DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA
INFORMÁTICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

Procesamiento y Análisis de Imágenes

Violeta Chang

violeta.chang@usach.cl

Créditos por slides: José M. Saavedra

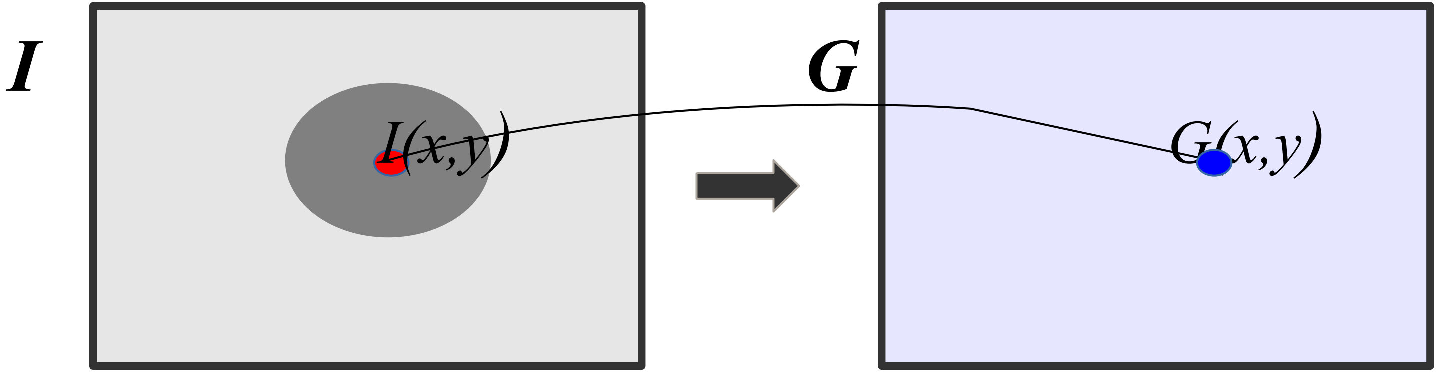
FILTRADO ESPACIAL

- Objetivo: Acentuar o disminuir características
- Entrada: Imagen en escala de grises
- Salida: Imagen en escala de grises
- Proceso: Convolución

$$G(x,y)=\sum_{i\in\vartheta}\sum_{j\in\vartheta} I(x-i,y-j)\,w(i,j)$$

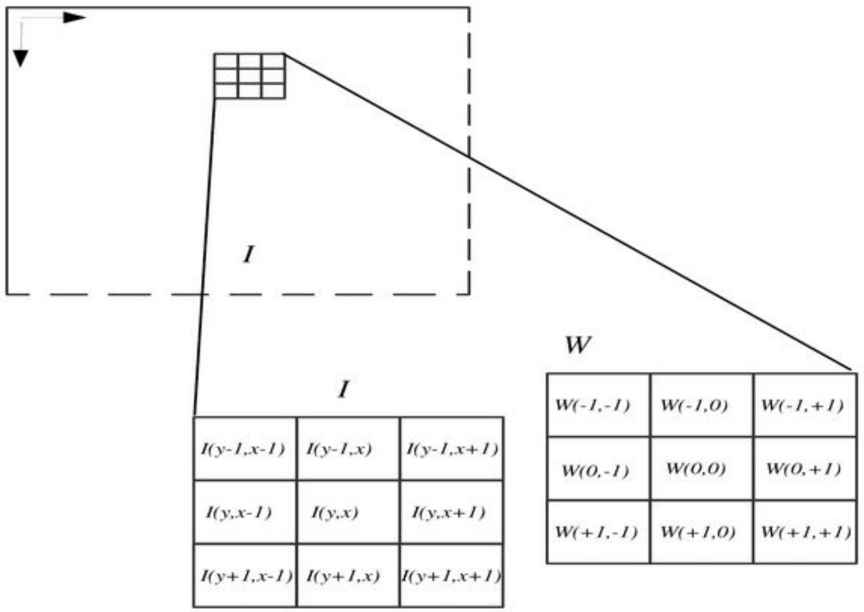
FILTRADO ESPACIAL

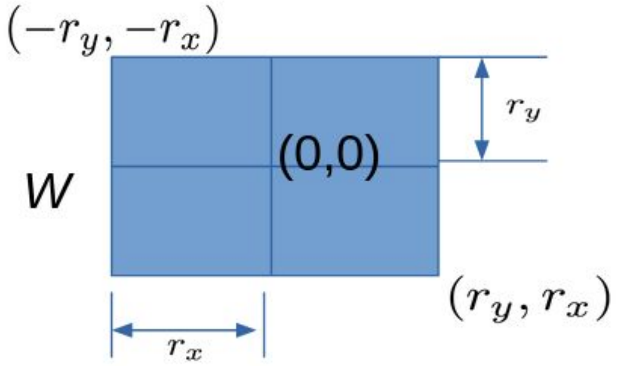
- Requiere
  - Una vecindad o región definida alrededor de un punto.
  - Una operación que se realiza sobre tal vecindad.



FILTRADO ESPACIAL

- **Filtros Lineales**





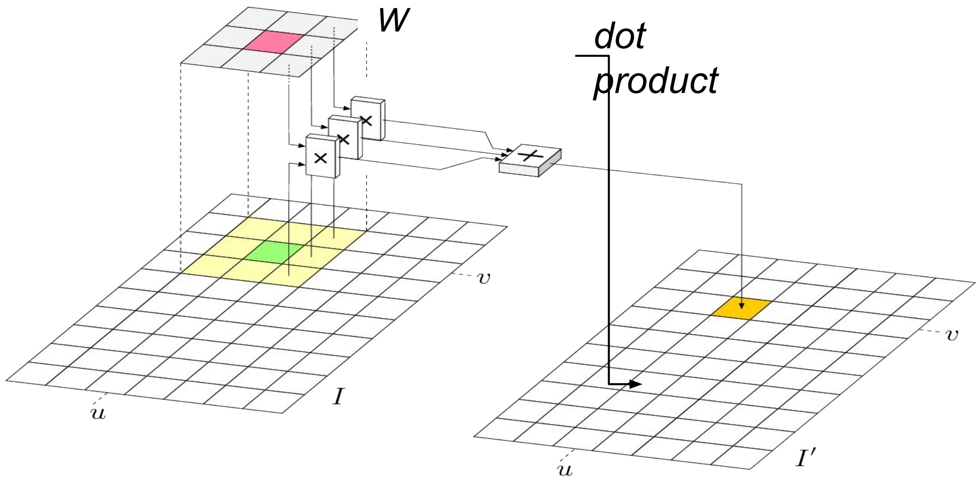
kernel, filtro, máscara

Tamaño:

$$(2r_y + 1) \times (2r_x + 1)$$

FILTRADO ESPACIAL

- **Filtros Lineales**



https://www.youtube.com/watch?v=xjqCTp4xAtA

FILTRADO ESPACIAL

- **Filtros Lineales**
- La operación de filtrado de una imagen *I* de *MxN* y un filtro de tamaño $L_x x L_y$ está dada por la siguiente fórmula:

$$G(y,x) = \sum_{v=-r_y}^{r_y} \sum_{u=-r_x}^{r_x} I(y+v, x+u) W(v,u)$$

$$L_x = 2r_x + 1$$
$$L_y = 2r_y + 1$$

$$G = W \otimes I$$

correlación

FILTRADO ESPACIAL

- Núcleo de convolución : Máscara

$w_{1,1}$	$w_{1,2}$	$w_{1,3}$
$w_{2,1}$	$w_{2,2}$	$w_{2,3}$
$w_{3,1}$	$w_{3,2}$	$w_{3,3}$

I_1	I_2	I_3
I_4	I_5	I_6
I_7	I_8	I_9

$$R = w_{1,1}I_1 + w_{1,2}I_2 + w_{1,3}I_3 + w_{2,1}I_4 + \ldots + w_{3,3}I_9$$

FILTRADO ESPACIAL

- **Filtros Lineales**

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{bmatrix} \qquad W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W \otimes I = ?$$

$$I \otimes W = ?$$

FILTRADO ESPACIAL

- **Convolución**
  - Similar a correlación pero la máscara es reflejada.
  - Esto permite que un impulso unitario produzca una copia del filtro en la ubicación del impulso.
  - La operación de **convolución** está dada por:

$$G(y,x) = \sum_{v=-r_y}^{r_y} \sum_{u=-r_x}^{r_x} I(y-v, x-u) W(v,u)$$

$$G = W * I$$

Si el filtro es simétrico tanto correlación y convolución generan el mismo resultado.

