

# Tema 1: Transformaciones de intensidad y filtrado espacial

1.1. Introducción. Modelos de color

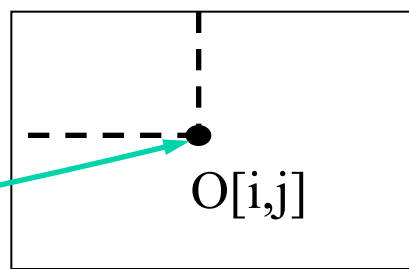
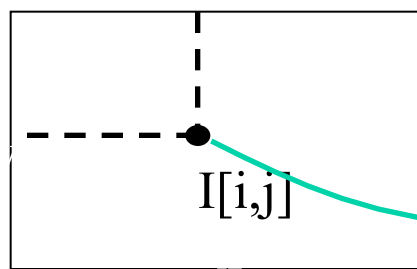
1.2. Transformaciones punto a punto

1.3. Transformaciones globales. Modificación del histograma

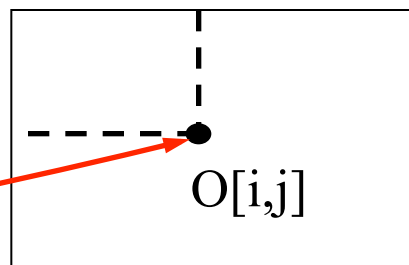
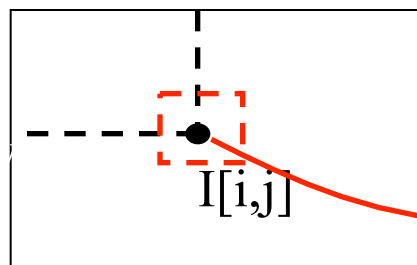
**1.4. Transformaciones locales. Filtrado espacial**

# Tipos de transformaciones

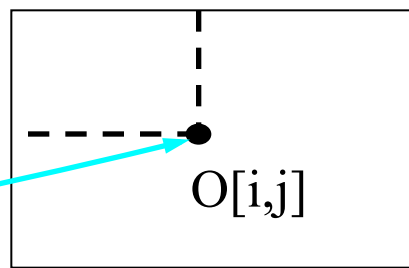
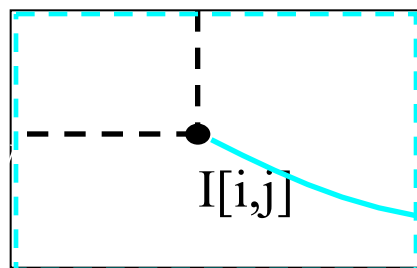
Tipos de transformaciones considerando una imagen  $I$ . La clasificación atiende a la extensión de la zona de procesado de  $I$  (*input*) utilizada para determinar el nivel de intensidad en un punto de coordenadas  $[i,j]$  en la imagen resultado  $O$  (*output*).



Punto a punto  
(transform. logarítmica,  
exponencial, ...)



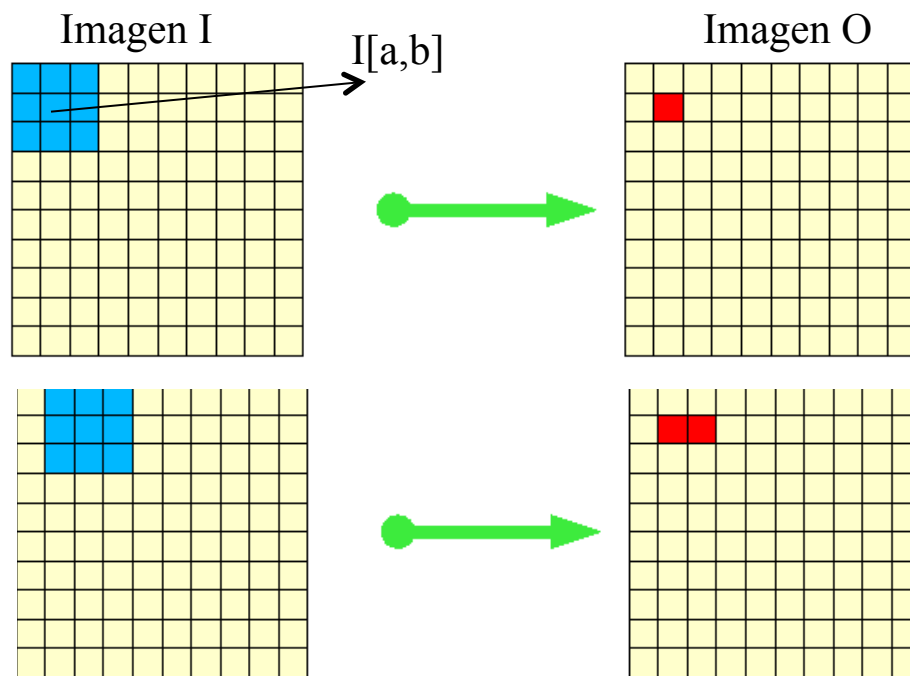
Entorno local



Entorno global

## 1.4 Transformaciones locales. Filtrado espacial

Para determinar el nivel de intensidad  $O[a,b]$  en la imagen transformada utilizan el valor del píxel de coordenadas  $[a,b]$  de la imagen original ( $I[a,b]$ ) y los valores de los píxeles vecinos.



