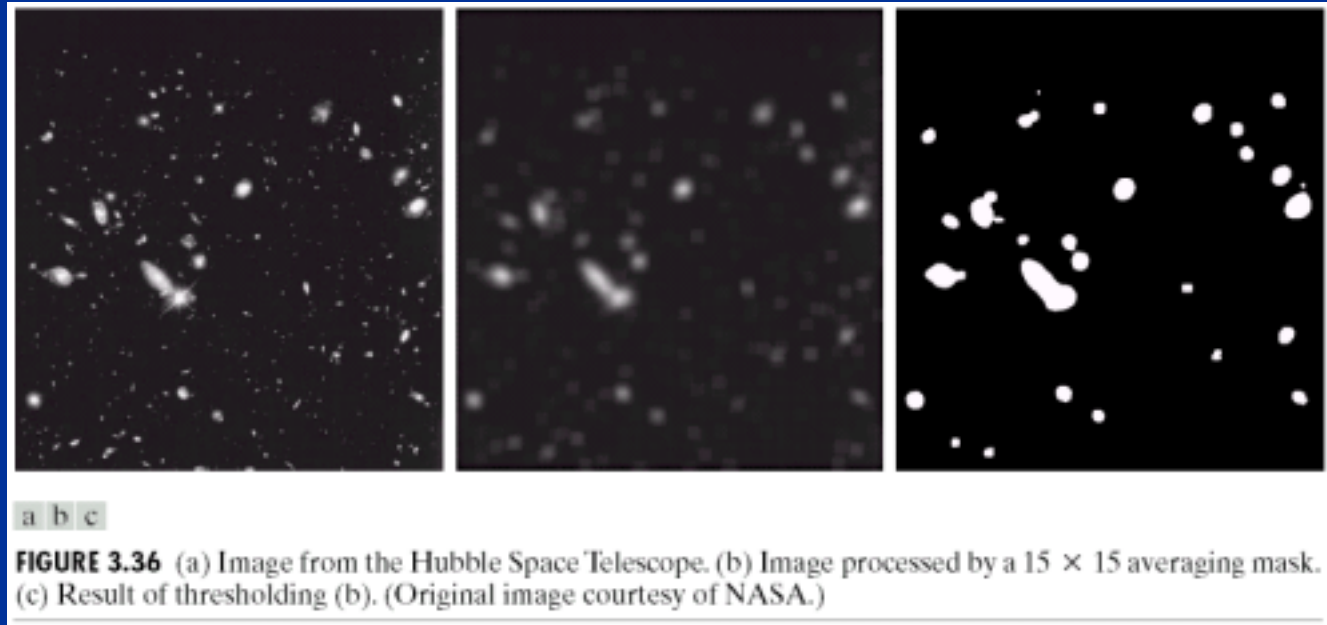
# Filtros lineales: SUAVIZADORES

$n = 3, 5, 9, 15$  y  $35$



# Filtros lineales: SUAVIZADORES

---



Mascara de 15 x 15



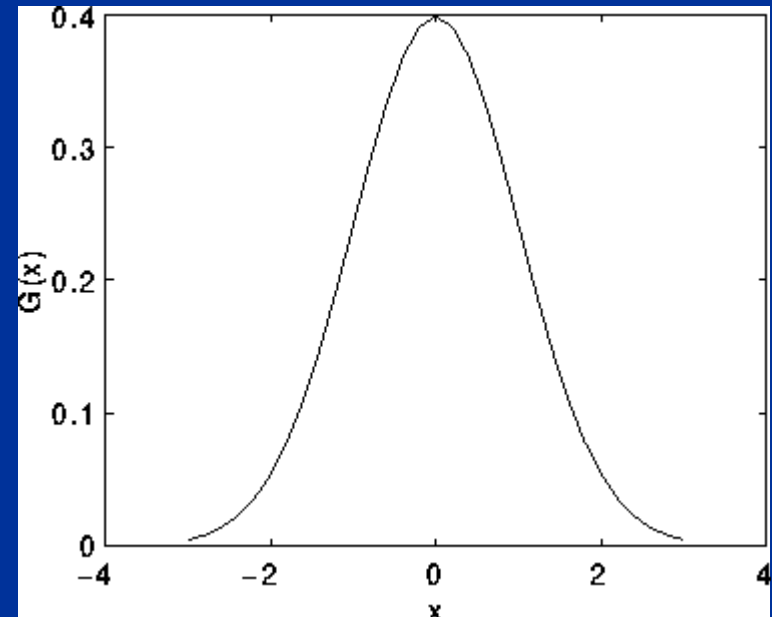
# Filtros lineales: GAUSSIANO

---

**Mascara 1D** (funcion de distribucion normal o Gauss):

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

$\sigma$  = Desviacion estandar



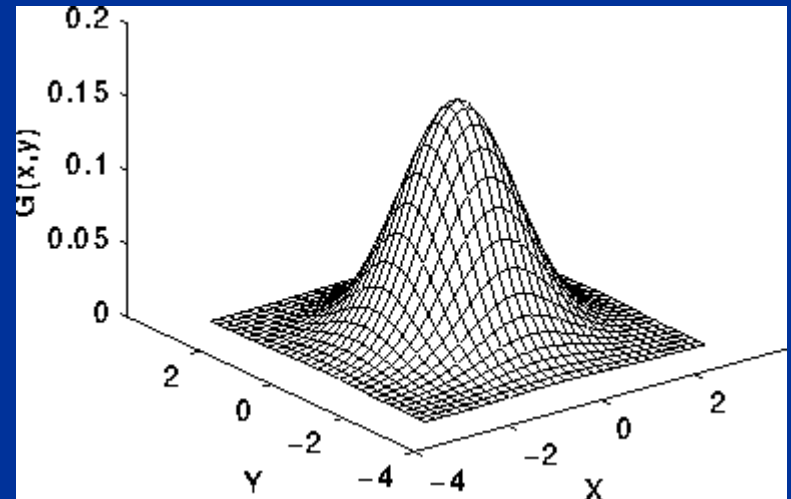
$$\mu = 0 \quad \sigma = 1$$