FILTROS LINEALES

- Propiedades de Convolución
  - Conmutativa

$$I * W = W * I$$

  - Linealidad

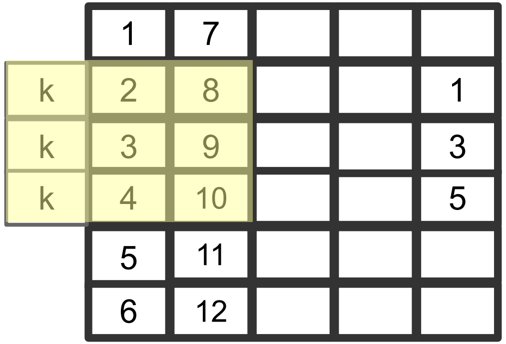
$$\begin{aligned}(s \cdot I) * W &= I * (s \cdot W) = s \cdot (I * W) \\ (I_1 + I_2) * W &= I_1 * W + I_2 * W\end{aligned}$$

  - Asociativa

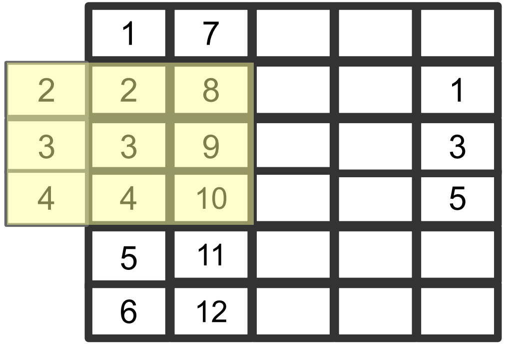
$$A * (B * C) = (A * B) * C$$

FILTRADO ESPACIAL

- **Filtros Lineales**
- ¿Qué pasa con la aplicación del filtro en los extremos?



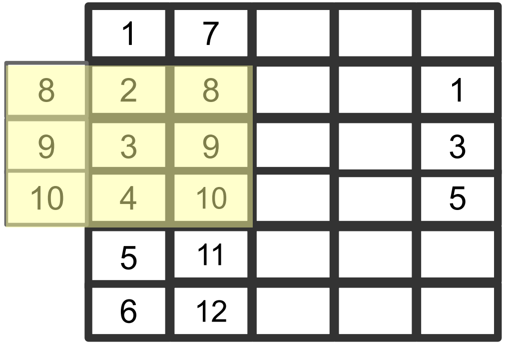
Valor Constante (k)



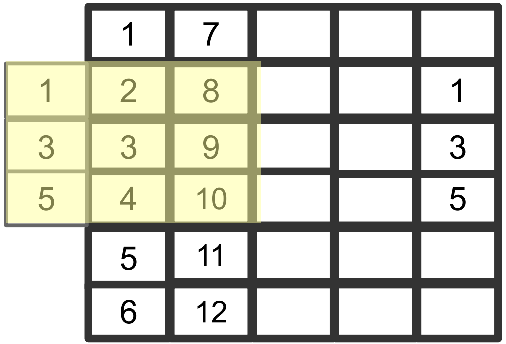
Replicar

FILTRADO ESPACIAL

- **Filtros Lineales**
- ¿Qué pasa con la aplicación del filtro en los extremos?



Reflejar

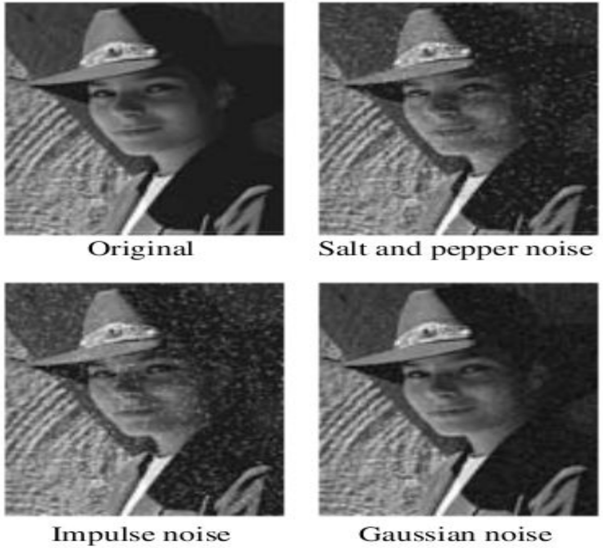


Wrap

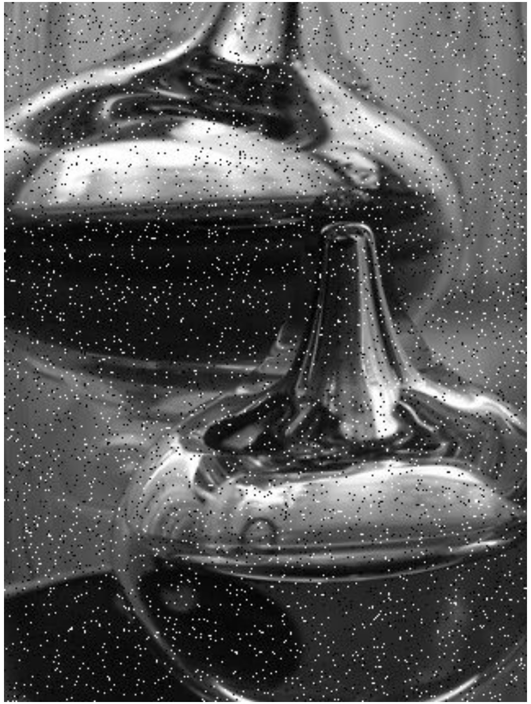
FILTROS LINEALES

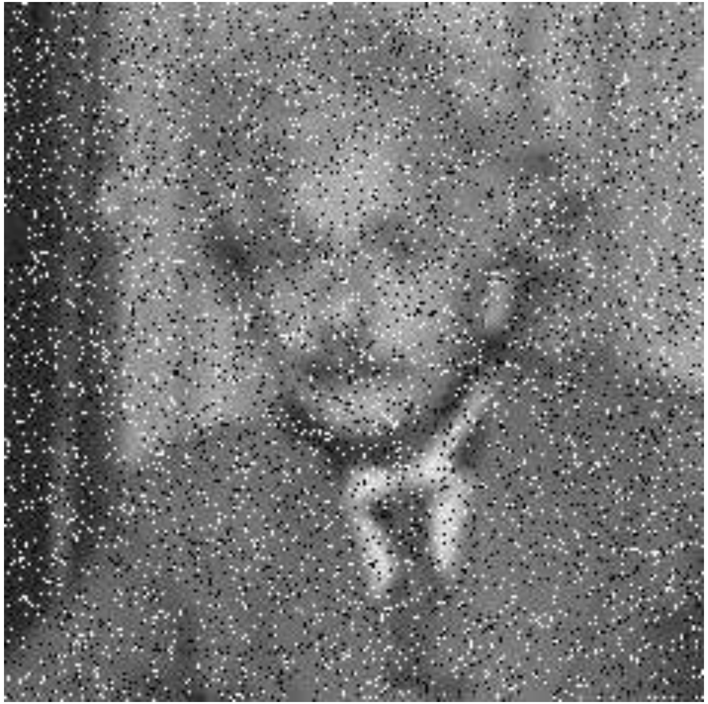
- **Filtros de Suavizamiento**
  - Permite eliminar detalle en una imagen.
  - Permite reducir el ruido en una imagen (*noise reduction*).

- **Ruido sal-pimienta:** Ocurrencia aleatoria de pixels blancos y negros.
- **Ruido de Impulso:** Ocurrencia aleatoria de pixels blancos.
- **Ruido Gaussiano:** Variación de intensidad dada por una distribución Gaussiana.