Las regiones de vecindad (entornos locales) suelen ser *subimágenes* cuadradas de tamaño impar denominadas **máscaras** o **filtros espaciales**.

Por tanto, la máscara determina el entorno del píxel  $[a,b]$  de la imagen I que se considera para obtener el valor del píxel en  $O[a,b]$ . Es necesario definir el **centro de la máscara**, que no tiene por qué coincidir con su centro geométrico (elemento que se posiciona en el píxel  $[a,b]$ ).

Estas transformaciones permiten realizar **filtrados** en el dominio **espacial**: p.e., para reducir el efecto del ruido  $\Rightarrow$  útiles en la mejora y análisis de imágenes.

## 1.4 Transformaciones locales. Filtrado espacial

Al aplicar un filtro espacial, ¿qué “problema” observa con los píxeles situados en el borde de la imagen?

¿Cómo se puede realizar el tratamiento de los bordes de la imagen?

**Opción 1) Reducir el tamaño de la imagen origen** tal que la máscara de filtrado esté completamente dentro de la imagen.

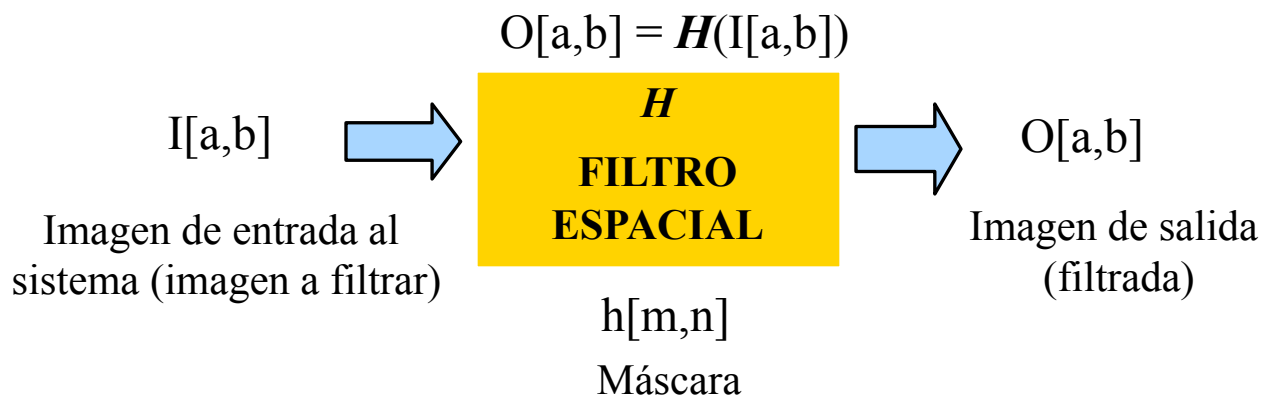
**Opción 2) Mantener el tamaño de la imagen origen** tal que todos los píxeles de la imagen origen estén al menos una vez en la posición asociada al centro de la máscara. Es necesario por tanto “extender” artificialmente el tamaño de la imagen origen para que la máscara de filtrado tenga valores numéricos bajo todas sus posiciones.

Dos tipos de relleno (*padding*): *zero padding*; *mirror-padding*.

Con *zero padding*, el dominio espacial de la imagen se extiende con valores “0”.

Con *mirror padding*, el dominio espacial de la imagen se extiende replicando los valores de la imagen origen. Para ello, cada uno de los bordes (horizontales y verticales) que limitan el tamaño de la imagen se consideran como *ejes de reflexión*.

## 1.4 Transformaciones locales. Filtrado espacial



Un tipo de filtros  $H$  muy interesante son los filtros LSI (del inglés *Linear Shift-Invariant*, i.e. Lineales e Invariantes en el Espacio).

Propiedades de un filtro  $H$  LSI:

a) Linealidad 
$$H(c_1 I_1[a,b] + c_2 I_2[a,b]) = c_1 H(I_1[a,b]) + c_2 H(I_2[a,b])$$

b) Invariancia espacial: la respuesta en un punto es independiente de su posición absoluta en la imagen. Por tanto, la *forma* de la respuesta no cambia con los desplazamientos de la imagen.

