



Procesamiento Digital de Imágenes

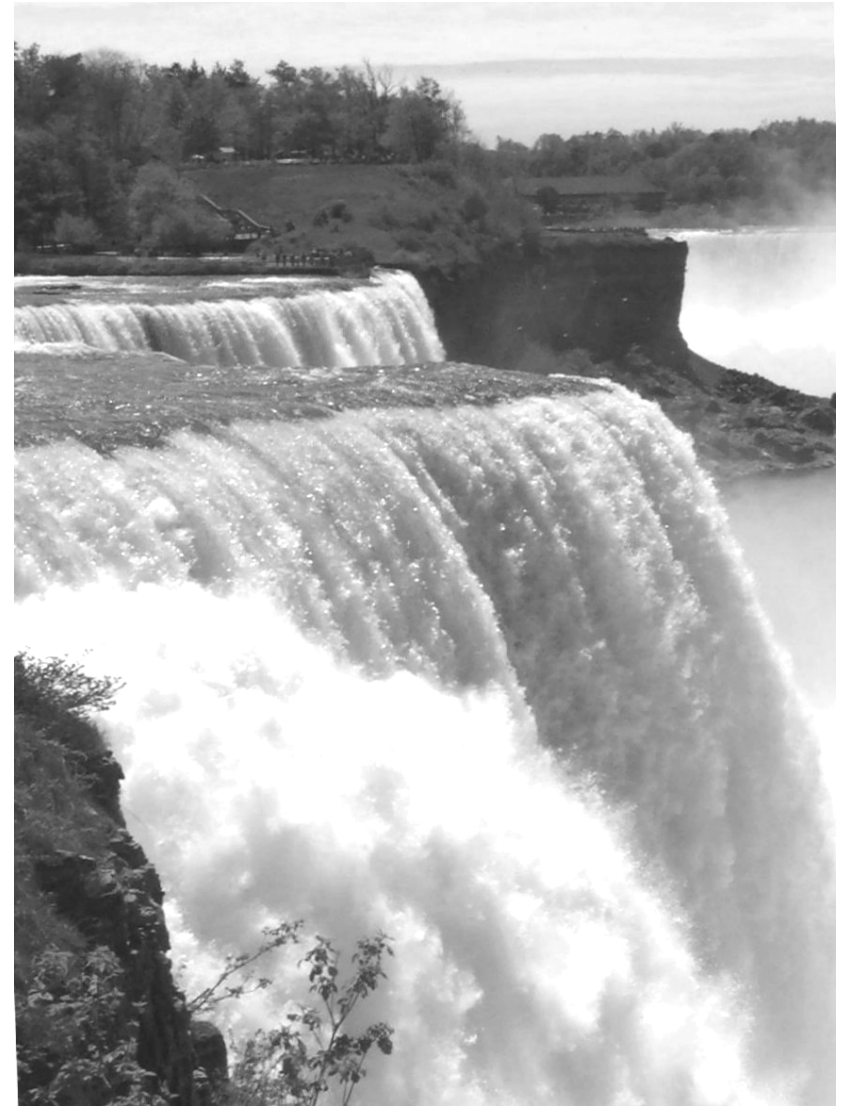
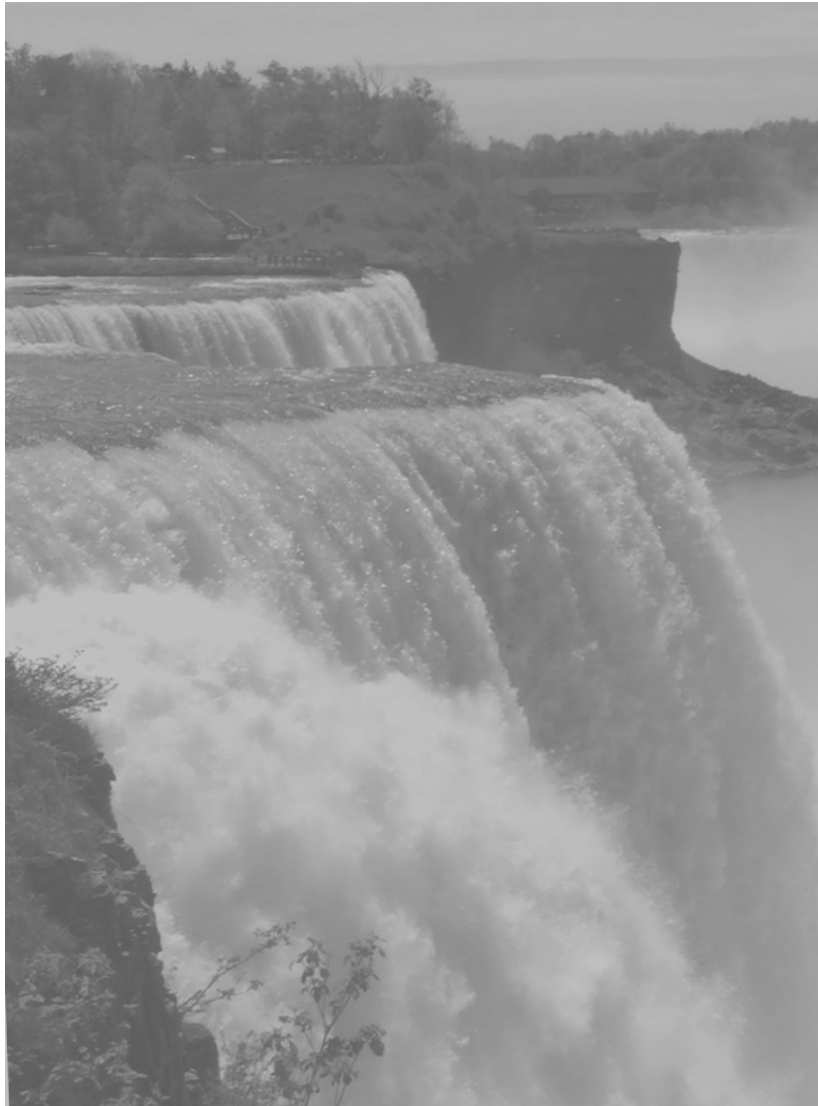
Tema 5: Filtrado y mejora de calidad

Rafael Palacios Hielscher
Curso de Doctorado 2002-2003

Mejora de Calidad

- Son las operaciones más sencillas y más utilizadas del tratamiento digital de imágenes.
- El objetivo general es destacar detalles de interés.
- En ejemplo básico es el aumento de contraste de una imagen para que tenga "mejor aspecto".
- Es un concepto muy subjetivo, a diferencia de la restauración.
- Los algoritmos son concretos para una aplicación

Ejemplo: Aumento de Contraste



Algoritmos para mejorar la calidad

- Existen dos categorías
 - Dominio del espacio (modificaciones en el plano de la imagen)
 - Dominio de la frecuencia (modificaciones en la transformada de Fourier de la imagen)

Dominio del espacio

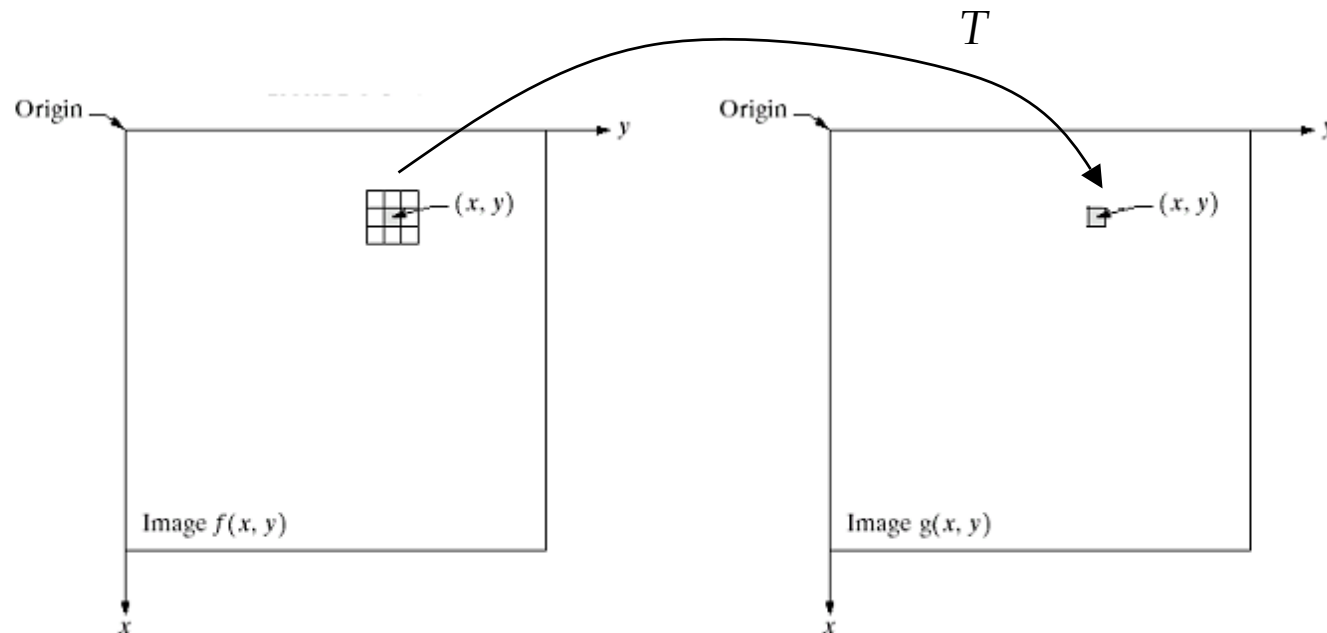
Las transformaciones se expresan de manera general como:

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

Típicamente T es una transformación que opera con varios puntos de la imagen original f para producir un punto de la imagen resultante g

Máscara o región

- Suele tener forma rectangular o cuadrada
- El caso más simple es que cada pixel de g sólo dependa de un pixel de f



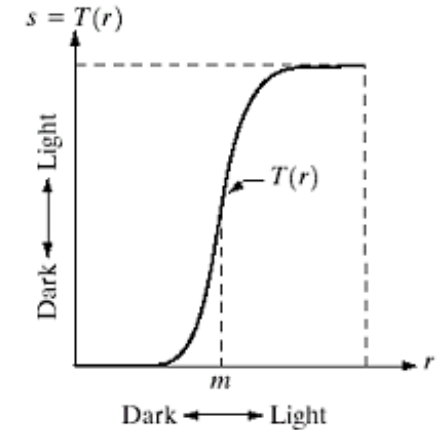


Transformaciones punto-a-punto

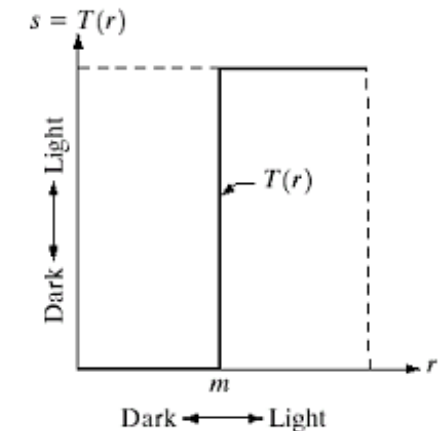
Transformaciones punto-a-punto

- Aumento de contraste
(separa claro de oscuro)

$$s = T(r)$$



- Conversión a blanco y negro
(thresholding)