FILTROS LINEALES



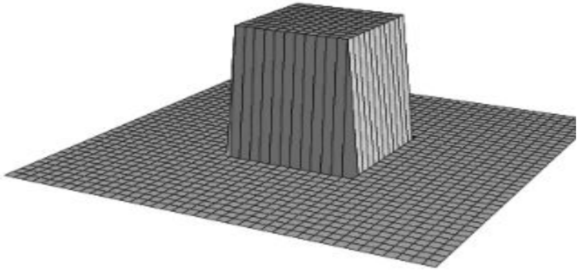


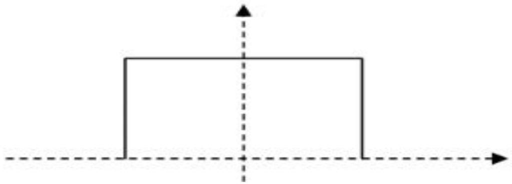
FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - **Filtro promedio** *(BOX FILTER)*

(1/9)

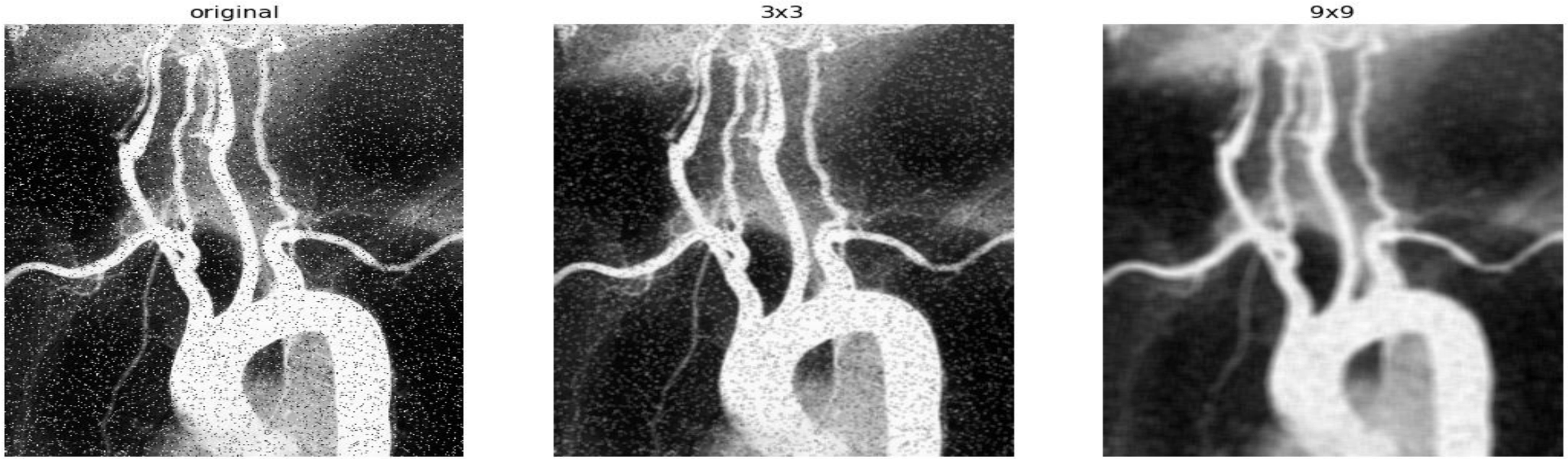
1	1	1
1	1	1
1	1	1





FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - Filtro promedio *(BOX FILTER)*



FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - Filtro promedio *(BOX FILTER)*

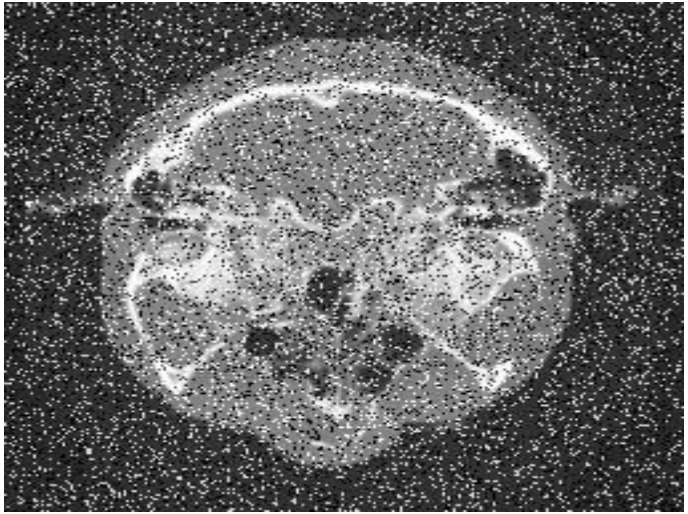


Imagen Original

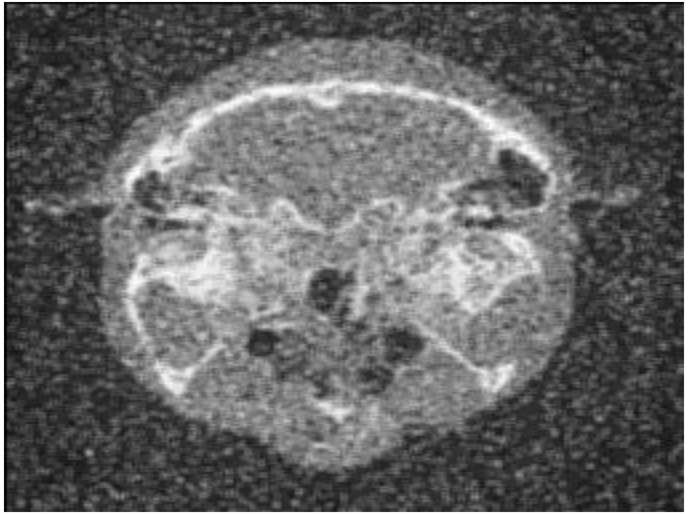


Imagen Suavizada

FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - **Filtro promedio ponderado**

$$w = \frac{1}{10}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - Filtro promedio ponderado

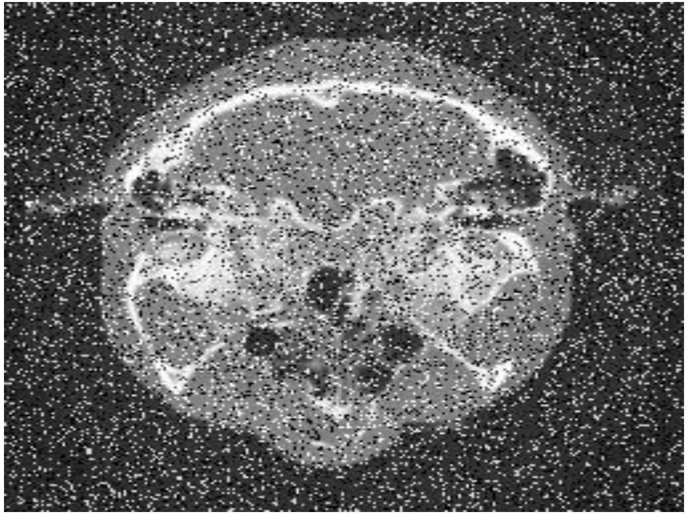
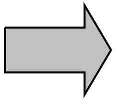


Imagen Original



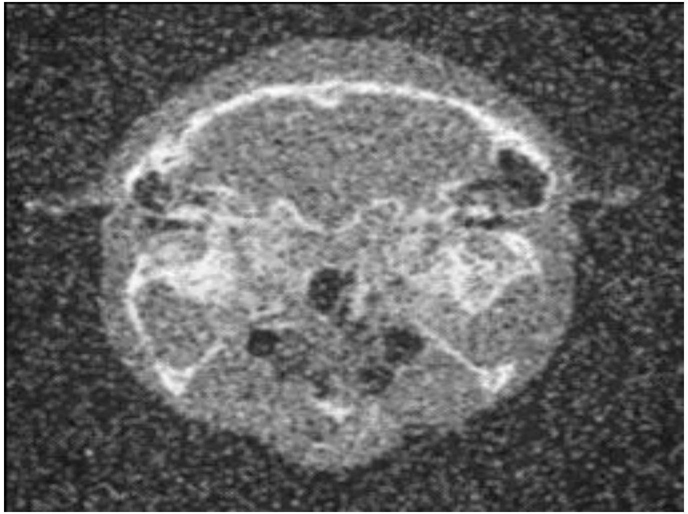
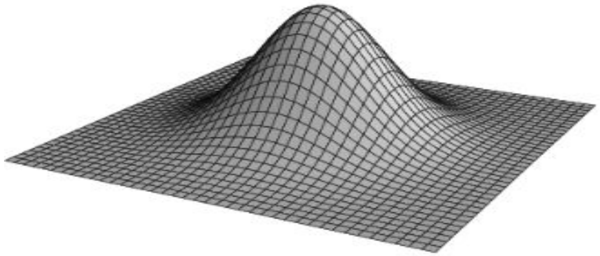