$$H(I[a - x_0, b - y_0]) = O[a - x_0, b - y_0]$$

Respuesta impulsional

$$h[m,n] = H(\delta[m,n])$$

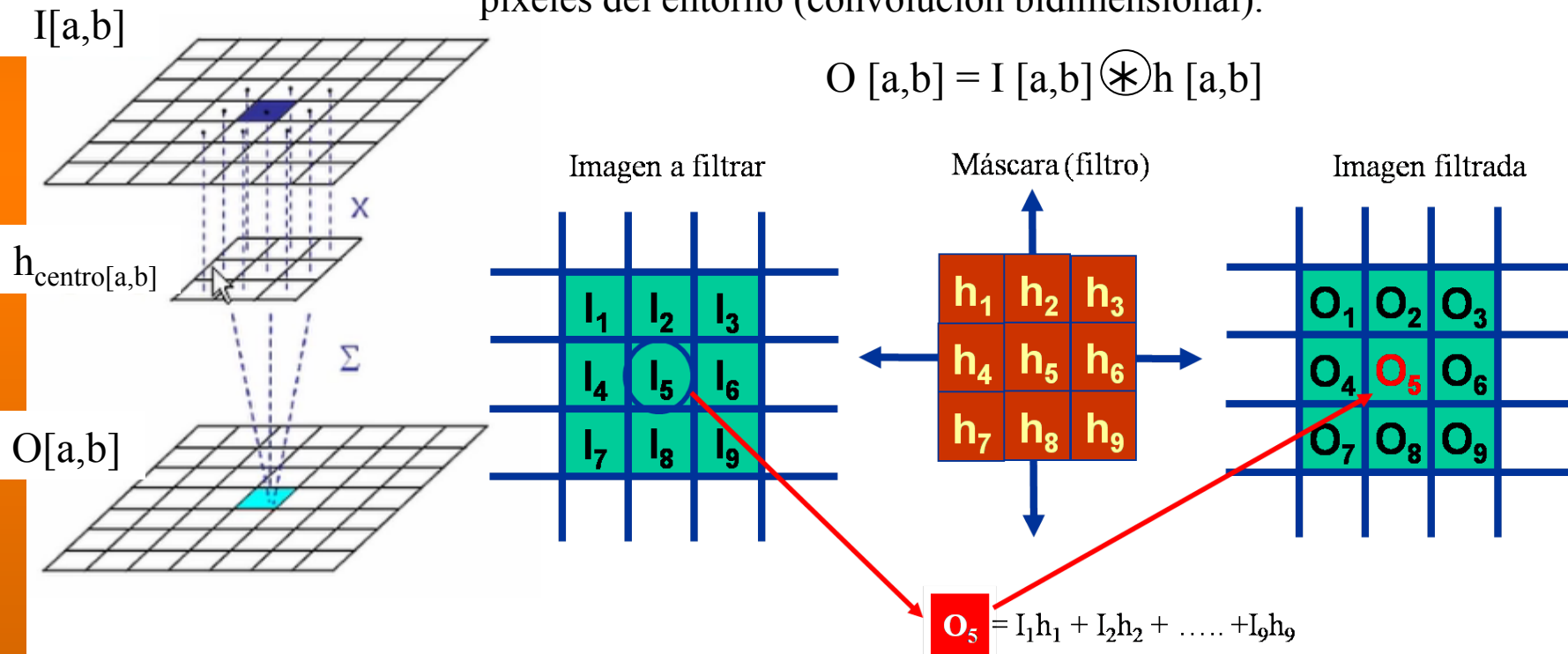
La salida se puede determinar a partir de la convolución de la imagen de entrada con la respuesta impulsional *PSF* (del inglés *Point Spread Function*).

## 1.4 Transformaciones locales. Filtrado espacial

El filtrado se suele especificar mediante una máscara  $h$ . En los filtros LSI,  $h$  es una matriz de números que recoge los coeficientes de la combinación lineal (respuesta impulsional bidimensional).

El resultado de aplicar un filtrado lineal en un entorno se puede interpretar como una combinación lineal de los valores de los píxeles del entorno (convolución bidimensional).