Transformaciones punto-a-punto

- Otras transformaciones

- lineal (identidad o inversa)

$$s = r \qquad s = L - r$$

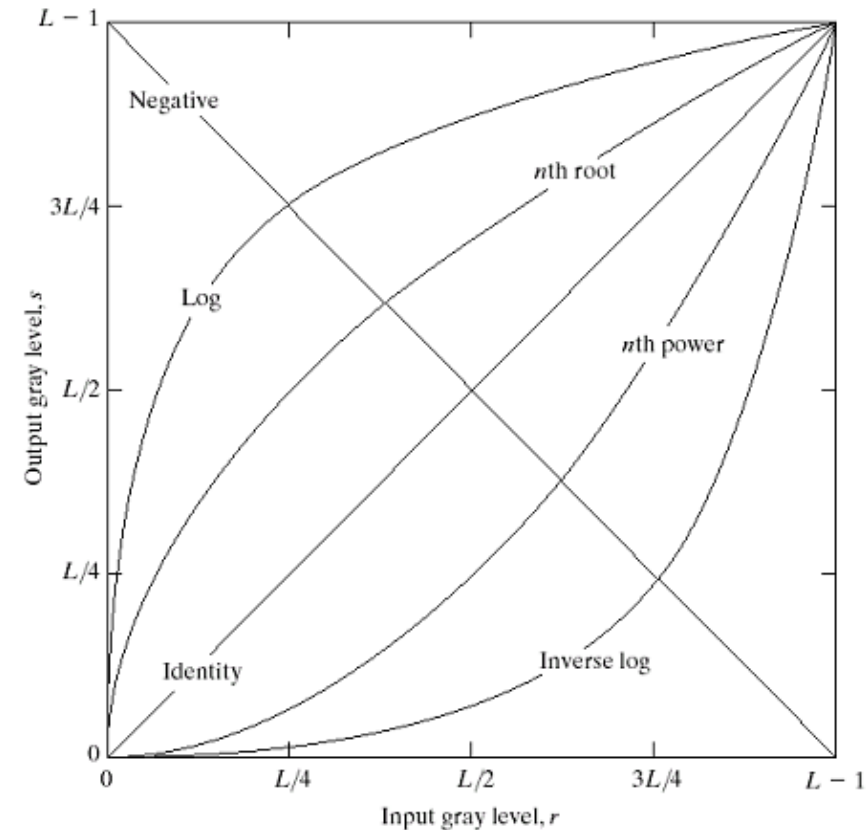
- logarítmica

(expande los valores oscuros)

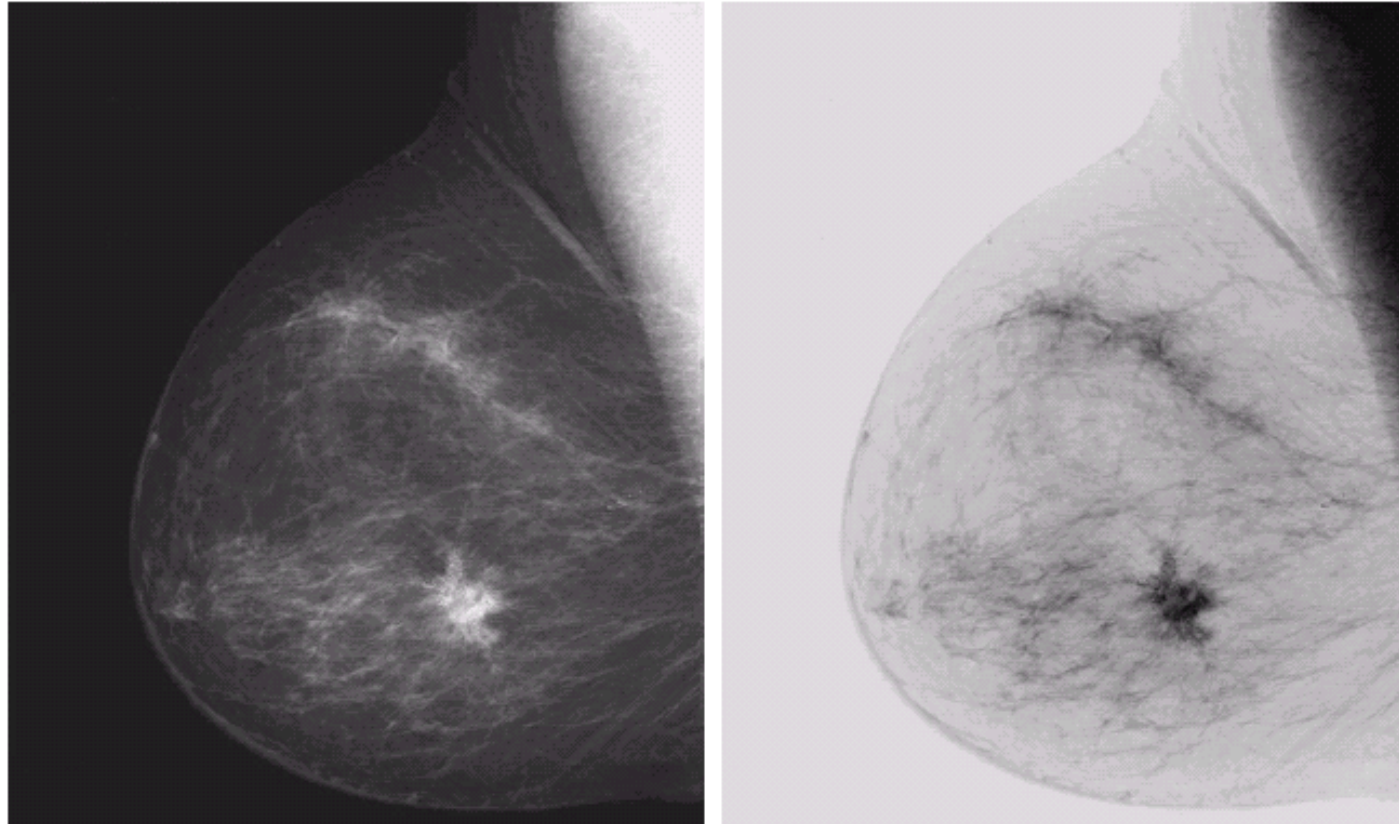
$$s = c \cdot \log(1 + r)$$

- potencia n

$$s = c \cdot r^\gamma$$



Ejemplo: imagen inversa



a b

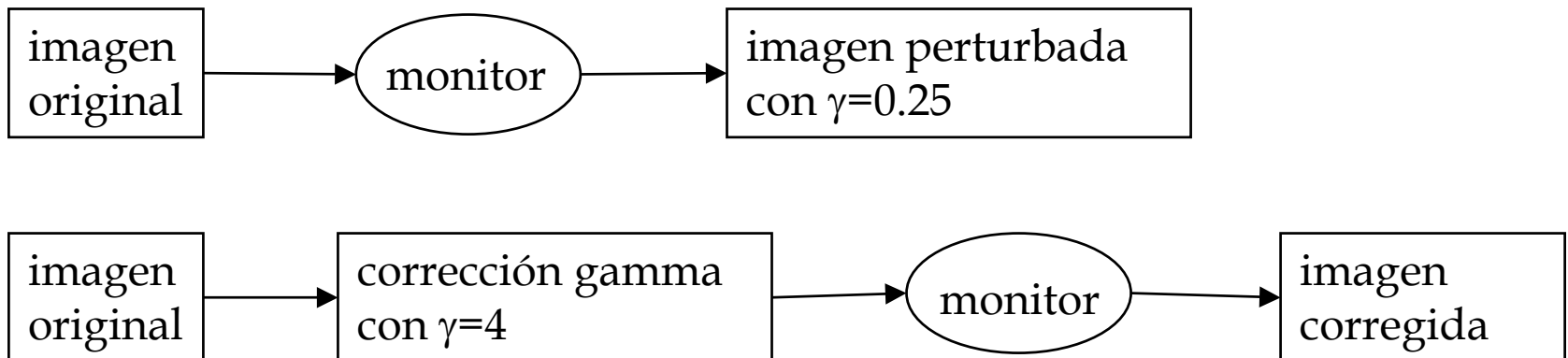
FIGURE 3.4
(a) Original digital mammogram.
(b) Negative image obtained using the negative transformation in Eq. (3.2-1).
(Courtesy of G.E. Medical Systems.)

Corrección gamma

- La transformación por potencia se conoce con el nombre de corrección gamma, por la letra griega en la expresión general:

$$s = c \cdot r^\gamma$$

- La corrección gamma se utiliza para modelar dispositivos y ajustar la salida

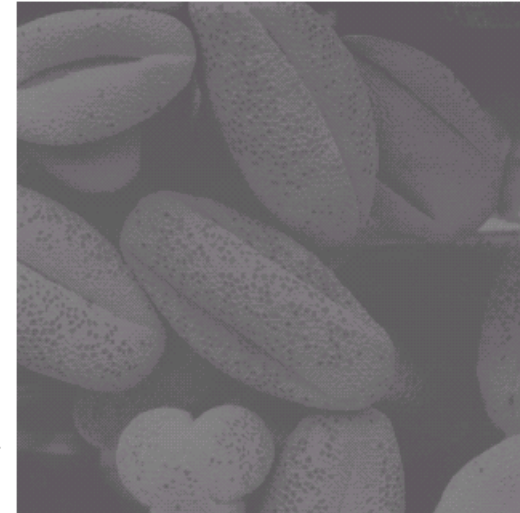
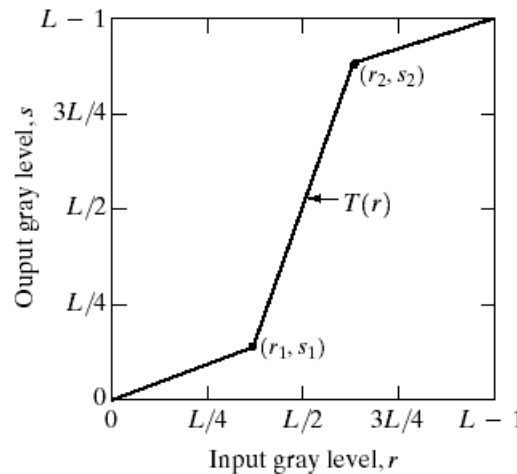


Ejemplo: Corrección gamma



Modificación del rango dinámico

Se puede utilizar una transformación definida por tramos



a b
c d

FIGURE 3.10 Contrast stretching. (a) Form of transformation function. (b) A low-contrast image. (c) Result of contrast stretching. (d) Result of thresholding. (Original image courtesy of Dr. Roger Heady, Research School of Biological Sciences, Australian National University, Canberra, Australia.)