# Filtros lineales: GAUSSIANO

---

Mascara 2D :  $G(x,y) = G(x) \cdot G(y)$

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$



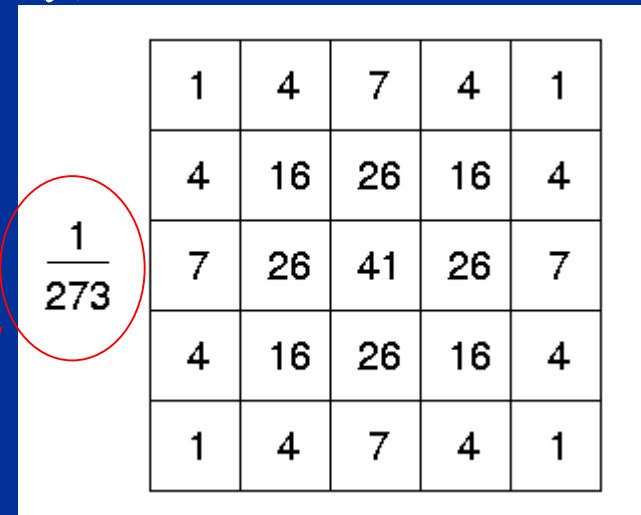
$$\mu = (0,0) \quad \sigma = 1$$

# Filtros lineales: GAUSSIANO

Mascara 2D :  $G(x,y) = G(x) \cdot G(y)$

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

Normalizado



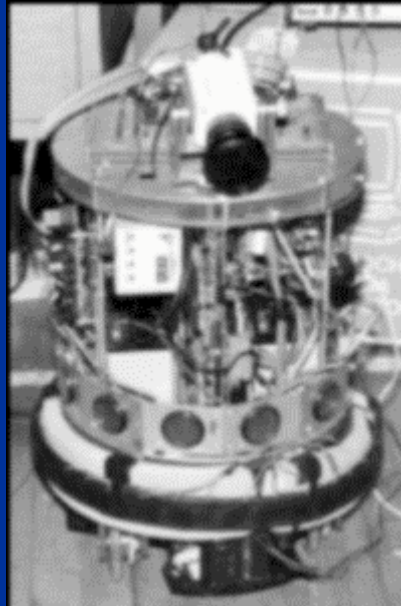
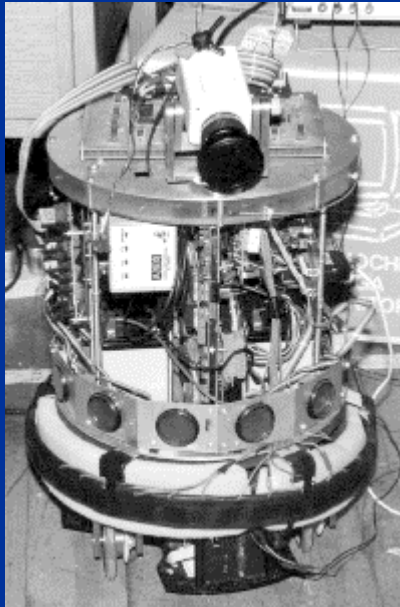
1	4	7	4	1
4	16	26	16	4
7	26	41	26	7
4	16	26	16	4
1	4	7	4	1