$$O[a,b] = I[a,b] \circledast h[a,b]$$

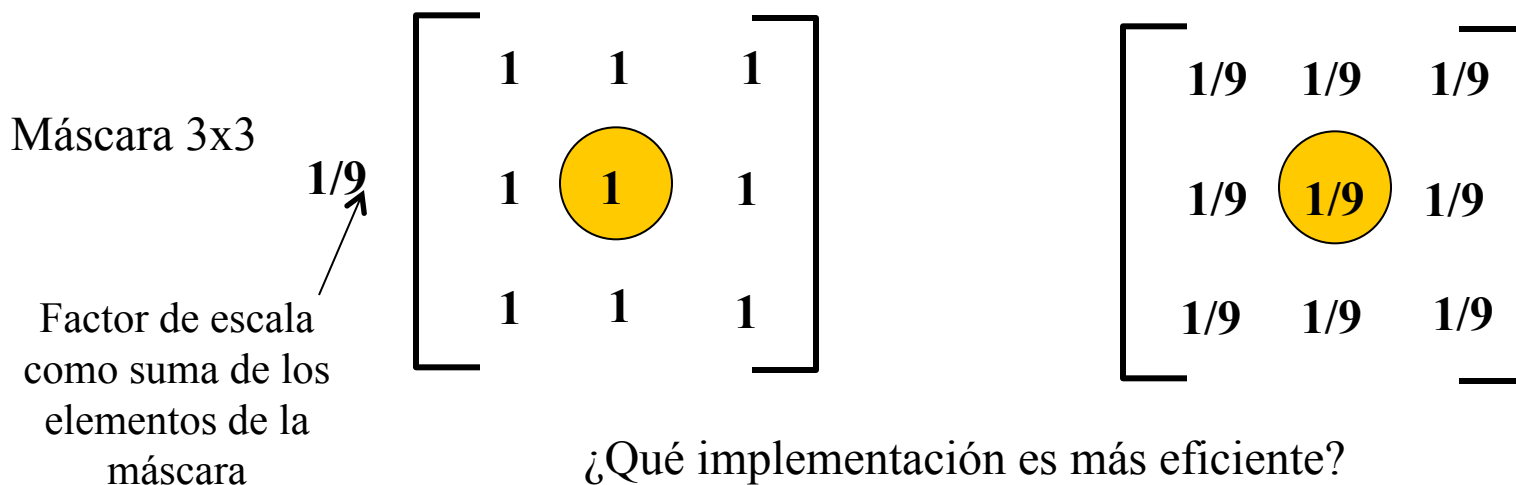


Los valores de los coeficientes de la máscara caracterizan el tipo de filtro a aplicar: paso alto, paso bajo, detector de bordes, ...

## 1.4 Transformaciones locales. Filtrado espacial

### *Filtros LSI suavizadores (smoothing)*

- Son filtros paso bajo: atenúan altas frecuencias (espaciales), dejando pasar bajas frecuencias
- Un filtro LSI suavizador promedia los valores de los píxeles en un entorno



- Se utilizan para reducir ruido, aunque también producen un efecto de *difuminado* (*blurring*) de los bordes y otros detalles  $\Rightarrow$  pérdida de nitidez.
- Limitar el tamaño de la máscara también limita el número de coeficientes del filtro, lo que conduce a limitar la precisión de la frecuencia de corte del filtro.

## 1.4 Transformaciones locales. Filtrado espacial

### *Ejemplo de filtro LSI suavizador de media con máscaras cuadradas de tamaño creciente*

**FIGURE 3.33** (a) Original image, of size  $500 \times 500$  pixels. (b)–(f) Results of smoothing with square averaging filter masks of sizes  $m = 3, 5, 9, 15,$  and  $35$ , respectively. The black squares at the top are of sizes  $3, 5, 9, 15, 25, 35, 45,$  and  $55$  pixels, respectively; their borders are 25 pixels apart. The letters at the bottom range in size from 10 to 24 points, in increments of 2 points; the large letter at the top is 60 points. The vertical bars are 5 pixels wide and 100 pixels high; their separation is 20 pixels. The diameter of the circles is 25 pixels, and their separation is 15 pixels apart; their intensity levels range from 0% to 100% black in increments of 20%. The background of the image is 10% black. The noisy rectangles are of size  $50 \times 120$  pixels.



El efecto de difuminado es tanto más fuerte cuanto mayor sea el tamaño de la máscara. Por tanto, el tamaño de la máscara guarda relación con la frecuencia de corte del filtro.



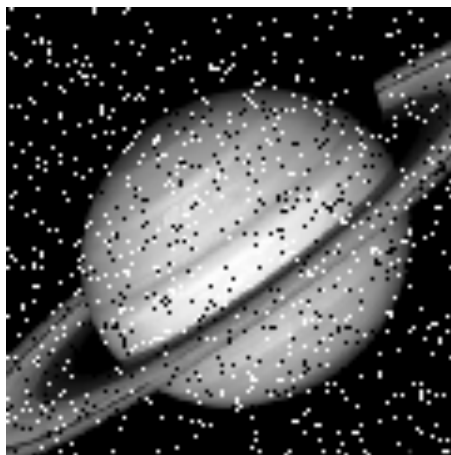
## 1.4 Transformaciones locales. Filtrado espacial

### *Ejemplos con filtros LSI suavizadores*

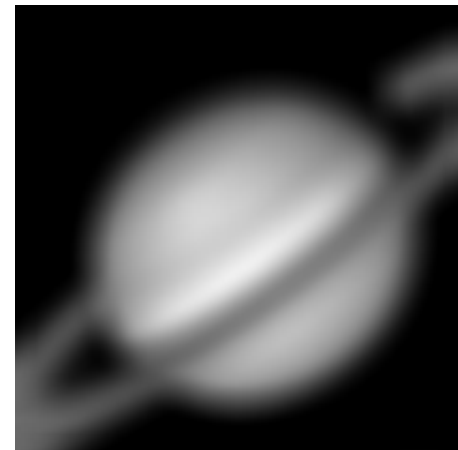
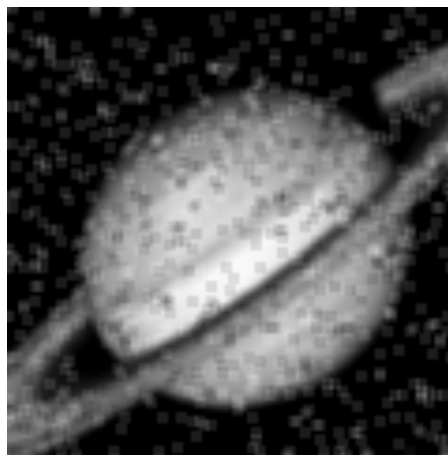
Original