Modificación del rango dinámico

- **gray-level slicing** (permite ver el rango de tonalidades que interesa)
 - Muy utilizado en el análisis de radiografías digitales y CT-scan
- **Bit-plane slicing** (permite determinar cuántos bits son apropiados para la cuantificación)

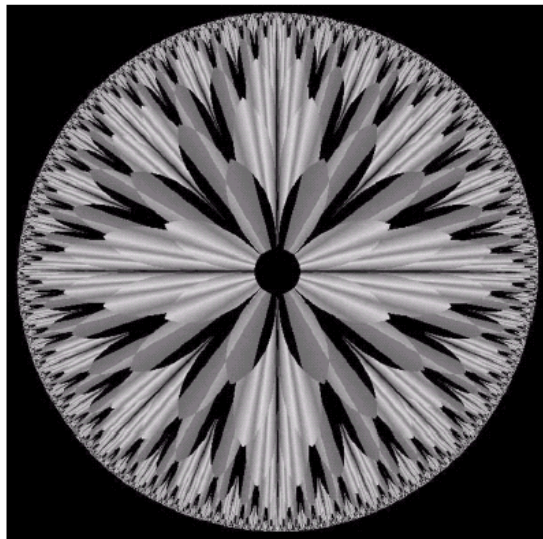


FIGURE 3.13 An 8-bit fractal image. (A fractal is an image generated from mathematical expressions). (Courtesy of Ms. Melissa D. Binde, Swarthmore College, Swarthmore, PA.)

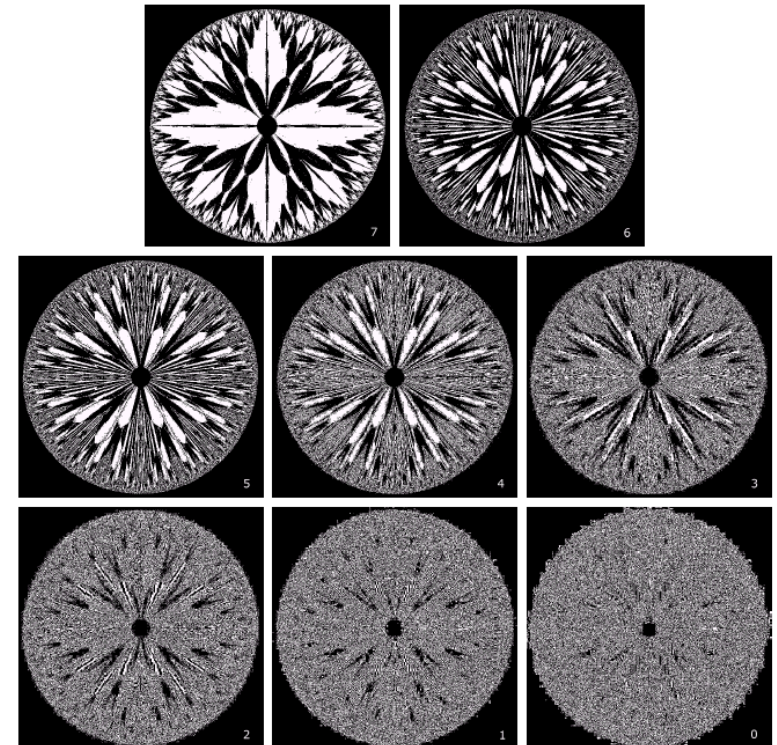
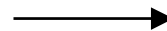


FIGURE 3.14 The eight bit planes of the image in Fig. 3.13. The number at the bottom, right of each image identifies the bit plane.

Operaciones basadas en histogramas

- El histograma de una imagen es la función discreta:

$$h[r_k] = n_k$$

donde :

r_k es el nivel de gris k

n_k es el número de pixels de la imagen que tienen valor k

Operaciones basadas en histogramas

- Normalización con el número total de puntos de la imagen (n):

$$p[r_k] = \frac{n_k}{n}$$

- Prop 1: $p[r_k]$ es una estimación de la probabilidad de que un punto cualquiera de la imagen tenga color r_k

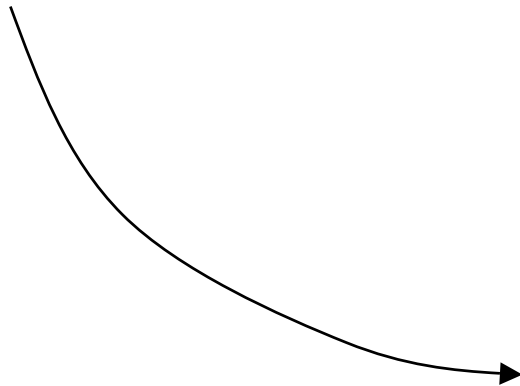
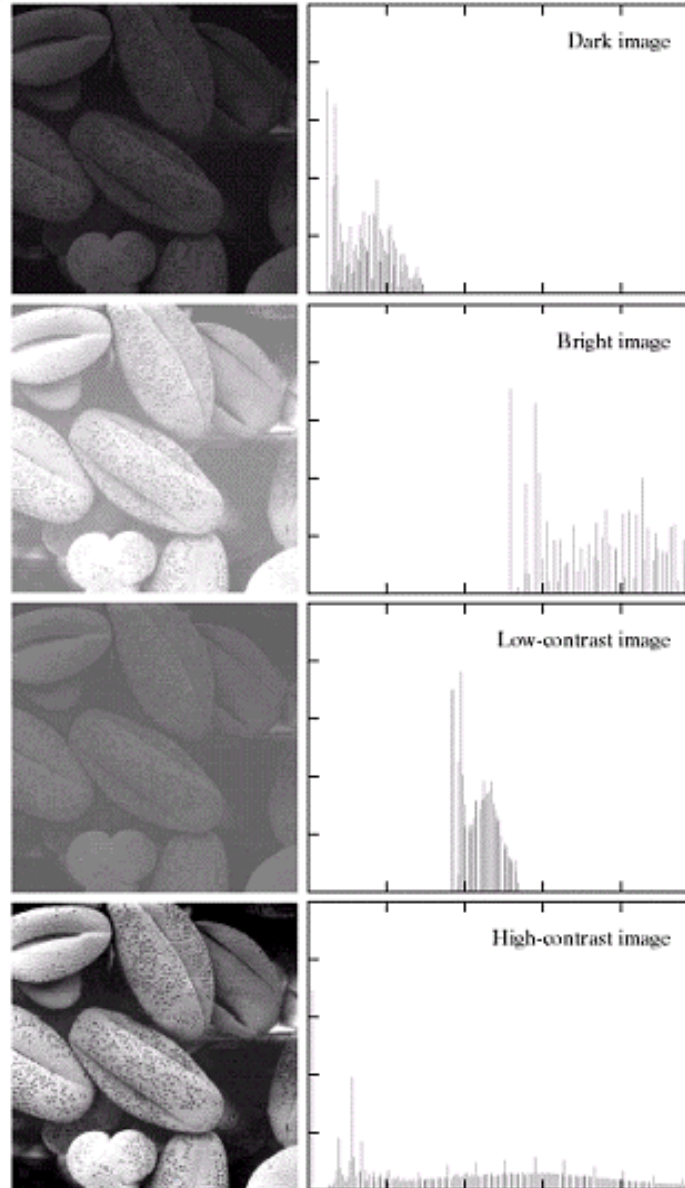
- Prop 2: $\sum_{k=0}^{L-1} p[r_k] = 1$

Operaciones basadas en histogramas

- Las operaciones basadas en modificaciones del histograma permiten mejorar el aspecto de las imágenes
- Son transformaciones punto-a-punto. El análisis del histograma permite definir la función de transformación de manera sencilla.

Ejemplos de imágenes con histogramas

Las imágenes con histograma uniforme suelen tener luminosidad adecuada y buen nivel de contraste.

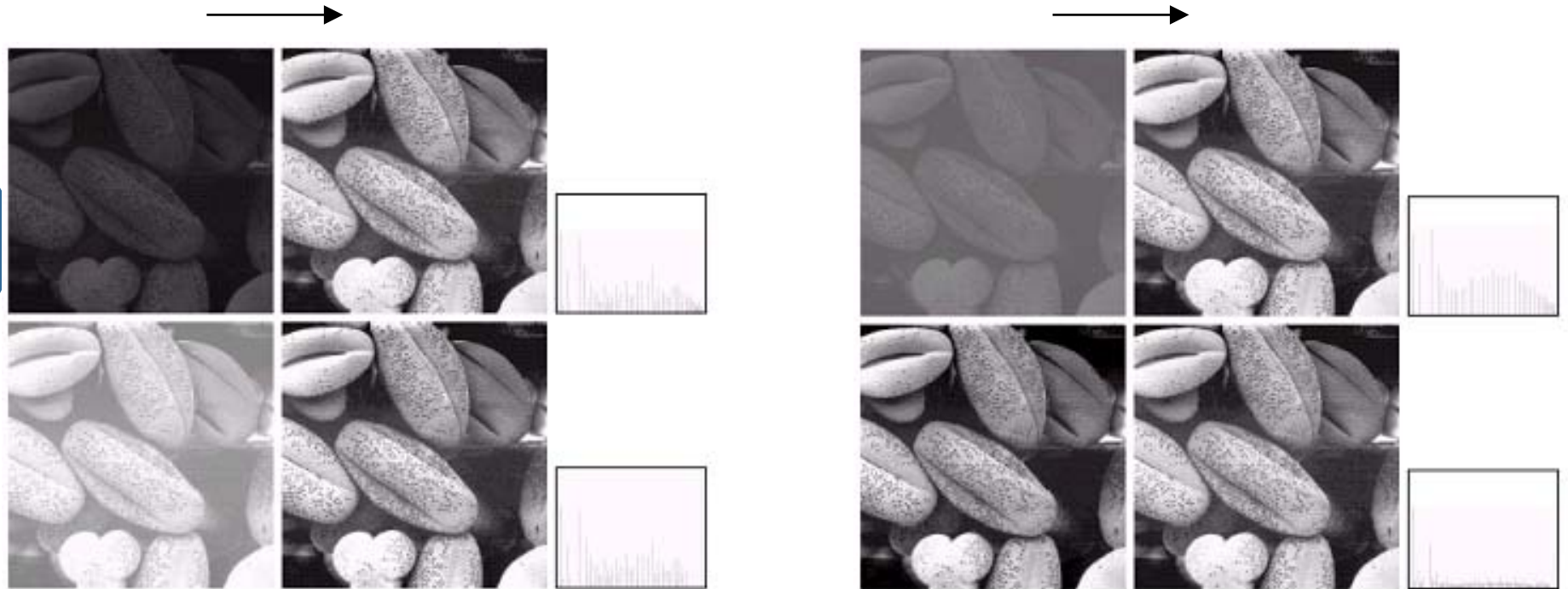


Linearización del histograma

- Se utiliza para "expandir" el histograma de una imagen de manera que cubra todo el rango dinámico.
- Es un procedimiento totalmente automático.