$$\sigma = 1$$

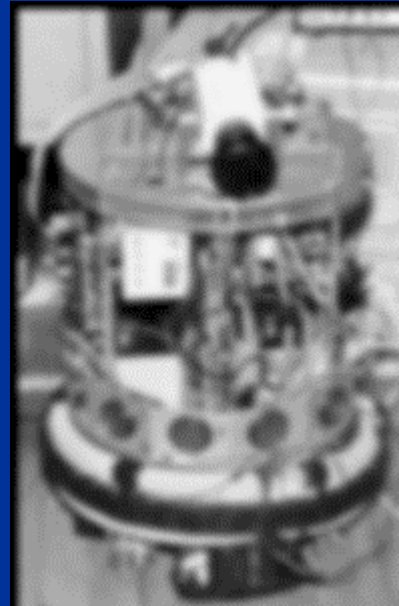
Para filtrar :  $g(x,y) = f(x,y) * G(x,y)$

# Filtros lineales: GAUSSIANO

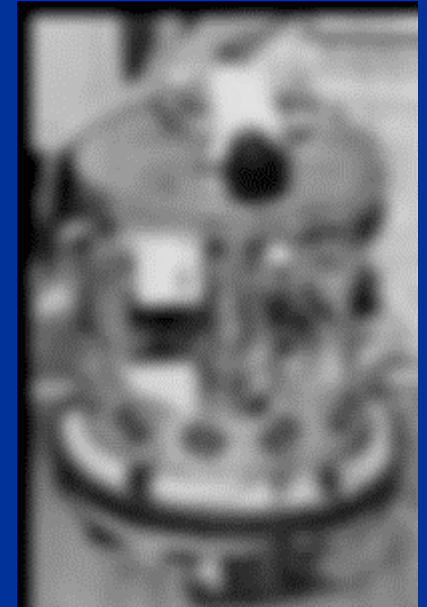
---



$\sigma = 1.0$  5 x 5



$\sigma = 2.0$  9 x 9



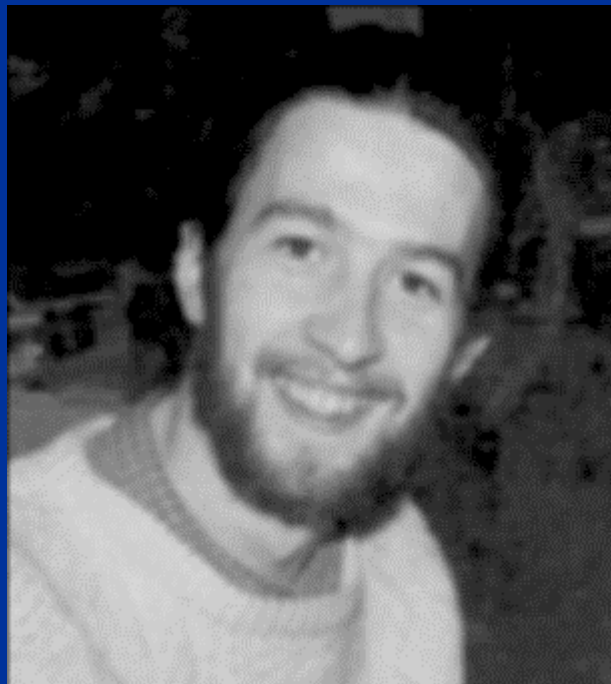