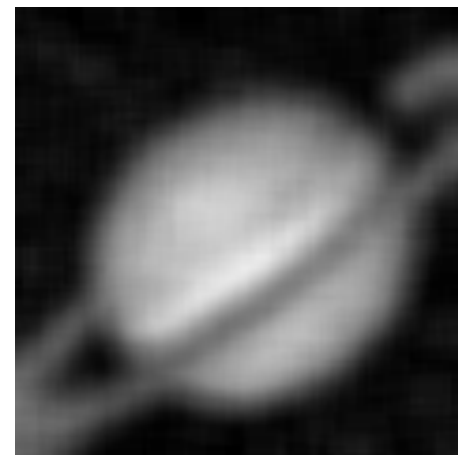
Original con  
ruido impulsivo



Filtrada con  
máscara 3x3



Filtrada con  
máscara 11x11



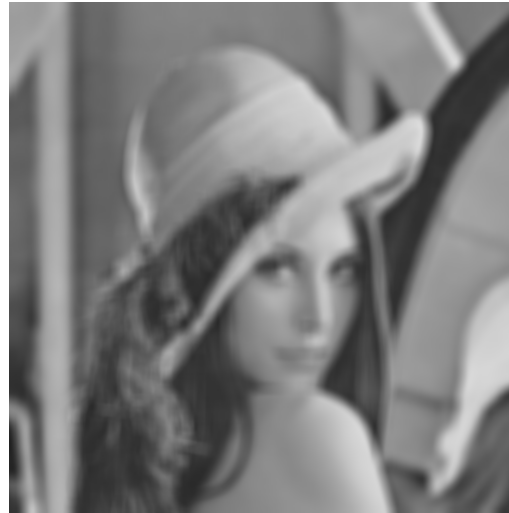
## 1.4 Transformaciones locales. Filtros LSI de realce de bordes (I)



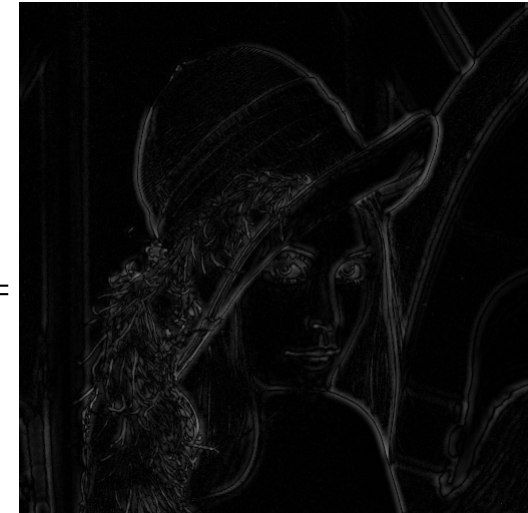
- Son filtros que extraen o realzan los bordes (detalles *finos*).
- Los bordes corresponden a transiciones de niveles de intensidad significativamente distintos (altas frecuencias espaciales). Proporcionan información sobre las fronteras de los objetos y perceptualmente son muy importantes.
- Tipos de filtros de realce:
  - Filtro paso alto
  - Filtros diferenciales (basados en derivadas)
- El módulo de una imagen filtrada paso-alto se puede obtener como el módulo de la diferencia entre la imagen original y la suavizada (paso-bajo):



-



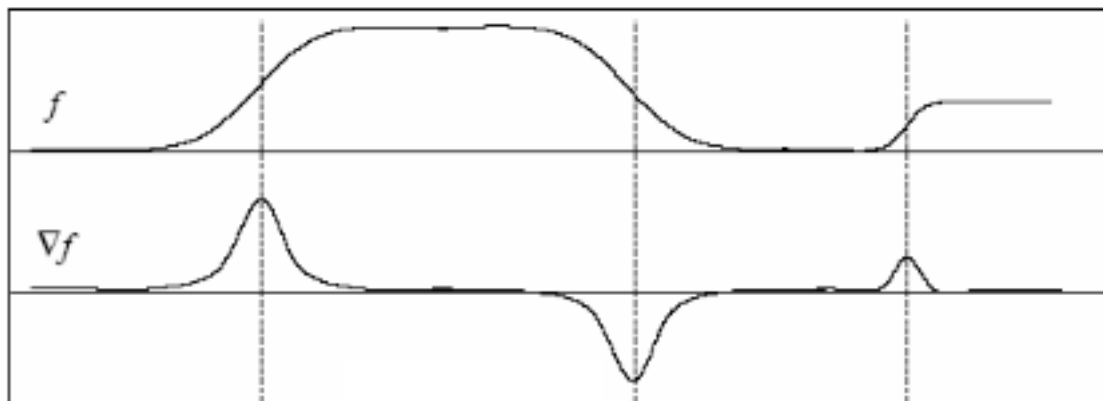
=



## Repaso de la función gradiente uni-dimensional

Si consideramos una señal analógica (variación continua) que refleje el perfil de intensidad a lo largo de una línea de una imagen analógica, podemos tener una señal como la representada en la primera figura del siguiente panel.