$$S_k = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

Ejemplo de corrección del histograma





Transformaciones por regiones

Transformaciones por región

- Cada punto de la imagen resultante se obtiene operando con una región de la imagen original

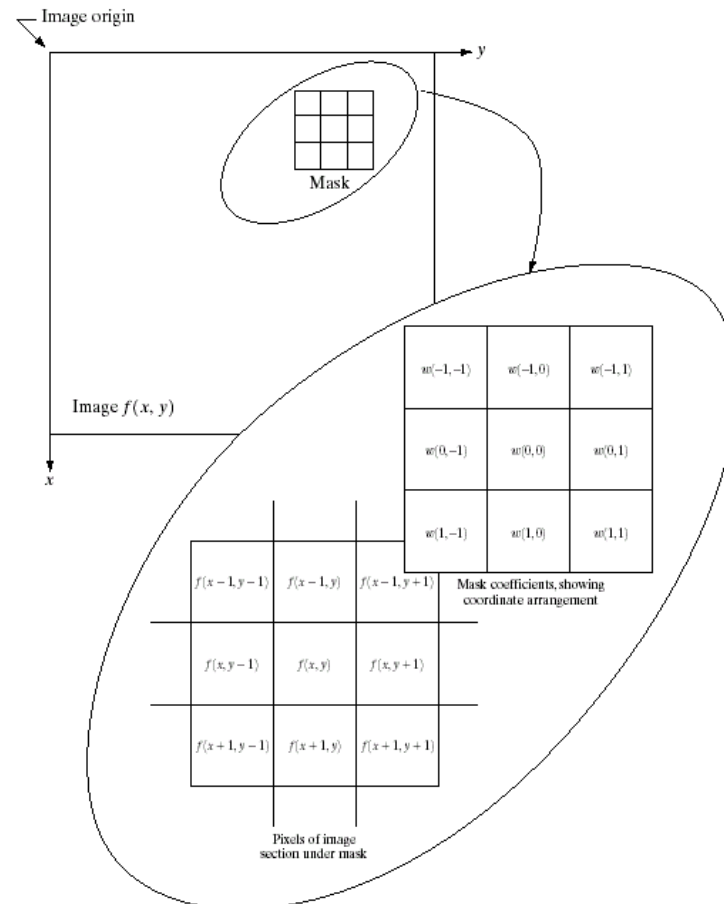


FIGURE 3.32 The mechanics of spatial filtering. The magnified drawing shows a 3×3 mask and the image section directly under it; the image section is shown displaced out from under the mask for ease of readability.

Filtros lineales

- La respuesta se obtiene calculando la suma de los productos de los coeficientes de las máscara por los pixels de la imagen.
- En general la imagen resultante de un filtrado lineal con máscara $(m \times n)$ de una imagen $M \times N$ se obtiene mediante la ecuación:

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

donde :

$$a = (m - 1) / 2 \quad b = (n - 1) / 2$$

$$x = 0, 1, \dots, M \quad y = 0, 1, \dots, N$$

Smoothing filters

- Se utilizan para suavizar la imagen
 - permite eliminar pequeños detalles, lo que facilita la extracción de objetos grandes
 - permite corregir fragmentos de líneas perdidos
- Se utiliza para eliminar ruido
 - Filtros lineales
 - Filtros no lineales

Smoothing filters

- Filtros Lineales

Obtienen el promedio de los puntos de la región de cálculo.

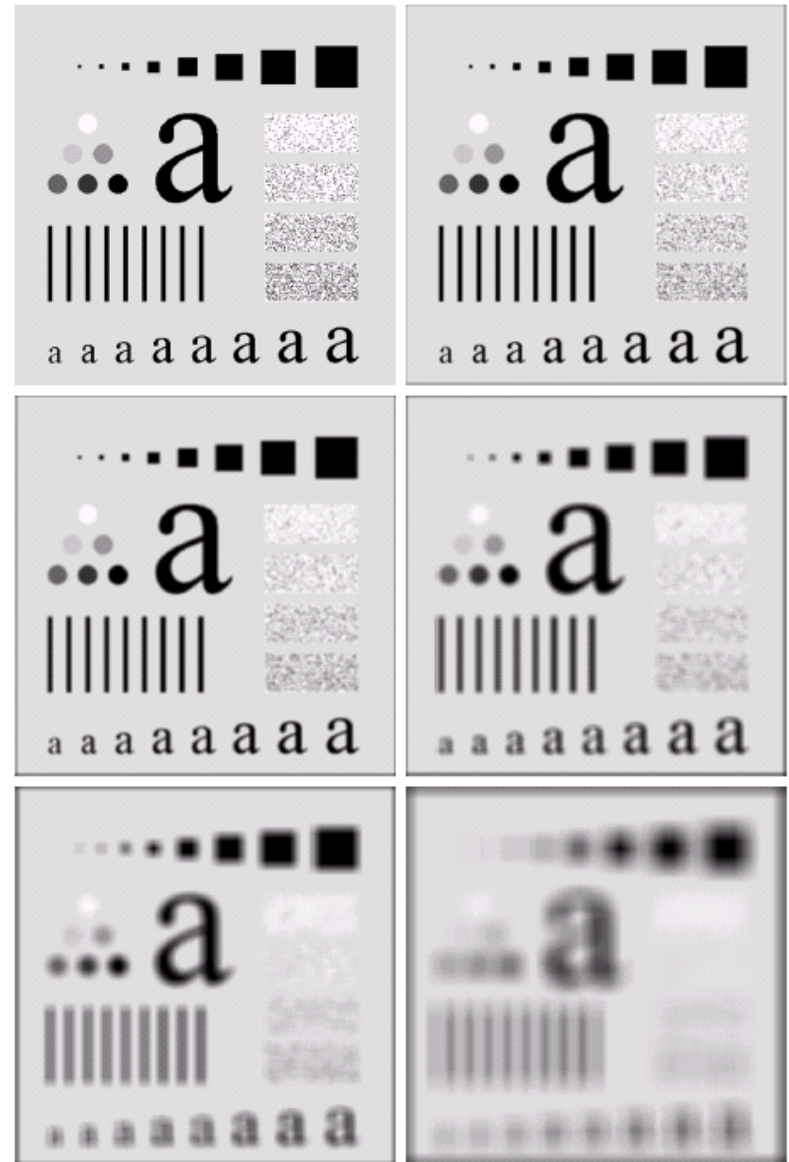
Son filtros de paso bajo, que suavizan las transiciones bruscas de niveles de gris y disminuyen el ruido

También difuminan los bordes. (Bueno para eliminar falsos contornos de cuantificación. Malo para segmentación de objetos)

$$\frac{1}{9} \times \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} \quad \frac{1}{16} \times \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline 2 & 4 & 2 \\ \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline \end{array}$$

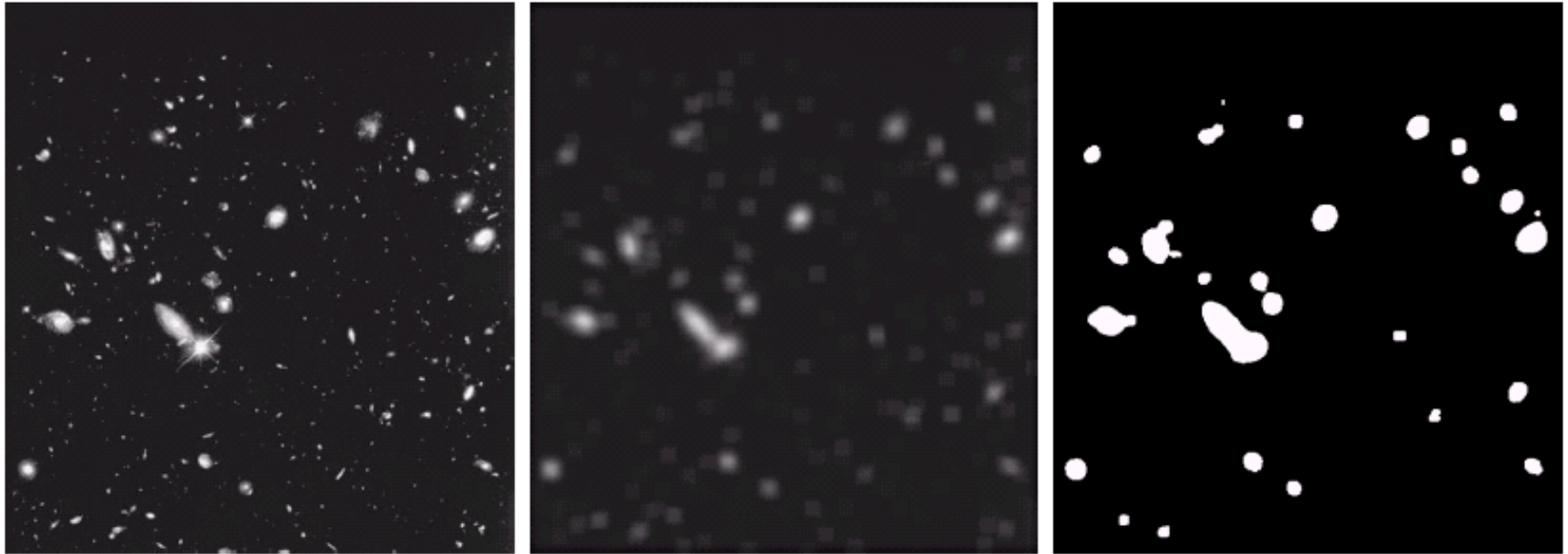
Smoothing filters

- Ejemplo1 de filtro de la media:
 - Tamaños de máscara:
1(sin filtro),3,5,9,15 y 35