$\sigma = 4.0$  15 x 15

# Filtros lineales: GAUSSIANO

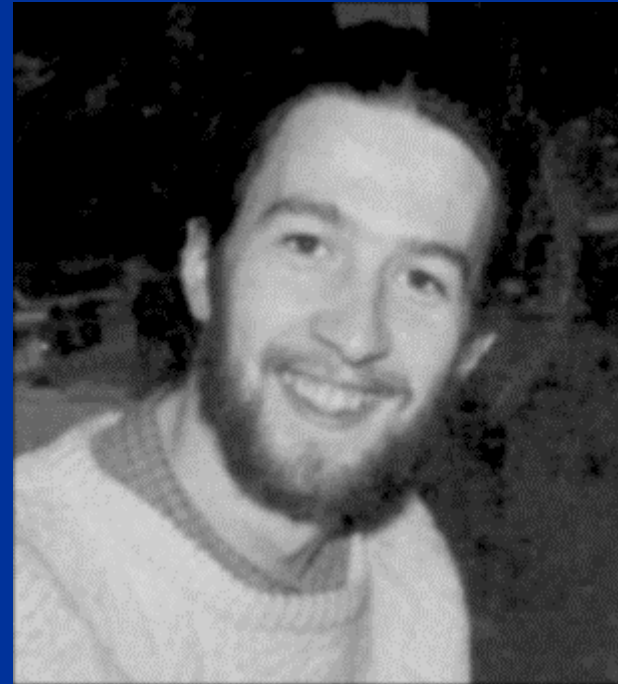
---



Imagen degradada con ruido  
gaussiano ( $\mu = 0$ ,  $\sigma = 8$ )

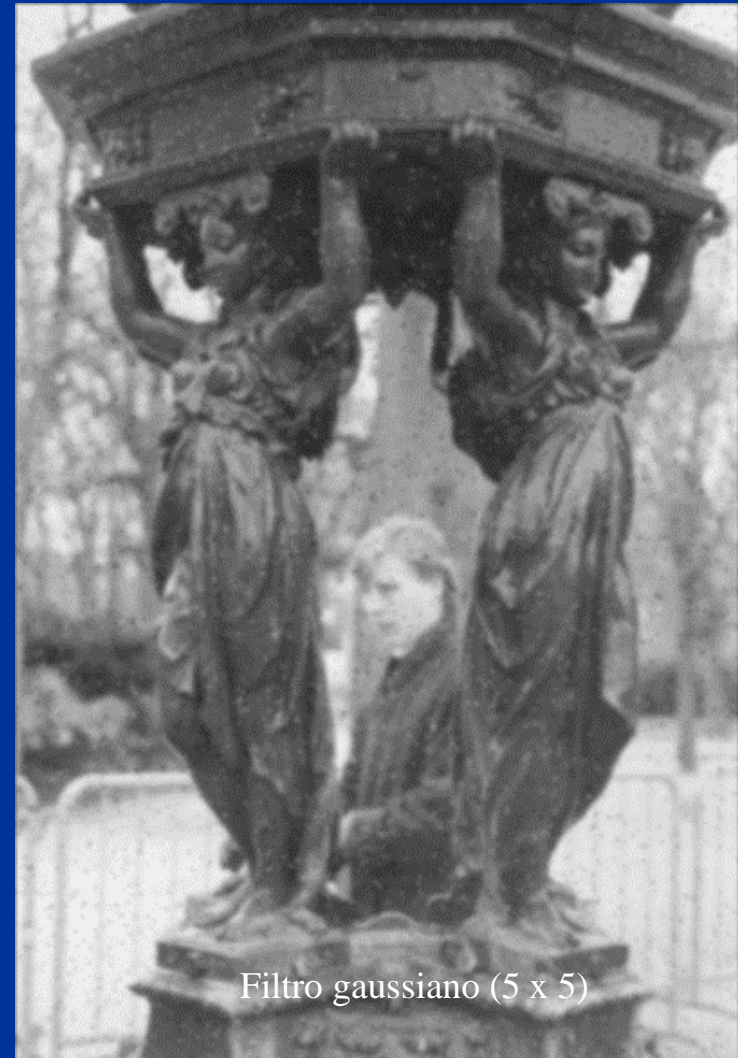


Filtro promedio (5 x 5 )