Puesto que la variable independiente sólo es una (la dirección de la línea), el gradiente es nuevamente una señal unidimensional que refleja la “velocidad” de cambio de niveles de intensidad en la línea.



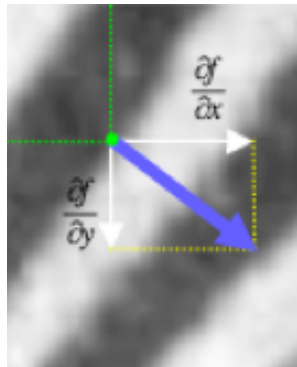
El objetivo del operador gradiente es detectar cambios en los niveles de gris que tienen lugar en zonas o regiones “reducidas”. A la **magnitud del gradiente** se le conoce como “fuerza del borde”.

## 1.4 Transformaciones locales. Filtros LSI de realce de bordes (II)



- Puesto que el filtro de media es equivalente, matemáticamente, a una integración de los niveles de intensidad de los píxeles del entorno, es razonable asumir que una diferenciación o derivada de los mismos tendrá el efecto contrario (realzar los bordes).

La transformación del gradiente en un punto de coordenadas  $(x,y)$  corresponde a un vector de dos componentes,



$$\text{Gradiente}(f(x, y)) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

El gradiente expresa el ratio de cambio **por unidad de distancia en la dirección del vector**.

El gradiente se caracteriza por su magnitud (módulo) y dirección. Normalmente sólo se usa la magnitud.

$$\text{Magnitud} \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$$

En el caso de una imagen digital, que corresponde a una matriz bidimensional discreta, las derivadas parciales se pueden aproximar por diferencias de intensidades entre píxeles adyacentes. Por ejemplo:

$$\sqrt{(f(x, y) - f(x+1, y))^2 + (f(x, y) - f(x, y+1))^2}$$

Existen muchas aproximaciones al cálculo del módulo del gradiente (i.e., la expresión que aparece a la izquierda no es única)

## 1.4 Transformaciones locales. Filtros LSI de realce de bordes (III)

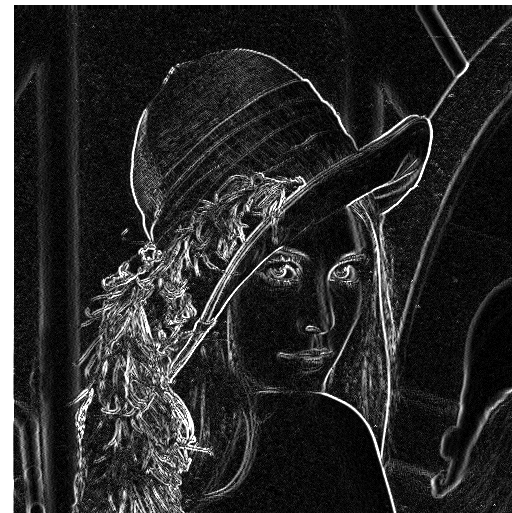


Otra aproximación al gradiente ...  $\sqrt{(f(x, y) - f(x+1, y+1))^2 + (f(x+1, y) - f(x, y+1))^2}$

Existen muchas formas de implementar el operador gradiente, así como de obtener su magnitud (suma de módulos, o raíz cuadrada de la suma del cuadrado de las derivadas parciales)

$$\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \quad \left|\frac{\partial f}{\partial x}\right| + \left|\frac{\partial f}{\partial y}\right|$$

Las expresiones anteriores indican que el gradiente es (aproximadamente) proporcional a la diferencia de niveles de intensidad entre píxeles adyacentes  $\Rightarrow$  es lógico que el módulo del gradiente tome valores altos en aquellas zonas con cambios “bruscos” de contraste, asumiendo pequeños valores sólo en las regiones con niveles de intensidad más o menos constantes.



## 1.4 Transformaciones locales. Filtros LSI de gradiente (I)

La implementación de la transformación correspondiente al gradiente se realiza con dos máscaras, de modo que cada máscara detecta la derivada en una dirección (direcciones ortogonales).