Smoothing filters

- Ejemplo2 de filtro de la media:
 - Localización de objetos grandes



a b c

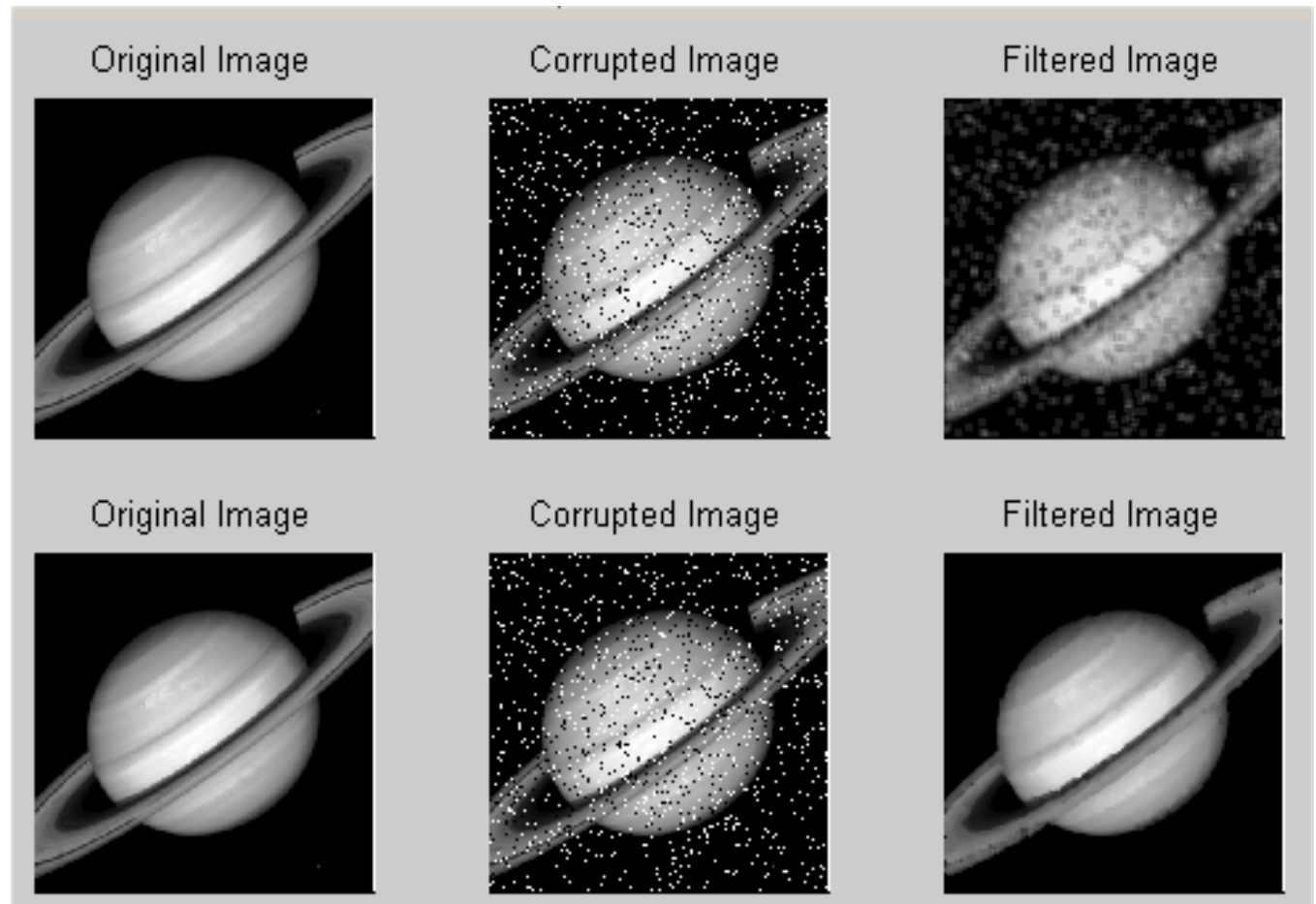
FIGURE 3.36 (a) Image from the Hubble Space Telescope. (b) Image processed by a 15×15 averaging mask. (c) Result of thresholding (b). (Original image courtesy of NASA.)

Smoothing filters

- Filtros No-Lineales

Permiten eliminar ruido sin alterar el resto de la imagen.

Media



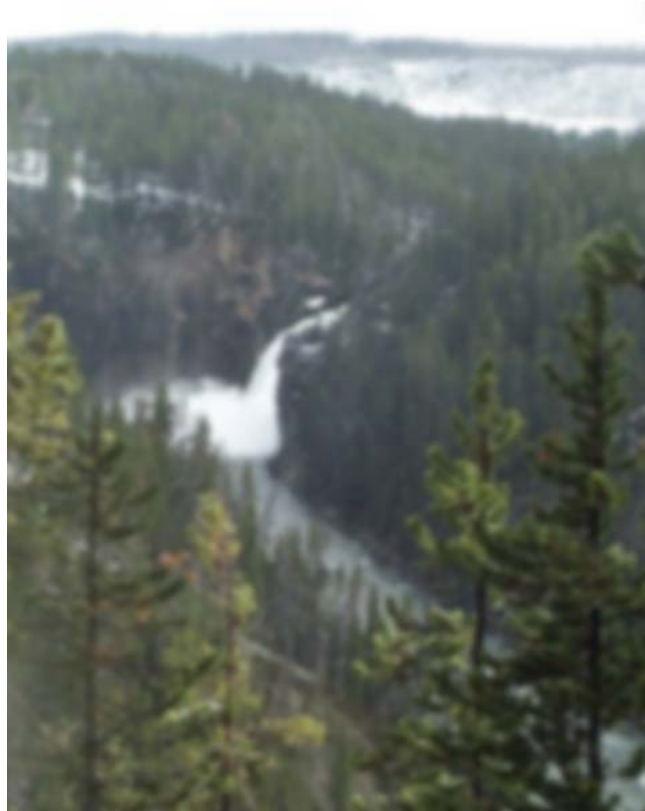
Mediana

Smoothing filters

- Filtro de la mediana
 - Ordena los valores de la región de cálculo por nivel y selecciona el nivel intermedio
 - Muy efectivo para eliminar ruido puntual (salt-and-pepper)
 - No crea colores nuevos
 - No estropea los bordes

Sharpening filters

- Se utilizan para resaltar detalles pequeños
- Mejoran el aspecto de imágenes borrosas



Sharpening filters

- Son filtros lineales que se basan en la segunda

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

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

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

0	1	0	1	1	1
1	-4	1	1	-8	1
0	1	0	1	1	1

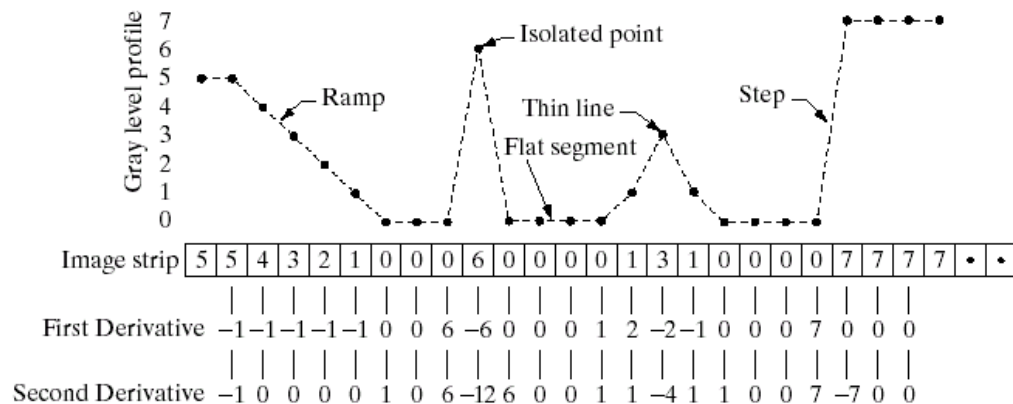
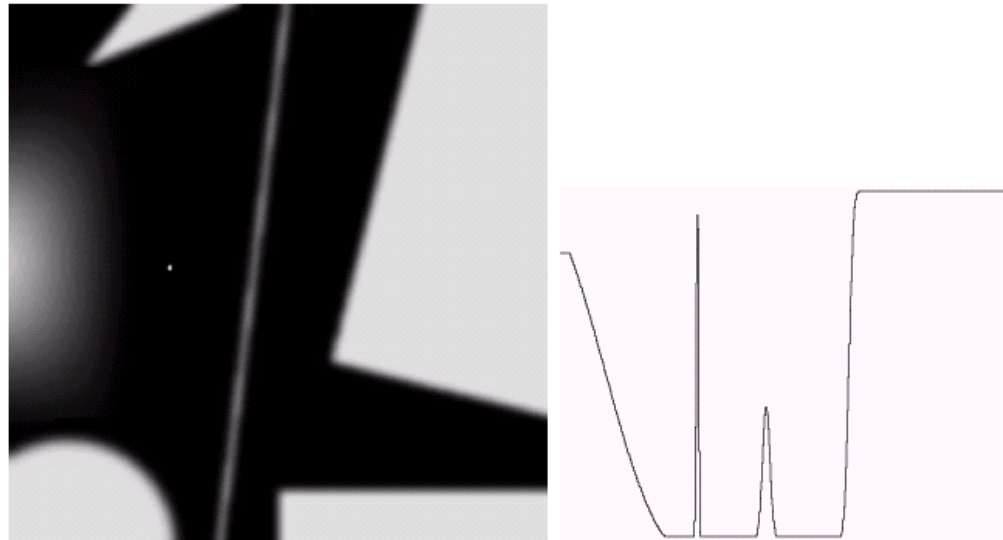
Sharpening filters

- Detecta los cambios de la derivada espacial

a b
c

FIGURE 3.38

(a) A simple image. (b) 1-D horizontal gray-level profile along the center of the image and including the isolated noise point. (c) Simplified profile (the points are joined by dashed lines to simplify interpretation).