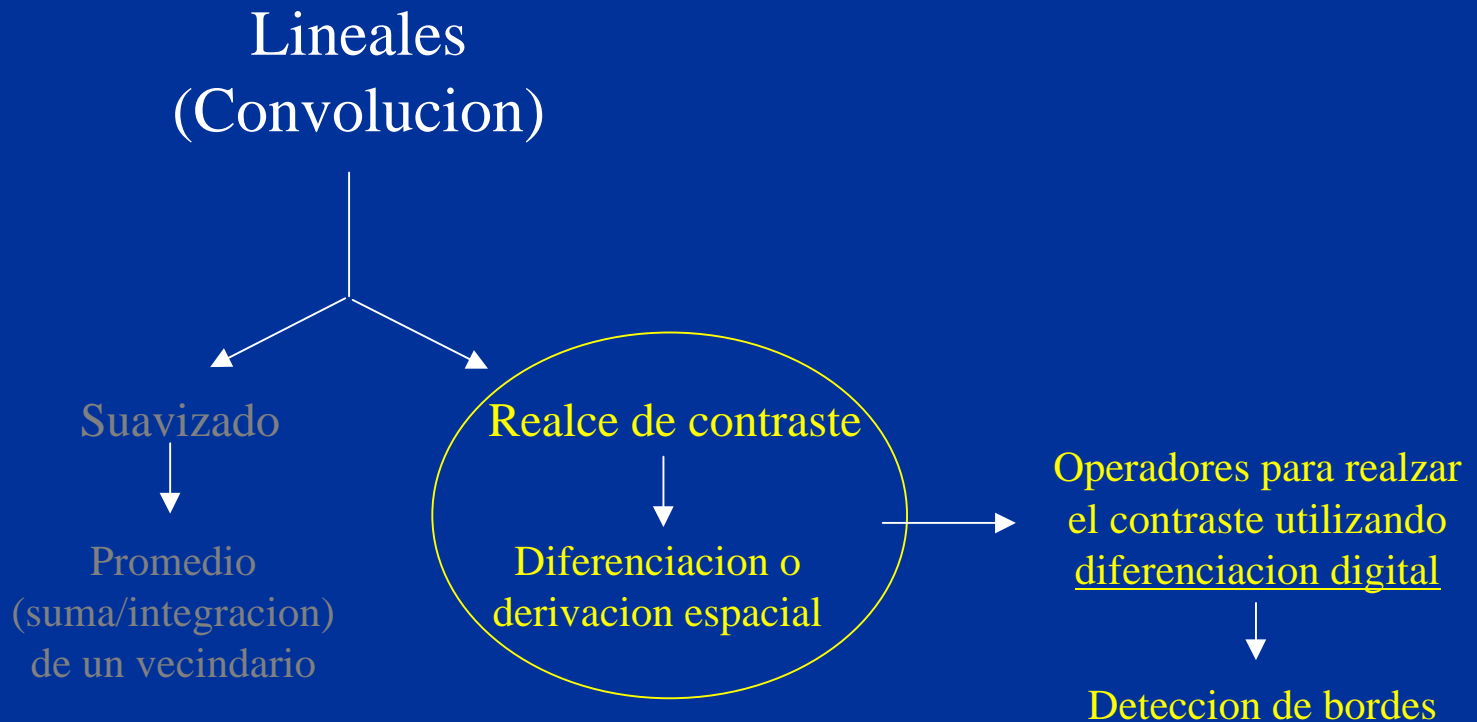
Filtro gaussiano (5 x 5)

# Filtros lineales: GAUSSIANO



# Filtros lineales: DETECCION DE BORDES

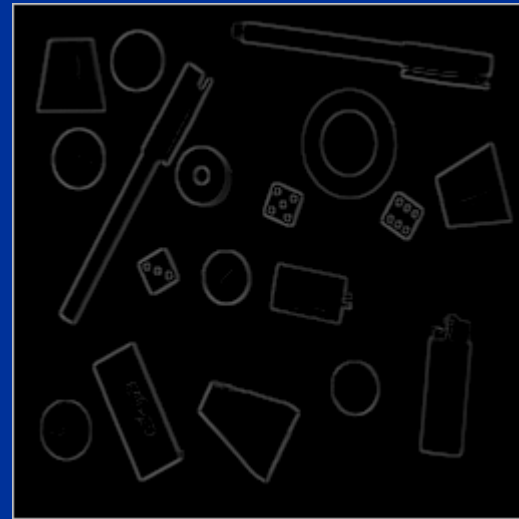
---





# Filtros lineales: DETECCION DE BORDES

---





# Filtros lineales: LAPLACIANO (Der. 2a)

---

- Laplaciano:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x)$$

Implementacion por medio de una mascara de convolucion

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

# Filtros lineales: LAPLACIANO (Der. 2a)

- Se pueden introducir las direcciones diagonales  
–Adicionando dos terminos a la ecuacion (1 x c/direccion)

$$\begin{aligned}\nabla^2 f = & [f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x)] + \\ & [f(x-1, y-1) + f(x+1, y+1) - 2f(x, y)] + \\ & [f(x+1, y-1) + f(x-1, y+1) - 2f(x, y)]\end{aligned}$$