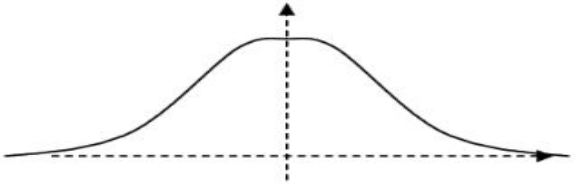
Imagen Suavizada

FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - **Filtro Gaussiano**



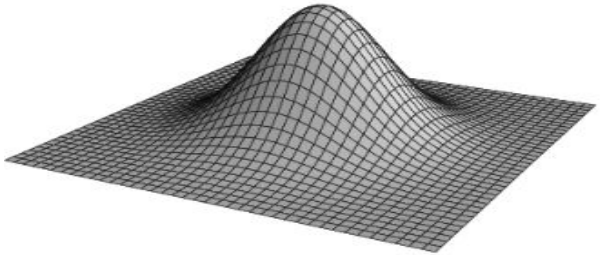
$$W(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\left(\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)}$$

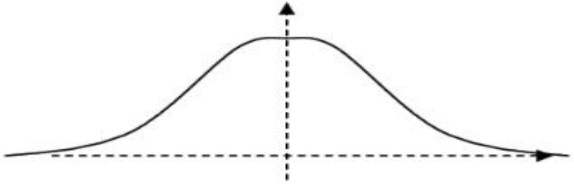


FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - Filtro Gaussiano

0	1	2	1	0
1	3	5	3	1
2	5	9	5	2
1	3	5	3	1
0	1	2	1	0

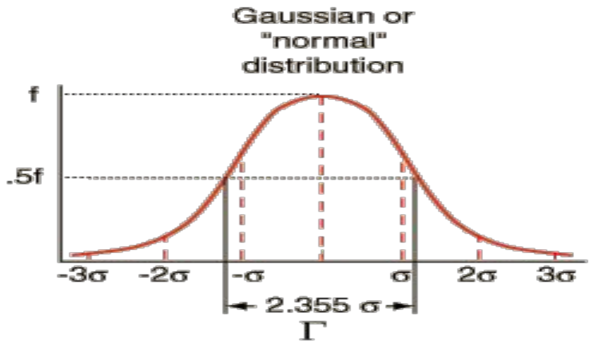


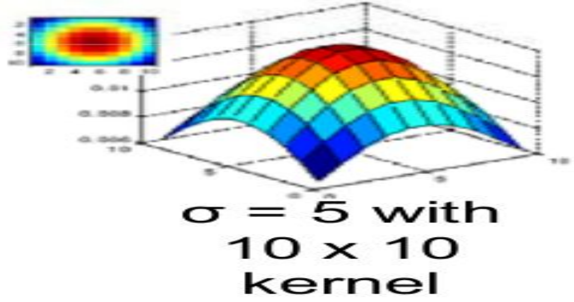


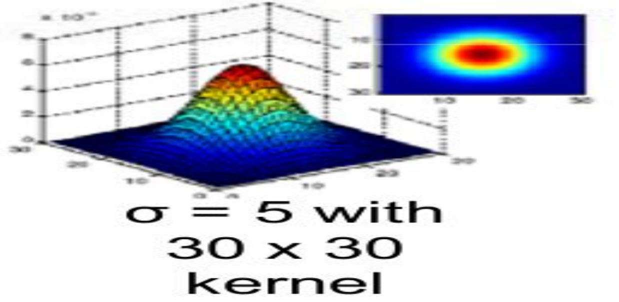
FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - Filtro Gaussiano

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

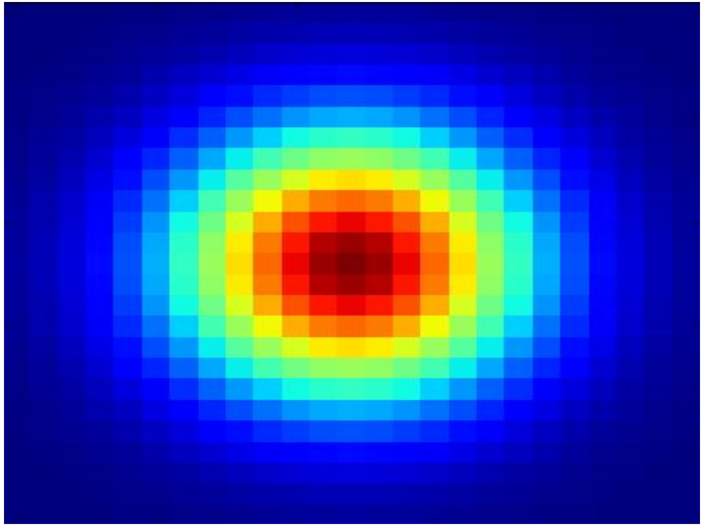




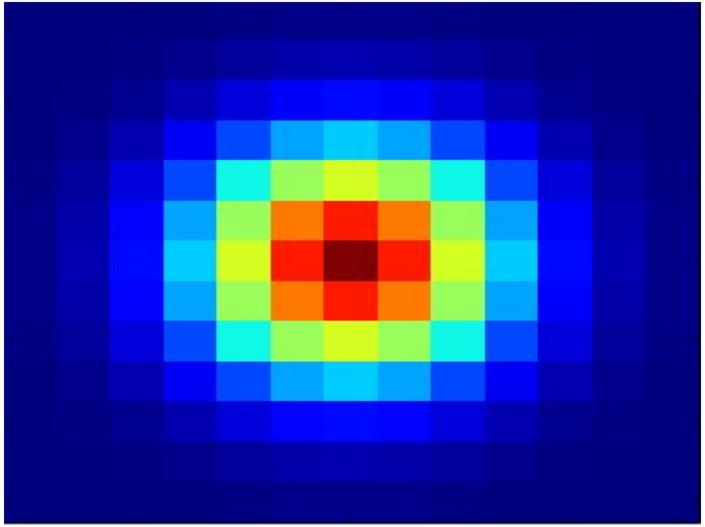


FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - Filtro Gaussiano



r=12, sigma=4.5



r=6, sigma=2.0

FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - Filtro Gaussiano: Máscara según distribución gaussiana

$$w = \frac{1}{16}\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$\rightarrow$ mayor peso a pixel central y pixels más cercanos
$\rightarrow$ menor peso a pixels más alejado

FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - Filtro Gaussiano

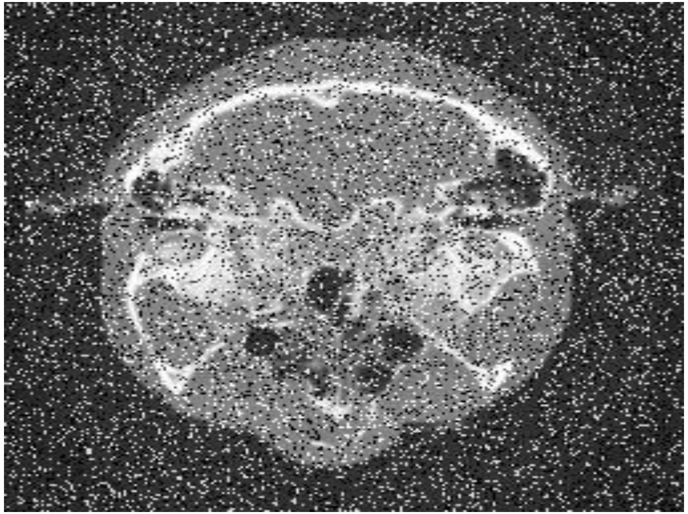


Imagen Original

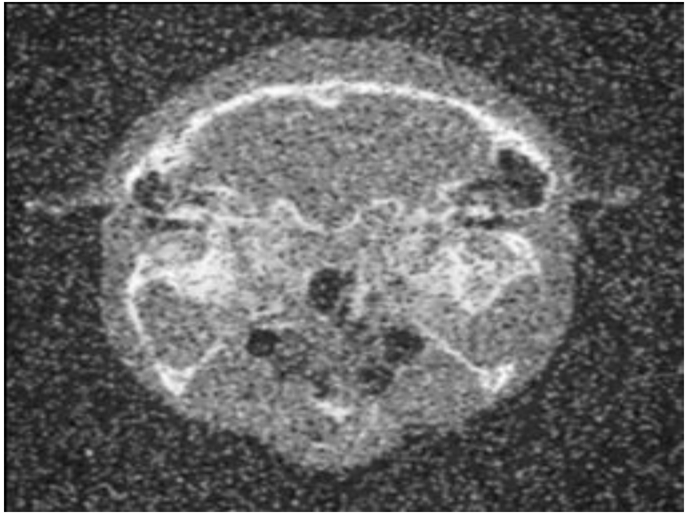
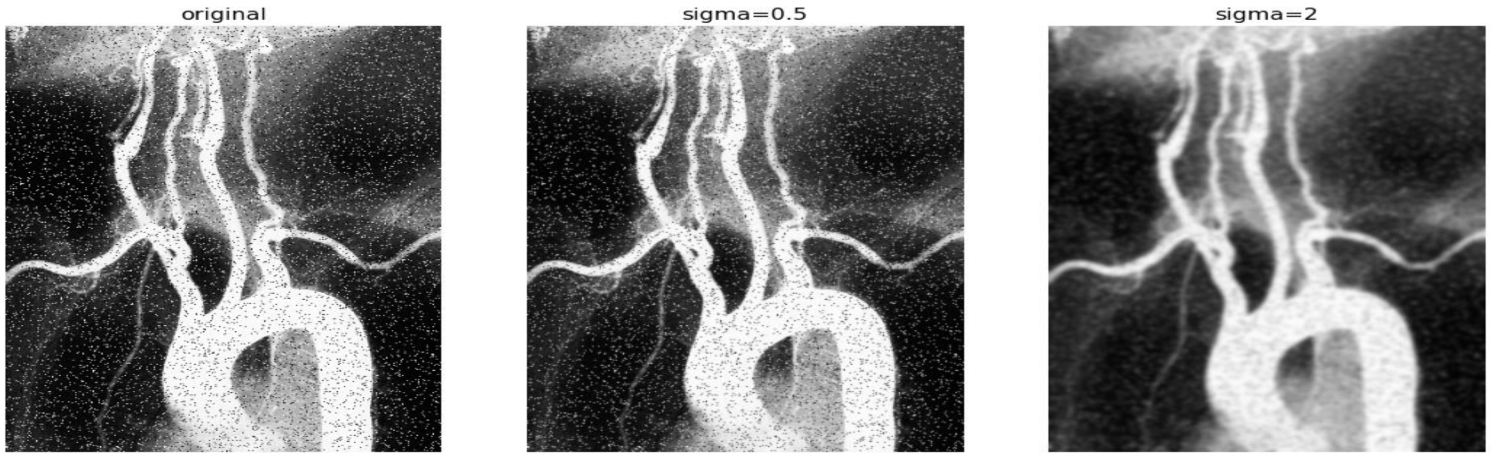


Imagen Suavizada

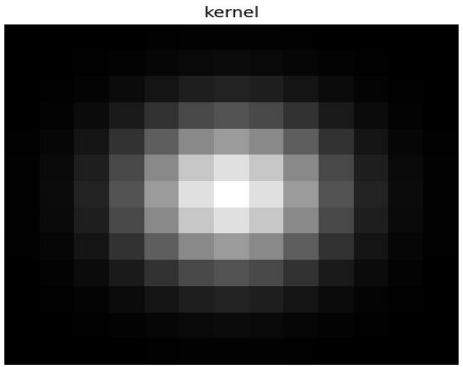
FILTROS LINEALES

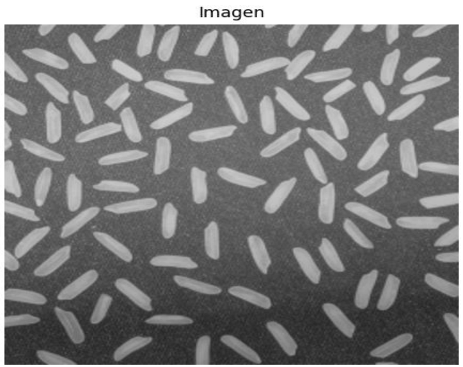
- **Filtros de Suavizamiento**
  - Filtro Gaussiano

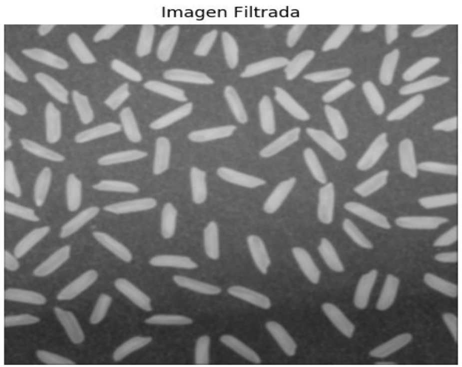


FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - Filtro Gaussiano

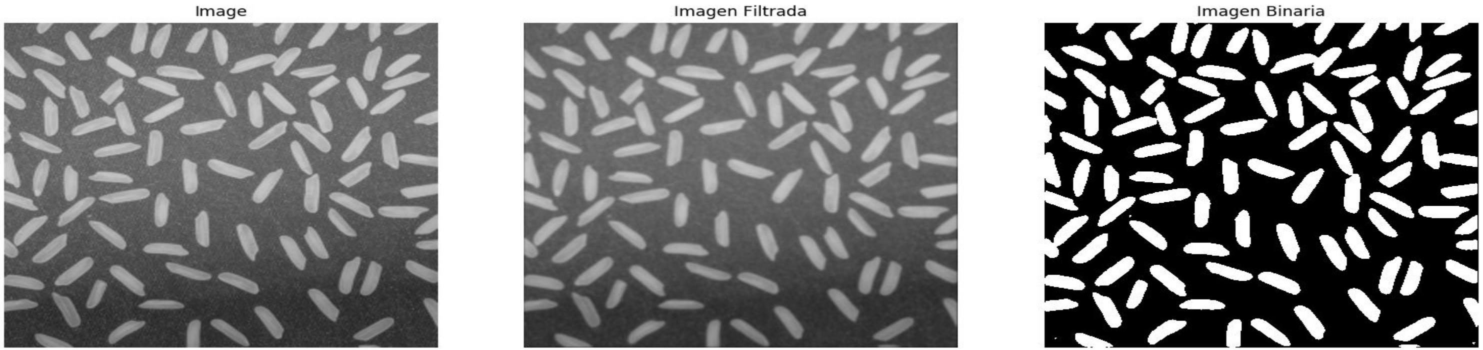






FILTROS LINEALES

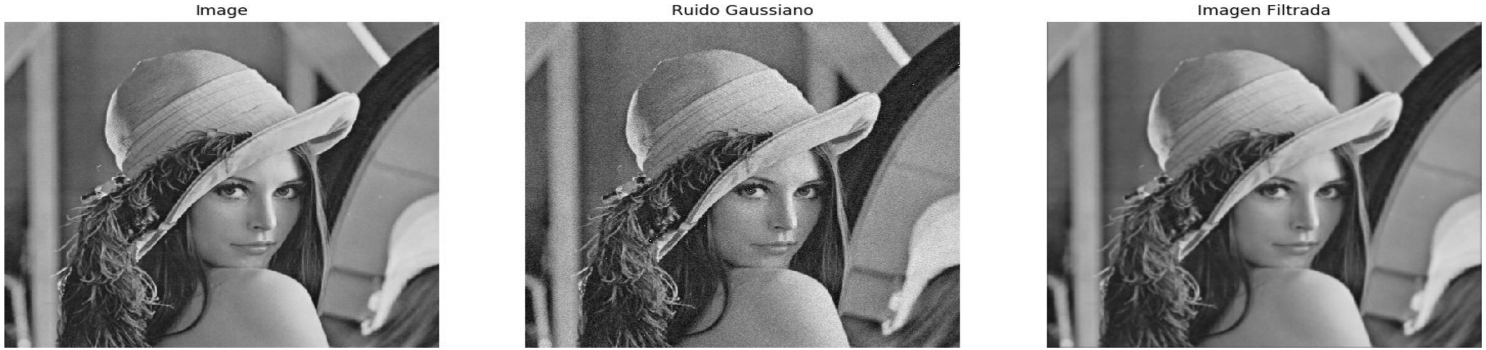
- **Filtros de Suavizamiento**
  - Filtro Gaussiano



Filtro Gaussiano + Binarización Adaptativa

FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - Filtro Gaussiano



Eliminando ruido Gaussiano

FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - **Filtro Promedio/Rango**: Sólo se promedian los pixels en la máscara que están en cierto rango

$$w(i,j)=\begin{cases}1 & \text{si } G(x\text{-}i,\, y\text{-}j)\subset[\min,\max] \\ 0 & \text{en caso contrario}\end{cases}$$