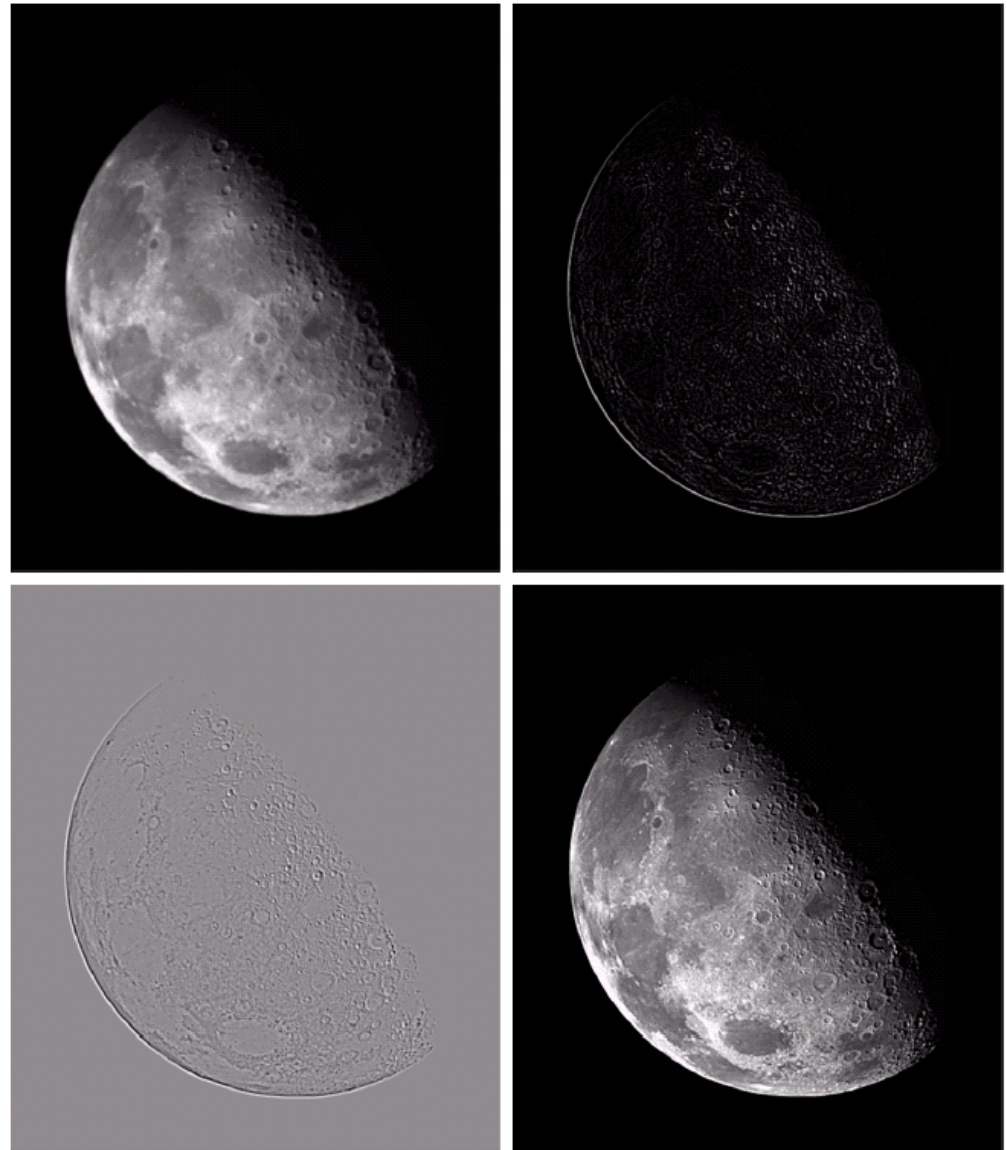


Sharpening filters

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.)



$$g(x, y) = f(x, y) - \nabla^2 f(x, y)$$



Dominio de la frecuencia

Transformada de Fourier

- Una dimensión (señales)
 - Tiempo continuo

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot e^{-j2\pi ux} dx$$

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u) \cdot e^{j2\pi ux} du$$

- Tiempo discreto, señal periódica

$$F[u] = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f[x] \cdot e^{-\frac{j2\pi ux}{M}} \quad \text{para } u = 0, 1, 2, \dots, M-1$$

$$f[x] = \sum_{u=0}^{M-1} F[u] \cdot e^{\frac{j2\pi ux}{M}} \quad \text{para } x = 0, 1, 2, \dots, M-1$$

Transformada de Fourier

- Dos dimensiones (imágenes)
 - Espacio continuo

$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \cdot e^{-j2\pi(ux+vy)} dx \cdot dy$$

$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u, v) \cdot e^{j2\pi(ux+vy)} du \cdot dv$$

- Espacio discreto, señal periódica

$$F[u, v] = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f[x, y] \cdot e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)} \quad \text{para } \begin{cases} u = 0, 1, 2, \dots, M-1 \\ v = 0, 1, 2, \dots, N-1 \end{cases}$$

$$f[x, y] = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F[u, v] \cdot e^{j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)} \quad \text{para } \begin{cases} x = 0, 1, 2, \dots, M-1 \\ y = 0, 1, 2, \dots, N-1 \end{cases}$$

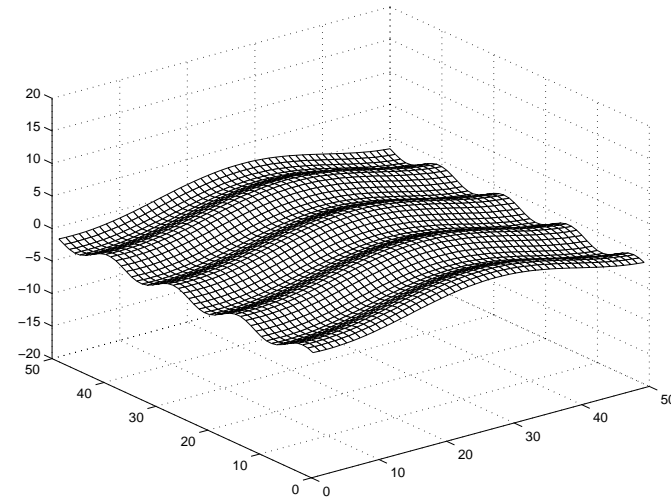
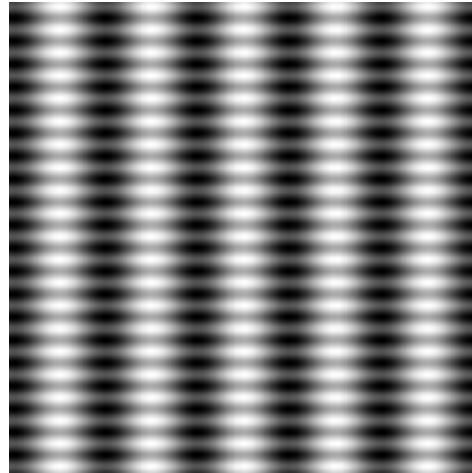
Propiedades de la DFT

- Señal continua \rightarrow DFT continua
- Señal periódica \rightarrow DFT discreta
- Señal discreta, periódica \rightarrow DFT periódica, discreta
- Señal discreta, periódica, real \rightarrow DFT periódica, discreta, simétrica
- Imagen discreta, periódica, real \rightarrow DFT periódica, discreta, simétrica conjugada

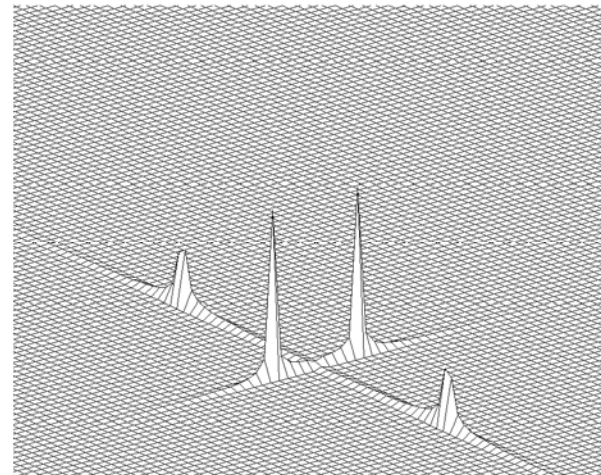
$$F[u, v] = F^*[-u, -v]$$

Ejemplo de DFT

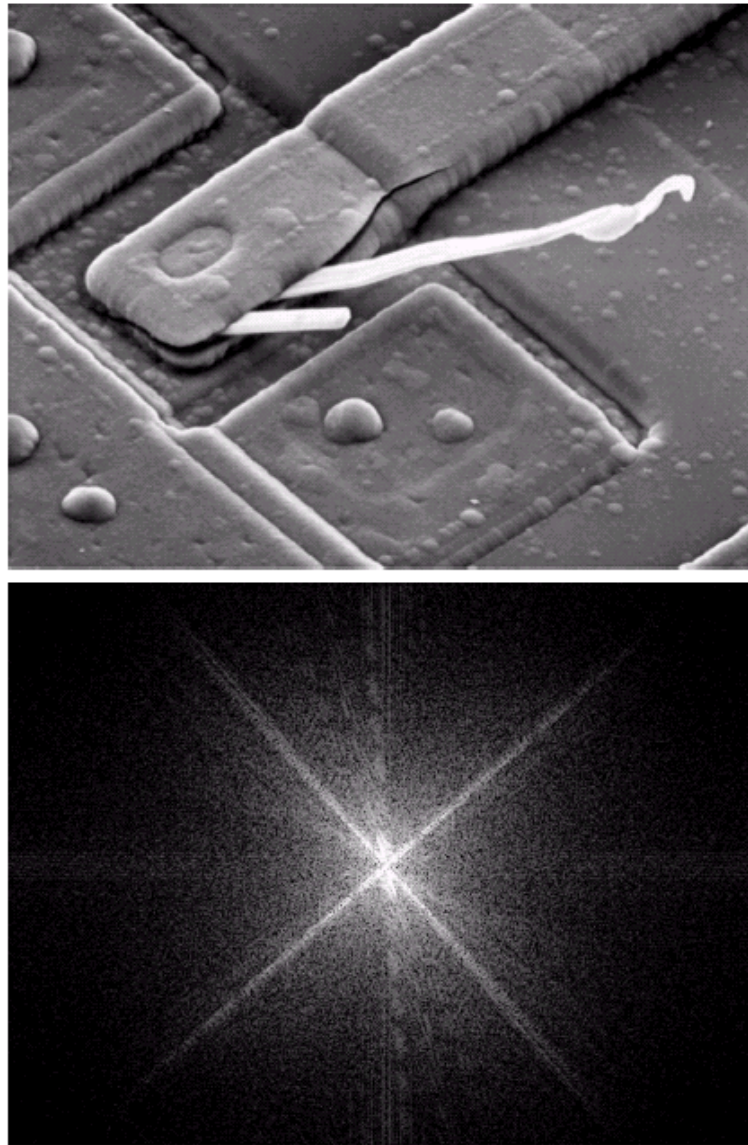
Imagen
(256x256)



módulo FFT



Ejemplo 2



a
b

FIGURE 4.4
(a) SEM image of a damaged integrated circuit.
(b) Fourier spectrum of (a).
(Original image courtesy of Dr. J. M. Hudak, Brockhouse Institute for Materials Research, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada.)