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

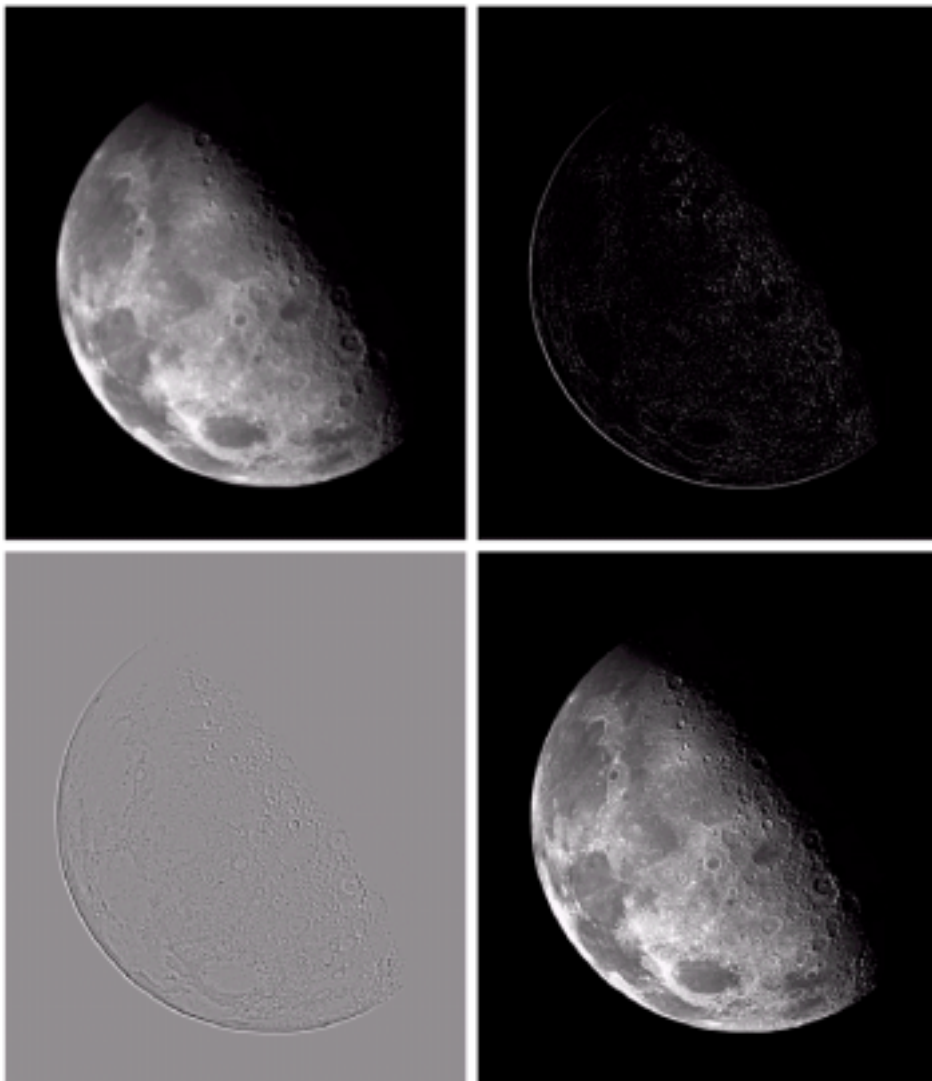
Mascara  
correspondiente

# Filtros lineales: LAPLACIANO (Der. 2a)

a b  
c d

**FIGURE 3.40**

(a) Image of the North Pole of the moon.  
(b) Laplacian-filtered image.  
(c) Laplacian image scaled for display purposes.  
(d) Image enhanced by using Eq. (3.7-5).  
(Original image courtesy of NASA.)