Según sea la máscara empleada para aproximar el módulo del gradiente, se obtienen diferentes aproximaciones:

Filtro de Sobel

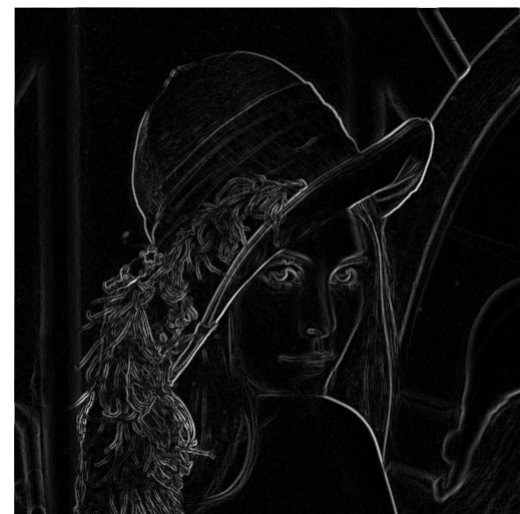
Filtro de Prewitt

**Filtro de Sobel.** Dada una imagen, la filtramos con dos máscaras ( $H_x$  y  $H_y$ ) y obtenemos dos imágenes, que se componen en la imagen módulo del gradiente (comúnmente denominada imagen de gradiente) a través de su suma.

$$H_x = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

$$H_y = H_x'$$

La máscara  $H_y$  se obtiene aplicando el operador de transposición sobre la máscara  $H_x$ .



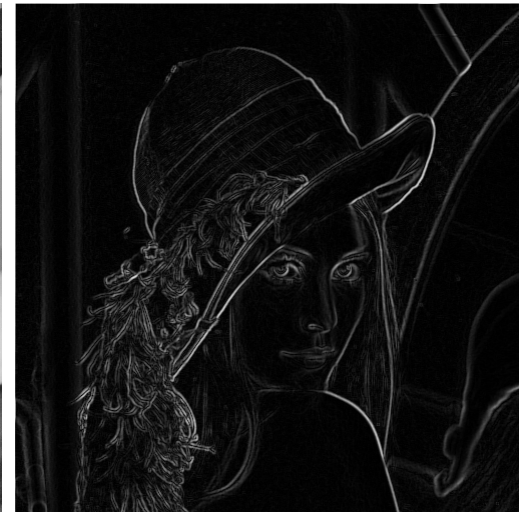


## 1.4 Transformaciones locales. Filtros LSI de gradiente (II)

**Filtro de Prewitt.** Dada una imagen, la filtramos con dos máscaras ( $H_x$  y  $H_y$ ) y obtenemos dos imágenes, que se componen en la imagen módulo.

$$H_x = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$H_y = H_x'$$



Con independencia del tipo de filtro de gradiente utilizado, es frecuente **marcar** las zonas donde la magnitud de gradiente sea superior a un umbral  $T$  (*Thresholding de la imagen gradiente con  $T$* ).

$T=20$



$T=40$

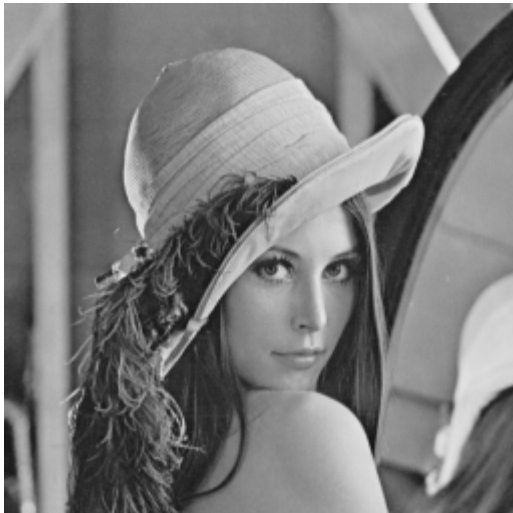


## 1.4 Transformaciones locales. Otros Filtros LSI que realzan bordes (I)



### *Filtros LSI detectores de líneas*

Permiten aislar líneas. Se utilizan máscaras sensibles a cambios de intensidad en la dirección ortogonal a la de la línea que se desea determinar.



Original



	-1	-1	-1
E-O	2	2	2
	-1	-1	-1



	-1	2	-1
N-S	-1	2	-1
	-1	2	-1



## 1.4 Transformaciones locales. Otros Filtros LSI que realzan bordes (II)



- Otras máscaras permiten realzar altas frecuencias (sin orientación preferente), preservando la apariencia de la imagen. Enfatiza las discontinuidades de intensidad y desenfatisa variaciones lentas.
- Si hay ruido, éste se hace más patente.



-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

Se trata de un filtro isotrópico.  
(su respuesta es independiente de la  
dirección de las discontinuidades)

## 1.4 Transformaciones locales. Filtros de estadísticos ordenados



- Son filtros espaciales en los que la operación a realizar es **no lineal** (por tanto, no son filtros LSI).
- Los valores de la imagen original situados bajo la máscara se ordenan de menor a mayor valor según su nivel de intensidad.
- Tipos de filtros:
  - Mínimo: selecciona el valor más pequeño (erosión)
  - Máximo: selecciona el valor más alto (dilatación)
  - Mediana: selecciona el valor correspondiente a la posición intermedia
- Filtros de máximo y mínimo: son operadores morfológicos.
- Filtro de mediana: sirve para eliminar ruido impulsivo (preservando mejor los contornos que el filtro de media).