$\rightarrow$ Rango depende de tono de gris del pixel central

FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - Filtro Promedio/Rango

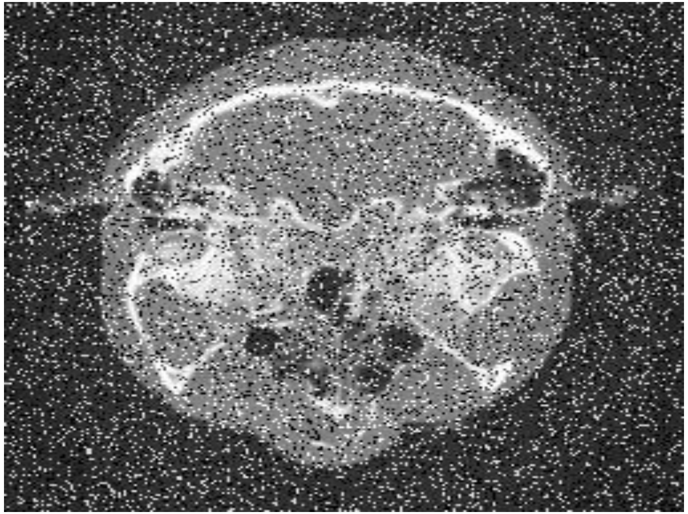


Imagen Original

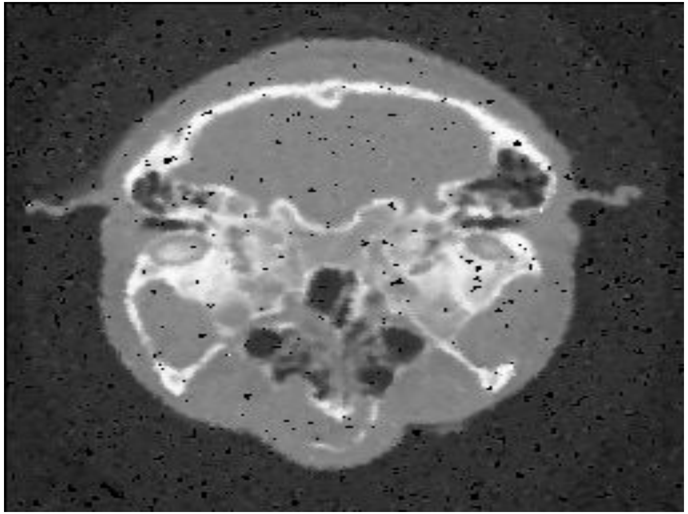


Imagen Suavizada
(media-45,media+45)

FILTROS LINEALES

- **Filtros de Suavizamiento**
  - Problema con filtros lineales – Pérdida de bordes

FILTROS LINEALES

- **Filtros de Realce**
  - Objetivo : Intensificar detalles finos en la imagen
  - **Filtros de paso alto** : eliminan componentes de bajas frecuencias y mantienen las de altas frecuencias
  - Resultado : Acentuamiento de las orillas (bordes)

FILTROS LINEALES

- **Filtros de Realce**

Imagen Original

Imagen Acentuada

FILTROS LINEALES

- **Filtros de Realce**
  - Máscara debe tener :
    - Coeficientes positivos cerca al centro
    - Coeficientes negativos en la periferia
  - Implementación clásica

$$w = \begin{bmatrix} -1/8 & -1/8 & -1/8 \\ -1/8 & 1 & -1/8 \\ -1/8 & -1/8 & -1/8 \end{bmatrix}$$

FILTROS LINEALES

- **Filtros de Realce**
  - Filtro de paso alto

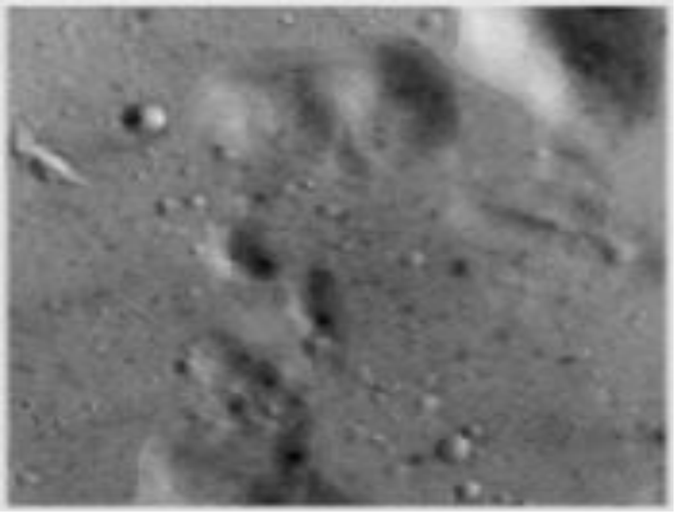


Imagen Original

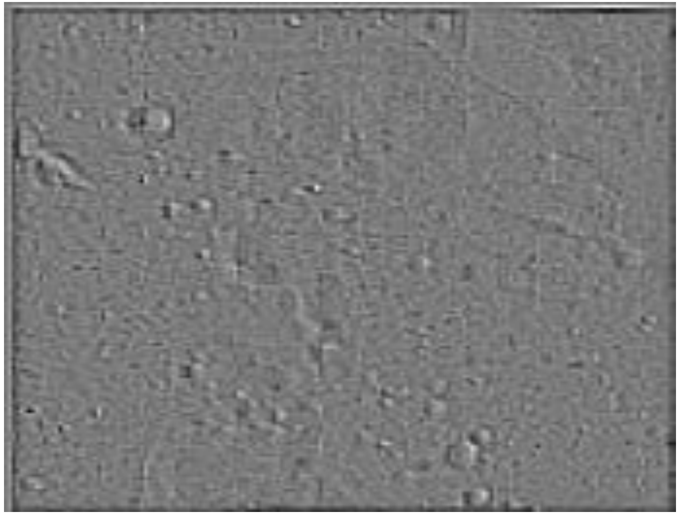


Imagen Filtrada con Paso Alto

FILTROS LINEALES

- **Filtros de Realce**
  - Imagen original es la suma de las imágenes en paso bajo y paso alto
  - Paso Alto = Original – Paso Bajo
  - Énfasis AF = A*Original – Paso Bajo
  - = (A-1)*Original + Paso Alto
  - A es un factor de amplificación (parte de la imagen original se añade a los bordes acentuados)