- Detalles + claros
- Realce de las variaciones de nivel de gris

# Filtros lineales: GRADIENTE (Der. 1a)

---

Magnitud del vector:

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla \mathbf{f}) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$$

Se aproxima con

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y|$$

# Filtros lineales: GRADIENTE (Der. 1a)

---

1. Definicion de una formulacion discreta
2. Construcccion de una mascara de convolucion con base en (1)

# Filtros lineales: GRADIENTE (Der. 1a)

---

- Derivada parcial en x:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x, y+1) - f(x, y)$$

-1	0
1	0

- Derivada parcial en y:

$$\frac{\partial f}{\partial y} = f(x+1, y) - f(x, y)$$

-1	1
0	0

# Filtros lineales: GRADIENTE (Der. 1a)

---

- Otra propuesta (Robert):
  - Diferencias cruzadas (gradiente a lo largo de las direcciones a  $45^\circ$  y a  $-45^\circ$ )

$$G_x = f(x+1, y+1) - f(x, y)$$

-1	0
0	1

$$G_y = f(x, y+1) - f(x+1, y)$$

0	-1
1	0

# Filtros lineales: GRADIENTE (Der. 1a)

---

- Generalmente se usan mascaras de 3x3

$z_1$	$z_2$	$z_3$
$z_4$	$z_5$	$z_6$
$z_7$	$z_8$	$z_9$

$$G_x = (Z_7 + Z_8 + Z_9) - (Z_1 + Z_2 + Z_3)$$

$$G_y = (Z_3 + Z_6 + Z_9) - (Z_1 + Z_4 + Z_7)$$



# Filtros lineales: GRADIENTE (Der. 1a)

a  
b c  
d e  
f g

**FIGURE 10.8**

A  $3 \times 3$  region of an image (the  $z$ 's are gray-level values) and various masks used to compute the gradient at point labeled  $z_5$ .

$z_1$	$z_2$	$z_3$
$z_4$	$z_5$	$z_6$
$z_7$	$z_8$	$z_9$

-1	0	0	-1
0	1	1	0

Roberts

-1	-1	-1	-1	0	1
0	0	0	-1	0	1
1	1	1	-1	0	1

Prewitt

-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
1	2	1	-1	0	1

Sobel

suma de coeficientes = 0



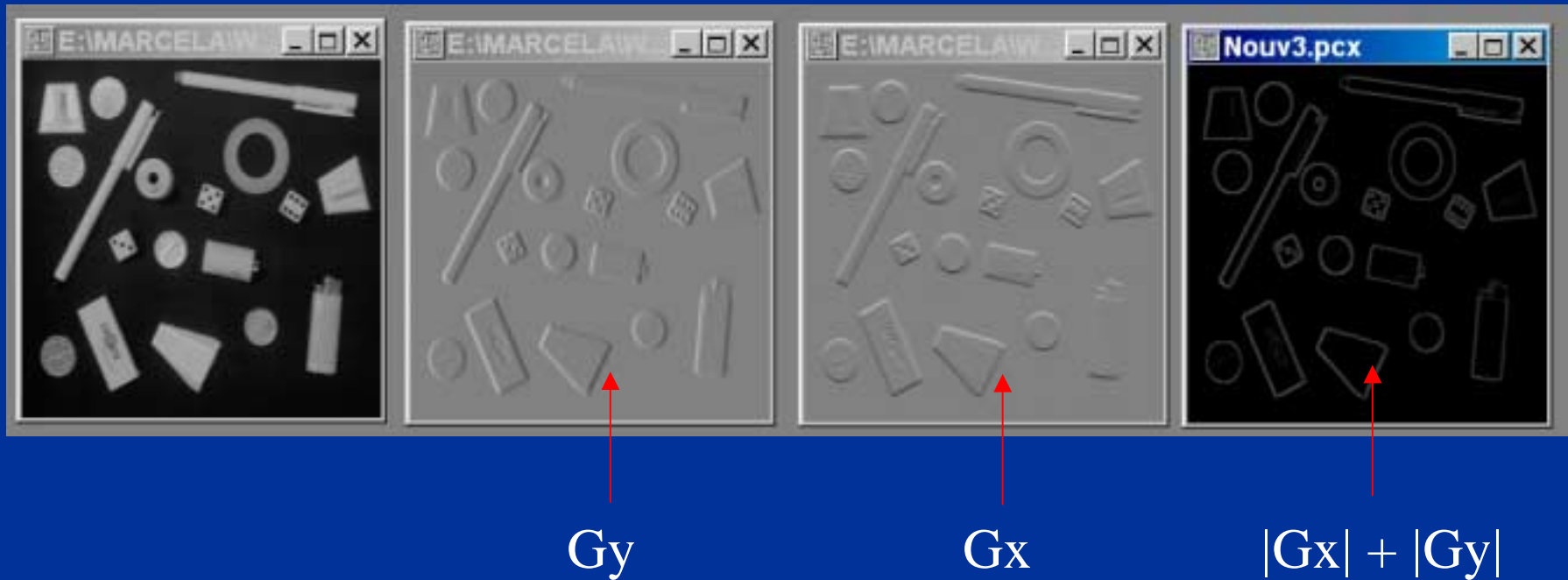
Respuesta del filtro = 0  
en regiones homogneas