Ejemplo 3

Imagen con altas frecuencias

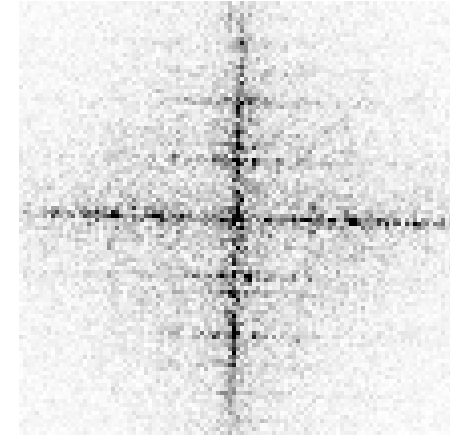
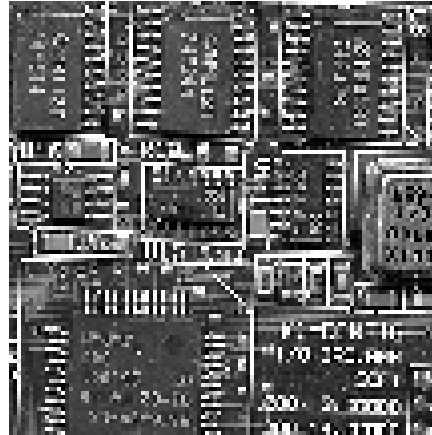
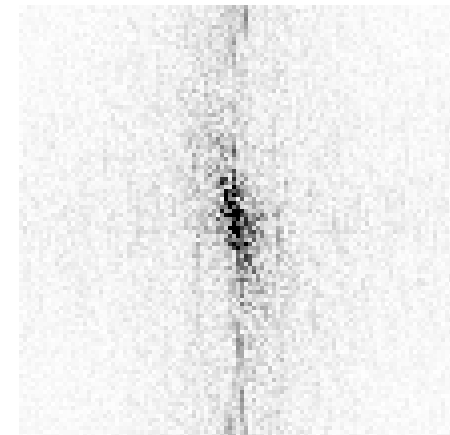


Imagen con bajas frecuencias

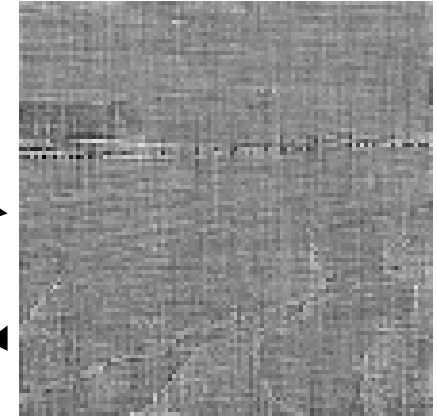
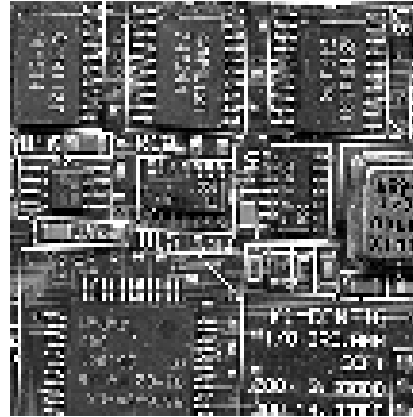


La información fundamental está en la fase

```
>> BG=fft2(bg);
>> CG=fft2(cg);
>> ampCG=abs(CG);
>> ampBG=abs(BG);
>> fasCG=angle(CG);
>> fasBG=angle(BG);
>> F1=ampBG.*exp(j*fasCG);
>> F2=ampCG.*exp(j*fasBG);
>> f1=ifft2(F1);
>> f2=ifft2(F2);
>> subplot(2,2,1)
>> imshow(bg)
>> subplot(2,2,2)
>> imshow(norma(real(f1)))
>> subplot(2,2,3)
>> imshow(cg)
>> subplot(2,2,4)
>> imshow(norma(real(f2)))
```

—————> amplitud

.....> fase



Filtrado

- El filtrado en el dominio de la frecuencia se expresa como:

$$G[u, v] = H[u, v] \cdot F[u, v]$$

Donde F es la imagen en el dominio de la frecuencia, H es el filtro y G es la imagen resultante en el dominio de la frecuencia

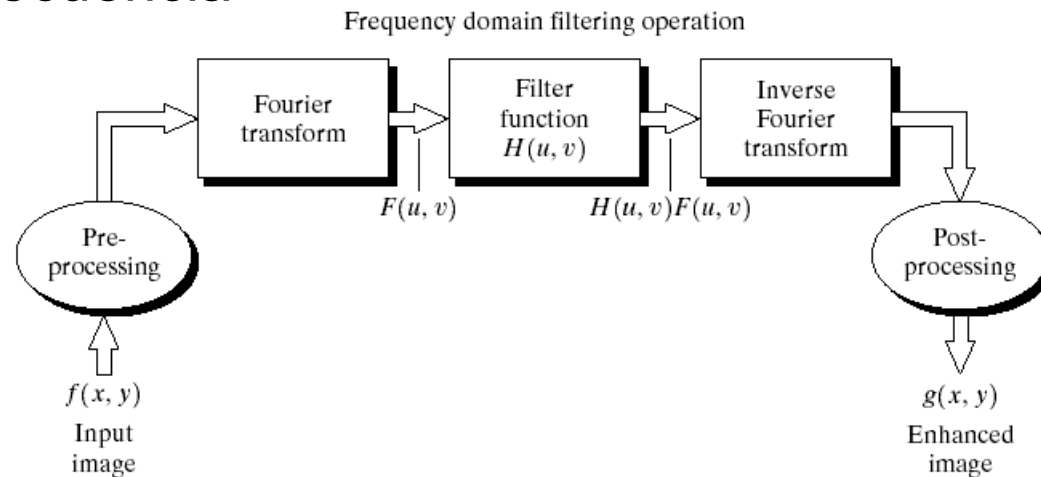


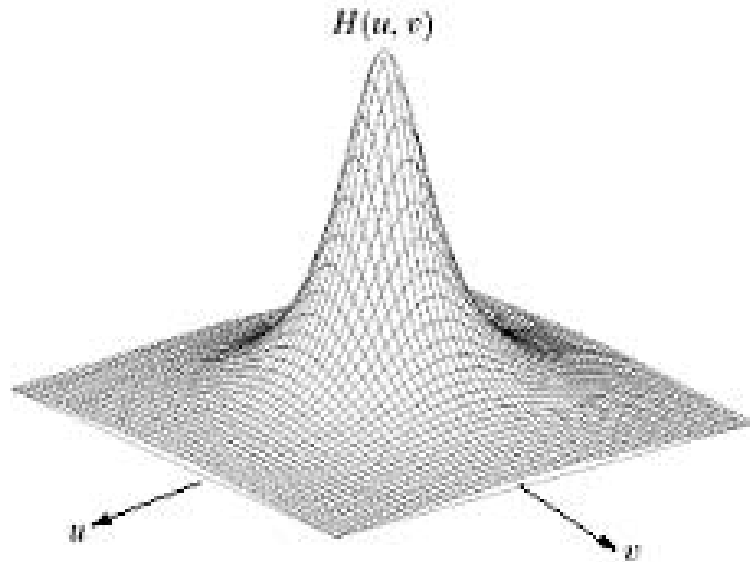
FIGURE 4.5 Basic steps for filtering in the frequency domain.

Filtrado

$$G[u, v] = H[u, v] \cdot F[u, v]$$

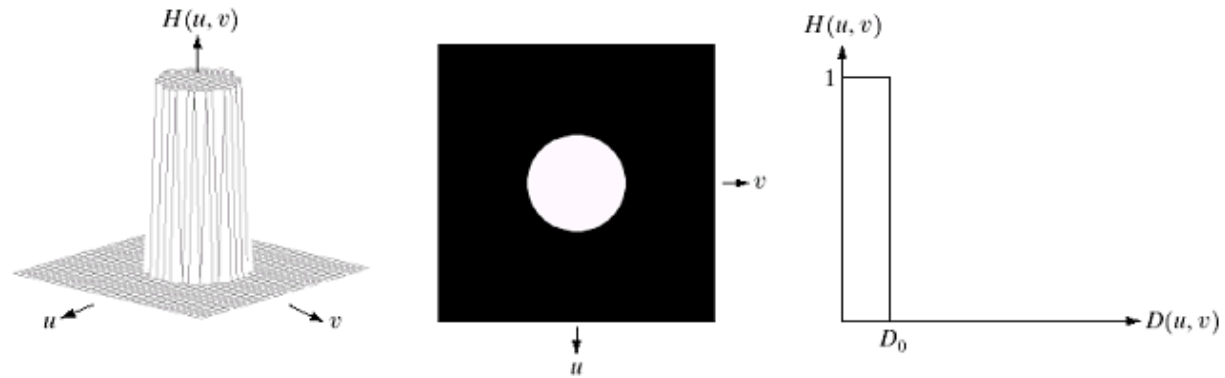
- El producto de H y F es un producto punto a punto.
- F es una matriz compleja, pero H suele ser real.
- Si H fuese complejo podría cambiar la fase de la imagen, pero si H es real la fase se mantiene.