FILTROS LINEALES

- **Filtros de Realce**
  - Filtro de énfasis en altas frecuencias

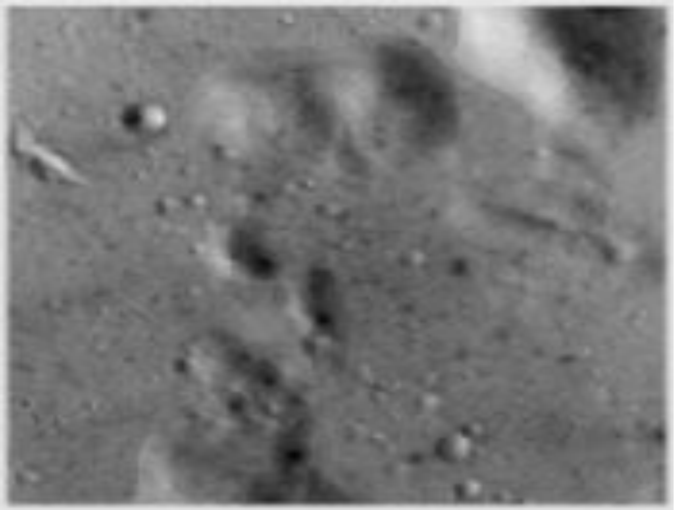


Imagen Original

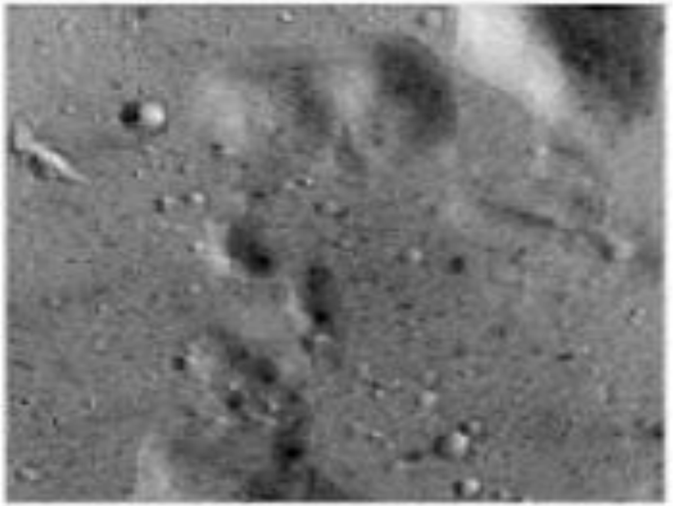
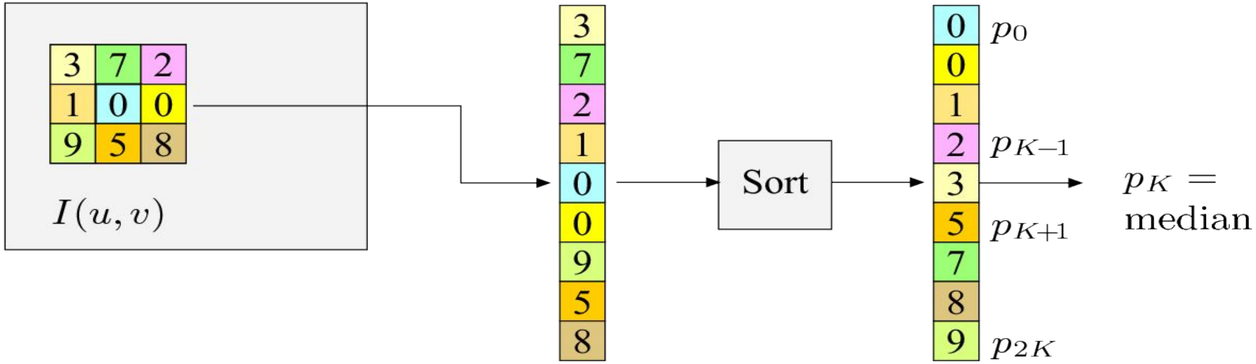


Imagen Filtrada con EAF (A=2)

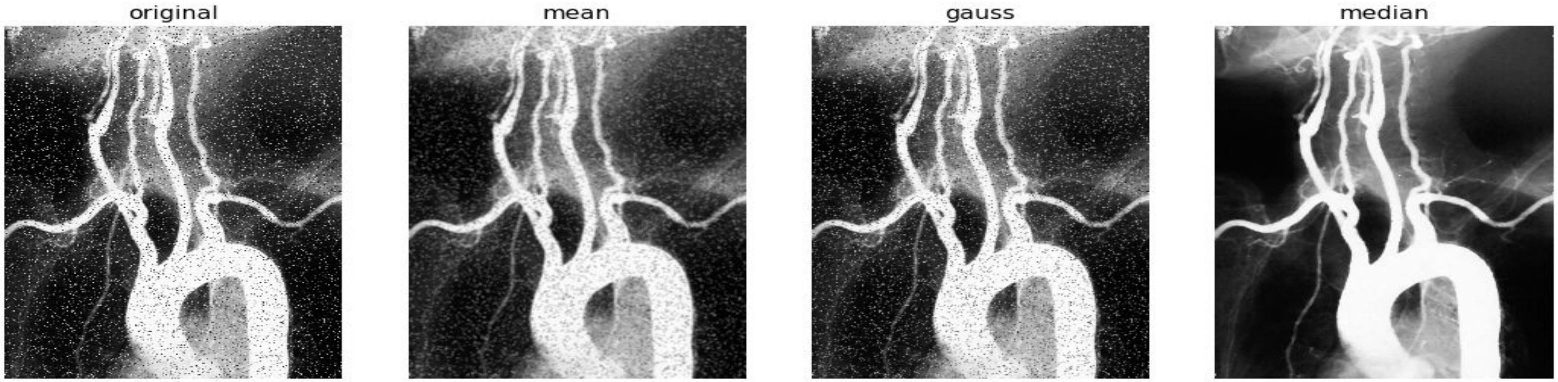
FILTROS NO LINEALES

- **Filtro Mediana**



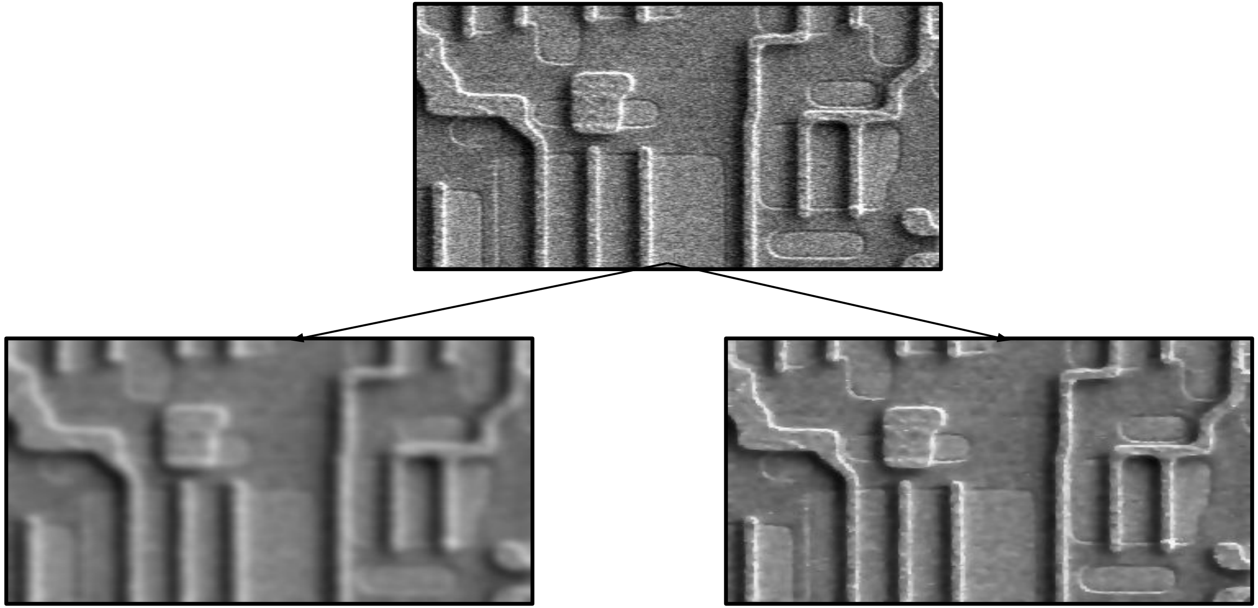
FILTROS NO LINEALES

- **Filtro Mediana**



FILTROS NO LINEALES

- **Difusión anisotrópica**

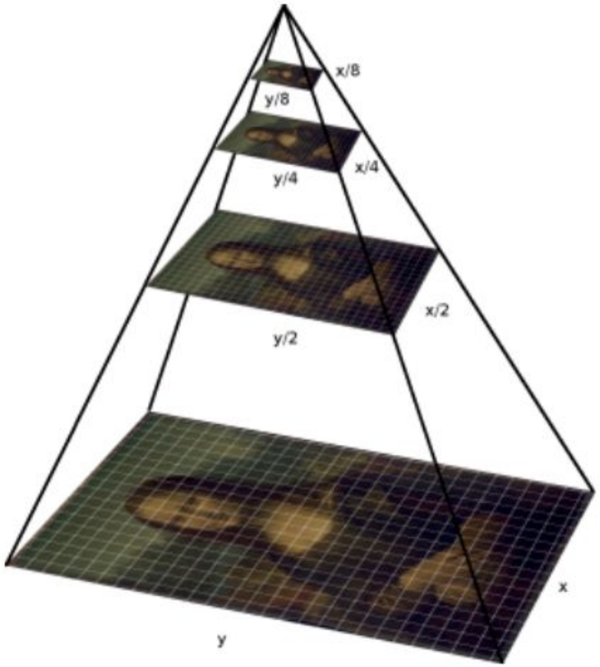


FILTROS NO LINEALES

- **Difusión anisotrópica**
  - Descripción espacio-escala (scale-space) que consiste en la descripción de una imagen mediante un análisis de múltiples escalas.
  - Idea ampliamente utilizada en visión por computadora para tratar el problema de invariancia a escala.
  - Se genera una familia de imágenes derivadas obtenidas por convolución de la imagen original.

$$I(x, y, t) = I_0(x, y) * g(x, y, t)$$

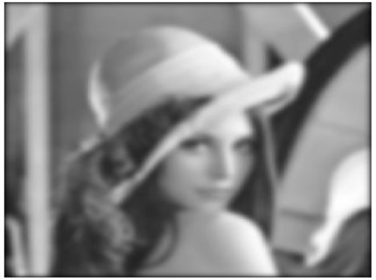
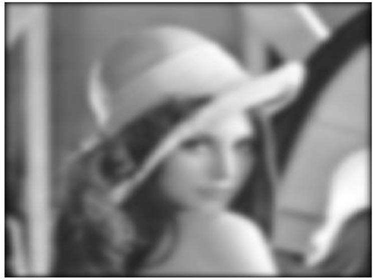
g es un filtro gaussiano con desviación t.