$$G_x = (Z_7 + Z_8 + Z_9) - (Z_1 + Z_2 + Z_3)$$

$$G_y = (Z_3 + Z_6 + Z_9) - (Z_1 + Z_4 + Z_7)$$

- Efecto de suavizacion

# Filtros lineales: GRADIENTE (Der. 1a)



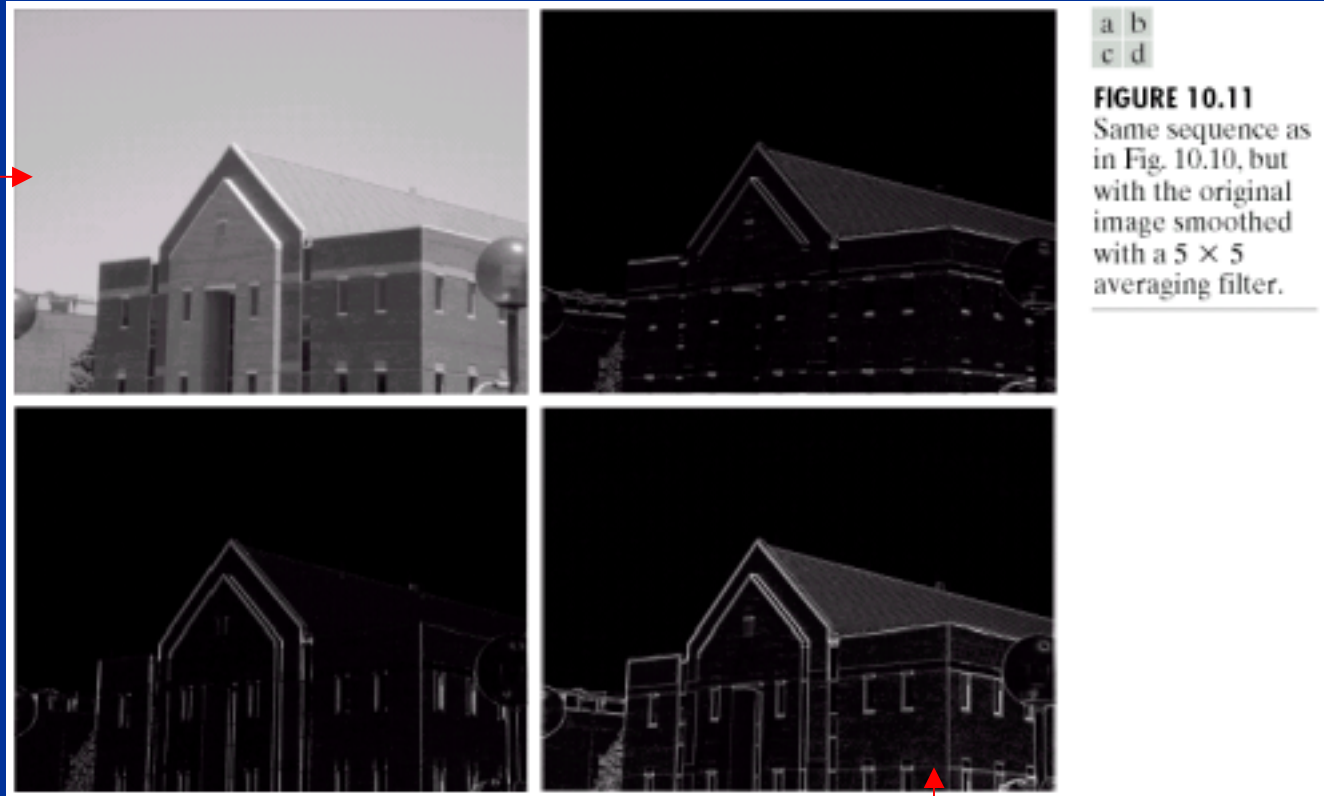
# Filtros lineales: GRADIENTE (Der. 1a)



Nivel de detalle no deseado

# Filtros lineales: GRADIENTE (Der. 1a)

Imagen  
original  
filtrada



Se eliminaron los detalles