Filtro de paso bajo

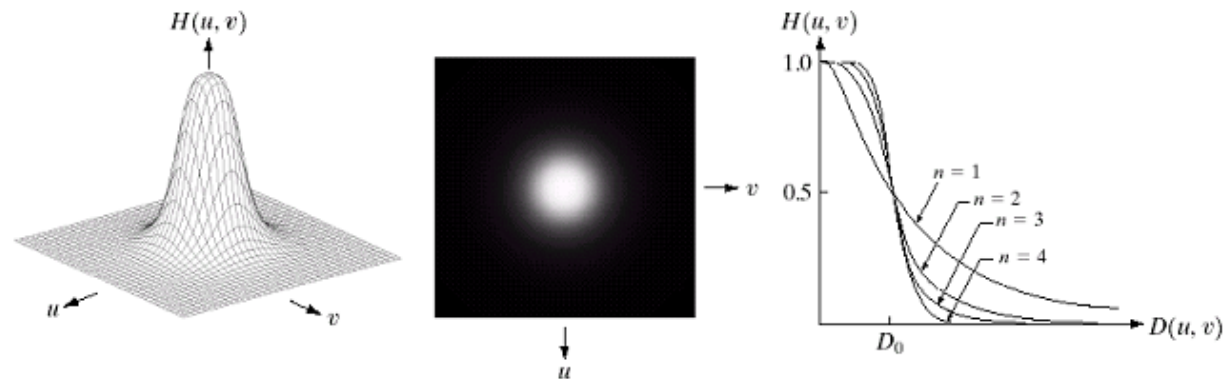


Ejemplos de filtros de paso bajo

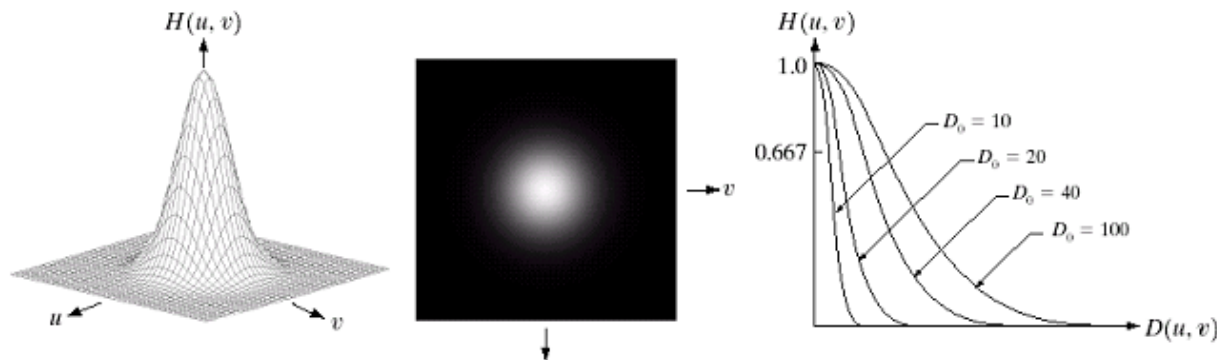
Filtro ideal



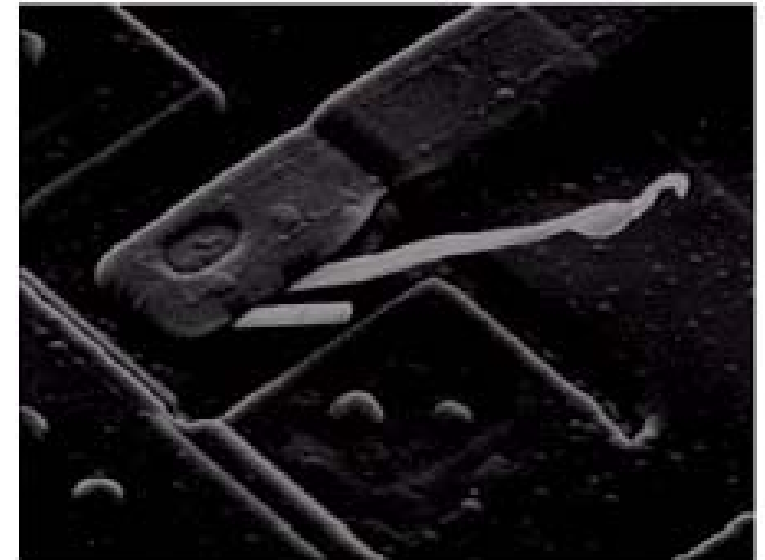
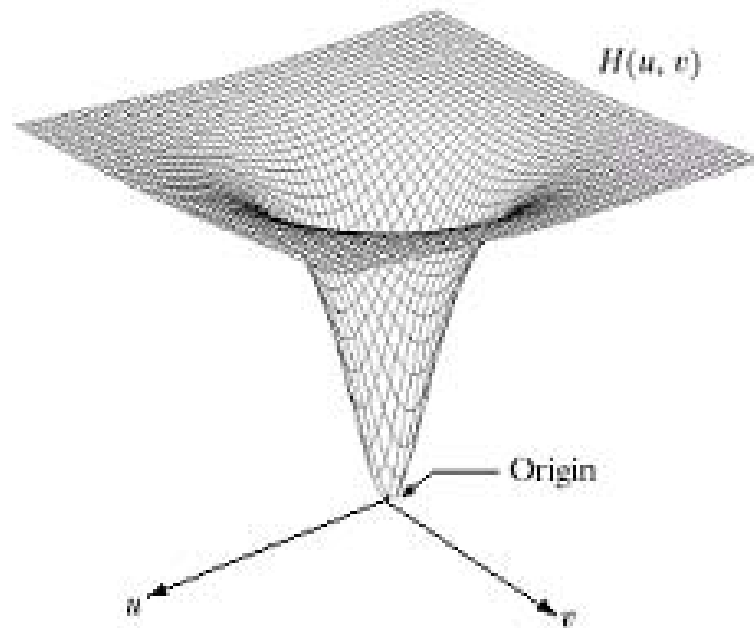
Butterworth



Gaussian

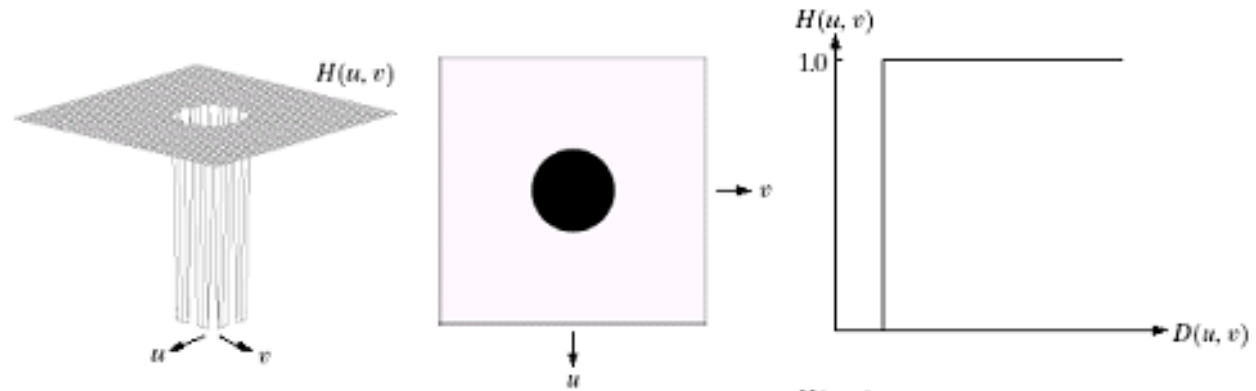


Filtro de paso alto

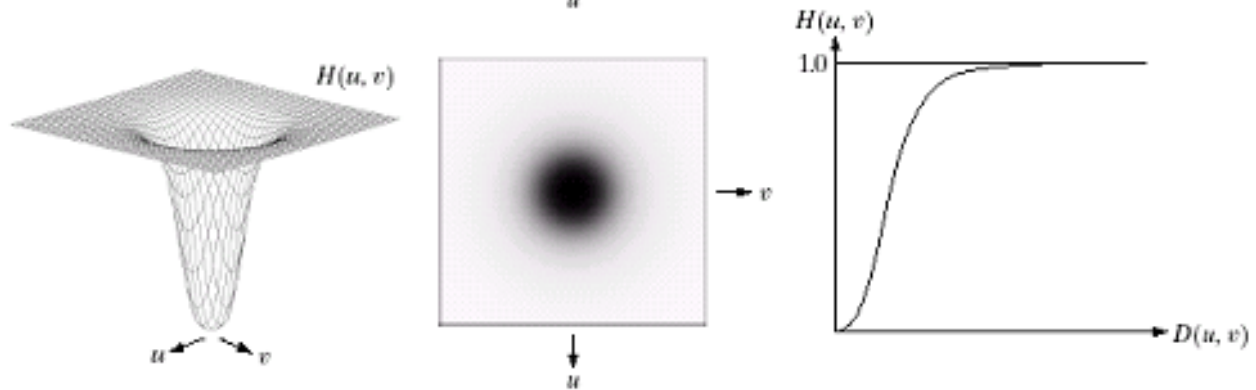


Ejemplos de filtros de paso alto

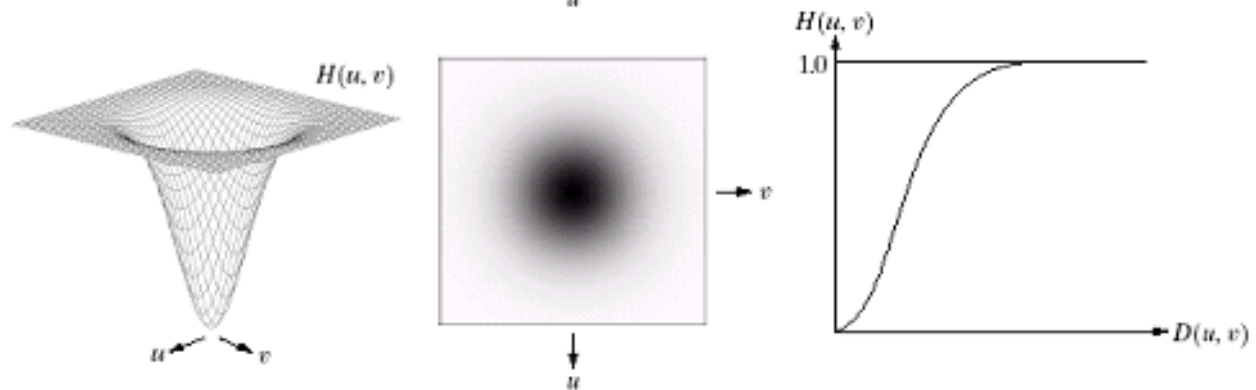
Filtro ideal



Butterworth



Gaussian



Equivalencia con el dominio del espacio

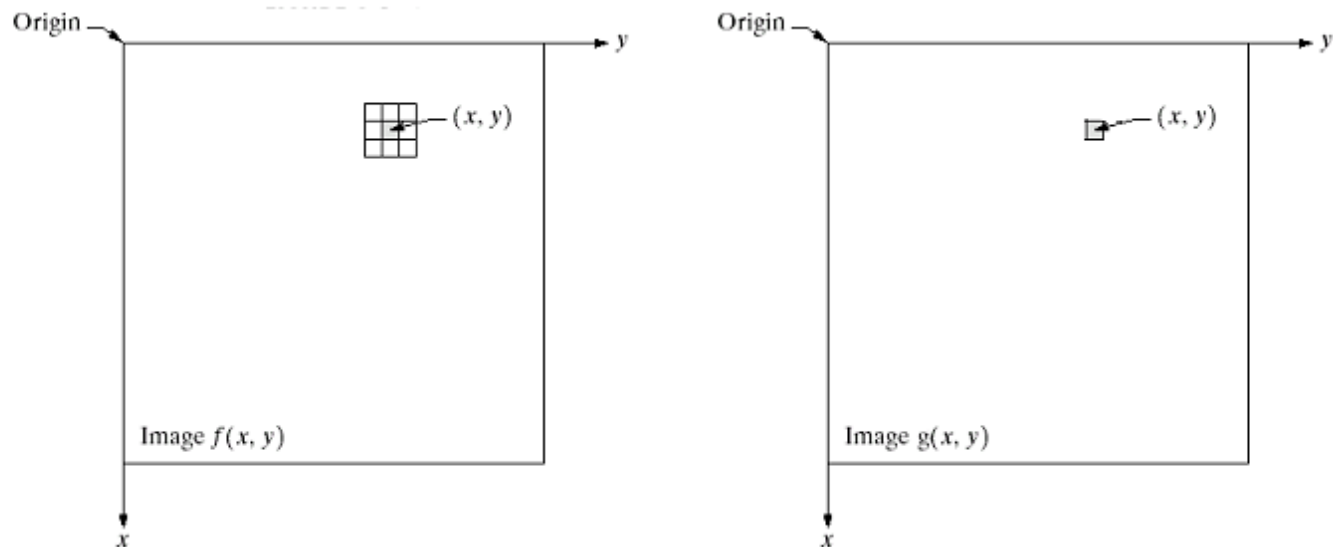
- El producto en el dominio de la frecuencia equivale a la convolución en el dominio del espacio

$$G[u, v] = H[u, v] \cdot F[u, v]$$

$$g[x, y] = h[x, y] * f[x, y]$$

Aplicación de los filtros

- La operación de convolución equivale a aplicar una matriz de máscara por zonas.
- Si la máscara cambia en cada zona, el filtro es **adaptativo**.



Ventanas

- Las ventanas se aplican de la misma manera que en tratamiento de señales
- Disminuyen la incidencia del efecto de los bordes

(ver efecto en página a parte)