FILTROS NO LINEALES

- **Difusión anisotrópica**
  - Descripción espacio-escala (scale-space)



a mayor escala → menor detalle

sigma en filtro Gaussiano indica escala

FILTROS NO LINEALES

- **Difusión anisotrópica**
  - Descripción espacio-escala (scale-space)

t=0.8

t=1.6

t=2.4

t>2.4

FILTROS NO LINEALES

- **Difusión anisotrópica**
  - **Ecuación de difusión del calor**
    - Otra forma de ver la representación espacio-escala

$$I_t = c \triangle I$$

Constante de difusión térmica
mayor valor de *c* → mayor difusión

Operador Laplaciano

FILTROS NO LINEALES

- **Difusión anisotrópica**
  - **Ecuación de difusión del calor**
    - Al ser *c* una constante, se tiene una difusión lineal (Gaussian smoothing) generando pérdida de bordes
    - Entonces, la difusión anisotrópica busca cumplir:
      - **Causalidad**: La información generada en una iteración depende de la iteración anterior. No se genera información espuria
      - **Localización de bordes**: En cada iteración los bordes se mantienen
      - **Suavizamiento por regiones**: En cada iteración la regiones tienden a homogeneizarse

FILTROS NO LINEALES

- **Difusión anisotrópica**
  - **Propuesta de Perona y Malik**

Pietro Perona and Jitendra Malik (1990). "**Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion**". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 12 (7): 629–639

- ***c*** no es más una constante. Dependerá de la iteración (escala) y del punto a evaluar.
- Ecuación de difusión anisotrópica:

$$\begin{aligned} I_t(x,y) &= div(c(x,y,t) \bigtriangledown I(x,y,t)) \\ &= c(x,y,t) \bigtriangleup I(x,y,t) + \bigtriangledown c(x,y,t) \bigtriangledown I(x,y,t) \end{aligned}$$

- Si *c* es constante, la ecuación reduce a la ecuación del calor

FILTROS NO LINEALES

- **Difusión anisotrópica**
  - **Características de *c(x,y,t)***
    - Valor pequeño cuando *(x,y)* corresponde a un borde en *I* en la iteración *t*.
    - Valor alto si caso de estar dentro de una región homogénea.
  - **Cómo definir c(x,y,t)?**
    - Sea *E(x,y,t)* una función que brinda información de bordes.

$$E(x, y, t) = \nabla I(x, y, t)$$

FILTROS NO LINEALES

- **Difusión anisotrópica**

$$c(x,y,t) = h(||E(x,y,t)||)$$

  - Donde h es una función que varía entre 0 y 1, siendo h(0)=1, por ejemplo:

$$h(x) = e^{-(x/K)^2}$$

FILTROS NO LINEALES

- **Difusión anisotrópica**

FILTROS NO LINEALES

- **Difusión anisotrópica**

Gaussiano 7x7

Difusión Anisotrópica
Lambda=0.1. K=20, it=10

FILTROS NO LINEALES

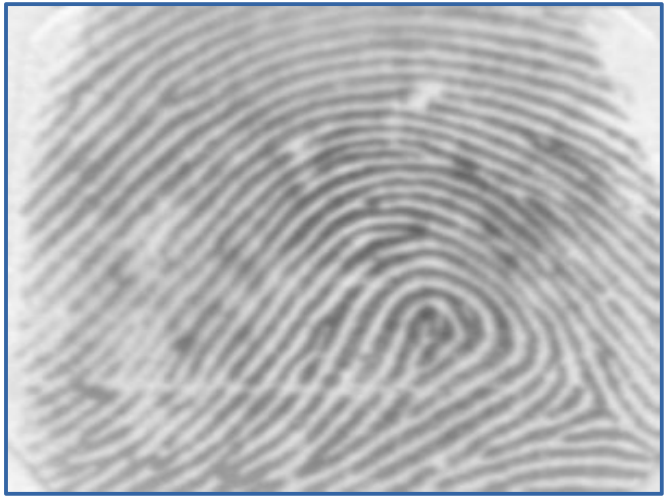
- **Difusión anisotrópica**

Difusión Anisotrópica
Lambda=0.1. K=20, it=20

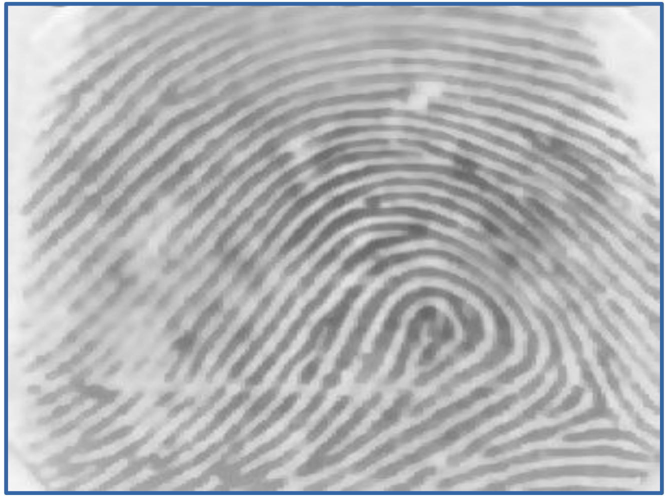
Difusión Anisotrópica
Lambda=0.1. K=20, it=40

FILTROS NO LINEALES

- **Difusión anisotrópica**



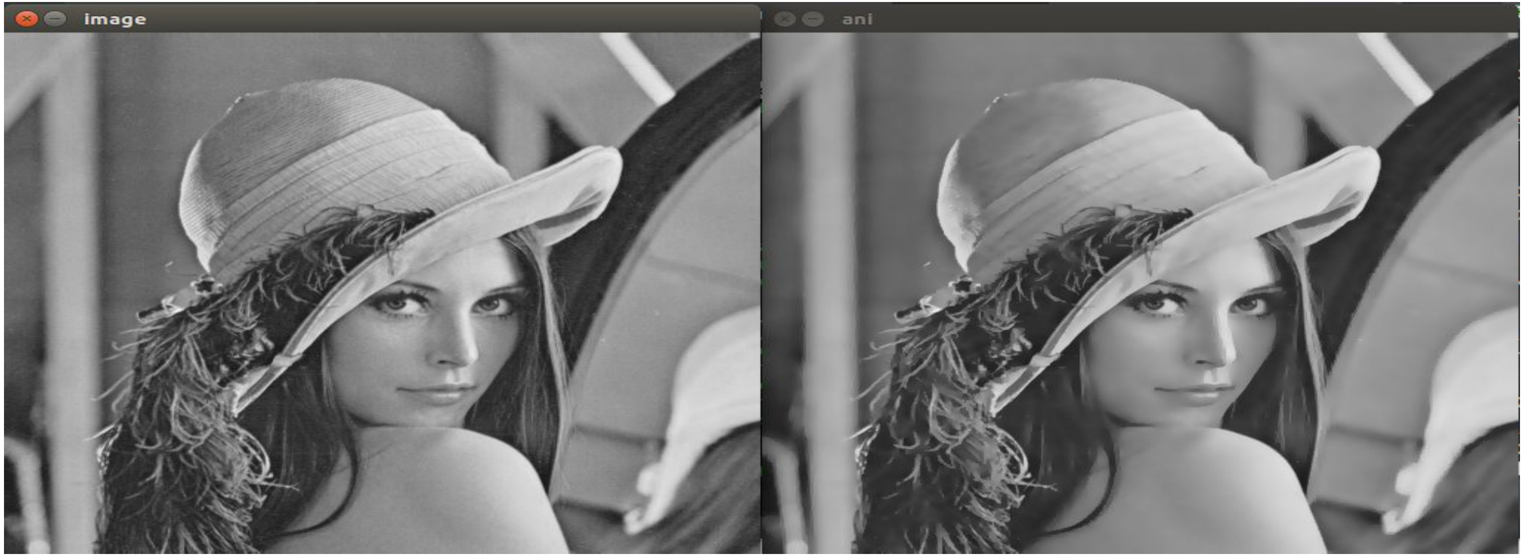
Gausiano 7x7



Difusión Anisotrópica
Lambda=0.1. K=10, it=20

FILTROS NO LINEALES

- **Difusión anisotrópica**



Difusión Anisotrópica
Lambda=0.25 K=10, it=10