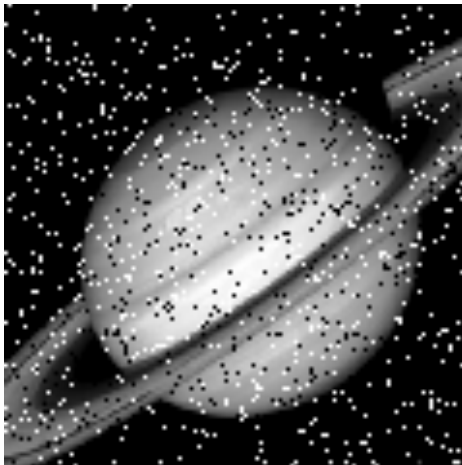
## 1.4 Transformaciones locales. Filtrado espacial

Original

*Ejemplos con filtros suavizadores no LSI (filtros de mediana)*



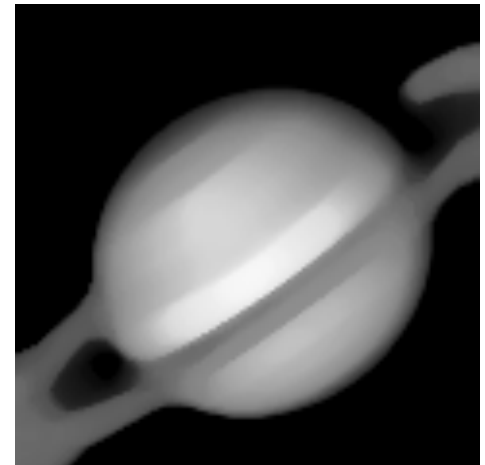
Original con  
ruido impulsivo



Filtrada con  
máscara 3x3

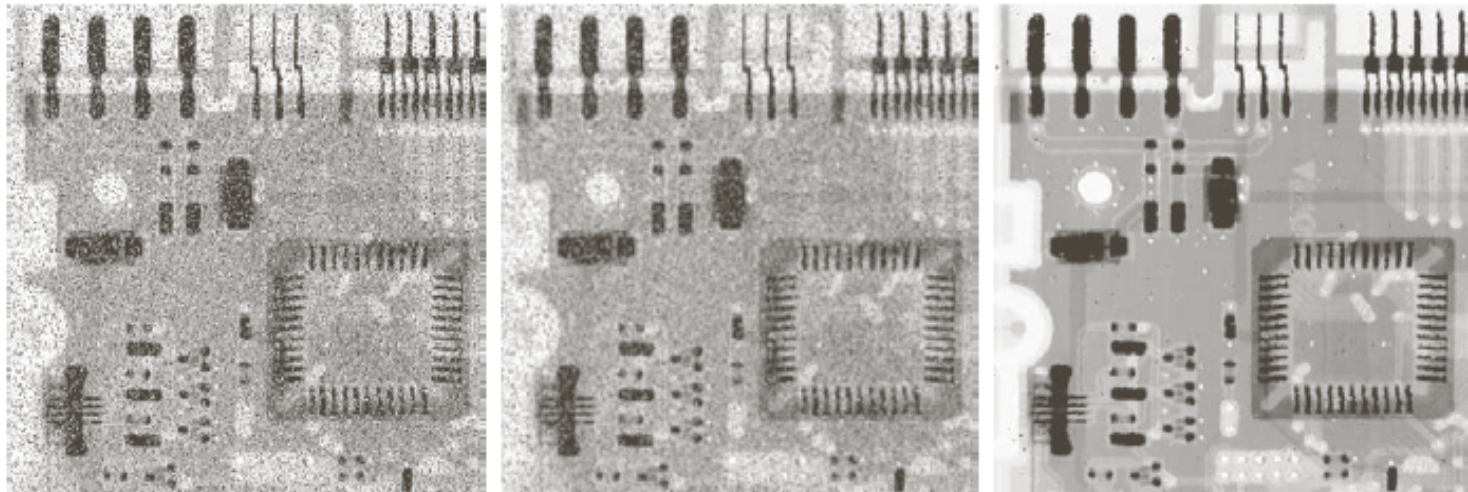


Filtrada con  
máscara 11x11



## 1.4 Transformaciones locales. Filtrado espacial

*Ejemplo de filtrado de media vs. filtrado de mediana con máscaras del mismo tamaño. Imagen original contaminada con ruido de tipo “sal y pimienta”*



a b c

**FIGURE 3.35** (a) X-ray image of circuit board corrupted by salt-and-pepper noise. (b) Noise reduction with a  $3 \times 3$  averaging mask. (c) Noise reduction with a  $3 \times 3$  median filter. (Original image courtesy of Mr. Joseph E. Pascente, Lixi, Inc.)

De Gonzalez & Woods, 2007

¿Qué filtro es más adecuado para reducir el ruido impulsivo?