

Realce de imágenes: filtrado espacial

B. Aldalur¹ y M. Santamaría.²
¹Depto de Ingeniería – ²Depto de Matemática
Universidad Nacional del Sur
Bahía Blanca, Argentina

RESUMEN

El realce de imágenes es una de las principales técnicas de procesamiento digital de imágenes. Las operaciones que componen esta técnica se dividen en operaciones de procesamiento pixel por pixel y operaciones de procesamiento por grupo de píxeles.

El presente trabajo consiste en una descripción teórica de la operación de procesamiento por grupo de píxeles conocida como *Filtrado Espacial* y su aplicación a imágenes satelitales. Tal descripción incluye la caracterización e implementación de los filtros espaciales lineales y no lineales más comunes: paso bajo, paso alto y realce de bordes. La aplicación de estos filtros permitió conocer el funcionamiento y las bondades de cada uno de ellos.

PALABRAS CLAVE: filtros espaciales lineales, núcleo, máscara de convolución, filtros espaciales no lineales.

ABSTRACT

Image enhancement is one of the main techniques of digital image processing. This technique comprises two kind of operations, pixel point processing operations and pixel group processing operations.

The present work consists in a theoretical description of pixel group processing operation known as *Spatial Filtering* and its application to remotely sensed image data.

The description includes the characterization and implementation of the most commonly used linear and nonlinear spatial filters: low pass, high pass and edge enhancement. The application of these filters allowed to know the performance and the goodness of each one of them.

KEY WORDS: linear spatial filters, kernel, convolution mask, nonlinear spatial filters.

INTRODUCCIÓN

Una de las principales técnicas que componen el procesamiento digital de imágenes es la de realce o mejora de imágenes. Esta técnica comprende un conjunto de operaciones tendentes a mejorar la calidad visual de una imagen. Estas operaciones permiten realzar las características de brillo y contraste de una imagen, reducir su contenido de ruido, o agudizar o intensificar detalles presentes en ella.

En esta técnica, tal como en otras operaciones de procesamiento digital de imágenes, intervienen una imagen de entrada (input image) y una imagen de salida (output image). La primera constituye la imagen cuyos datos serán procesados, es decir, sometidos al realce, y la segunda es la resultante de tal procesamiento.

Las operaciones que componen la técnica de realce pueden dividirse en dos tipos:

- a) operaciones de procesamiento puntual o pixel por pixel
- b) operaciones de procesamiento por grupo de píxeles o sobre vecindades.

Las operaciones mencionadas en a) tienden a mejorar el contraste tonal en la imagen, esto es, la diferencia entre los valores más oscuros y más claros que se visualizan en un monitor. El procesamiento puntual altera los niveles de gris de los píxeles de una imagen. El nivel de gris de cada pixel en la imagen de entrada es modificado por un nuevo valor mediante operaciones matemáticas o relaciones lógicas. El valor resultante es ubicado en la imagen de salida en la misma posición espacial, esto es, en la misma posición (x, y) del arreglo rectangular de píxeles correspondiente a la imagen de entrada, donde x indica columna e y fila. Esto se realiza pixel por pixel, de manera individual, y los píxeles vecinos no tienen influencia.

Las operaciones del tipo b) mejoran el contraste espacial en la imagen, es decir, la diferencia entre el valor digital de brillo de un determinado pixel y el de sus vecinos. Pretenden suavizar o reforzar estos contrastes espaciales de forma tal que, los valores de brillo en cada pixel de la imagen se asemejen o diferencien más de los correspondientes a los pixeles que los rodean. El procesamiento por grupo de pixeles opera sobre un grupo de pixeles de entrada que circundan a un pixel central. Los pixeles vecinos proveen información valiosa sobre las tendencias del brillo en el área bajo procesamiento.

En procesamiento digital de imágenes satelitales, las operaciones incluídas en a) se conocen como *técnicas de realce radiométrico* mientras que las incluídas en b), *técnicas de realce geométrico* (Richards, 1995).

Este trabajo presenta una descripción teórica de las operaciones mencionadas en b) y su aplicación a imágenes satelitales con distintas características para comparar y establecer las bondades de las mismas. Puesto que estas operaciones permiten mejorar la calidad visual de una imagen, su aplicación como paso previo a otras técnicas de procesamiento digital es necesaria para explorar y detectar los distintos rasgos presentes en la imagen.

Las imágenes LANDSAT 5-TM (Thematic Mapper), fueron cedidas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) mediante el convenio de colaboración existente con la Universidad Nacional de Sur (UNS).

PROCESAMIENTO POR GRUPO DE PÍXELES. FILTRADO ESPACIAL

El procesamiento por grupo de pixeles opera sobre un grupo de pixeles de entrada que rodean a un pixel central. Por lo tanto, los pixeles adyacentes proporcionan información importante sobre la tendencia del brillo en el área que se está procesando. El uso y análisis de estas tendencias del brillo en una imagen, motivan las operaciones de filtrado espacial.

Todas las imágenes contienen detalles, algunas detalles marcados y otras detalles no tan marcados. Estos detalles están compuestos por transiciones de brillo que varían en ciclos que van del oscuro al claro y vuelta al oscuro. La tasa a la cual el brillo varía completando un ciclo es su frecuencia espacial. Las frecuencias espaciales pueden orientarse horizontalmente, verticalmente o en cualquiera de las diagonales.

Una imagen está formada por componentes de frecuencia que varían de bajas frecuencias a altas frecuencias. Donde prevalecen transiciones rápidas de brillo, hay altas frecuencias espaciales, mientras que transiciones de brillo que cambian lentamente representan bajas frecuencias. Las altas frecuencias en una imagen aparecen toda vez que están presentes bordes abruptos o puntos, como una transición del blanco al negro dentro de uno o dos pixeles de distancia.

Una imagen puede filtrarse para acentuar o eliminar una banda de frecuencias espaciales, tales como las altas frecuencias o las bajas frecuencias. Estas operaciones de procesamiento digital de imágenes se conocen como operaciones de *filtrado espacial* o *filtros en el dominio del espacio*. Otras operaciones de filtrado espacial permiten resaltar solamente las transiciones abruptas en la imagen, tales como bordes de objetos. Estas constituyen un subconjunto de las operaciones de filtrado espacial y se conocen como *operaciones de realce de bordes*.

IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS ESPACIALES LINEALES

Los filtros espaciales se implementan mediante un proceso llamado *convolución espacial*. Es un método matemático utilizado en procesamiento y análisis de señales, y se conoce también como filtro de respuesta finita al impulso (finite impulse response filter).

El proceso de convolución espacial se mueve a través de la imagen de entrada, pixel por pixel, ubicando los pixeles resultantes en la imagen de salida. El valor digital de brillo de cada pixel en la imagen de salida depende de un grupo de pixeles de entrada que rodean al pixel que se está procesando. Al utilizar la información del brillo de los pixeles vecinos a un pixel central, la convolución espacial calcula la actividad de frecuencia espacial en ese área, y por lo tanto, es capaz de filtrar en base al contenido de frecuencia espacial existente.

El proceso de convolución espacial utiliza un promedio ponderado del pixel de entrada y de sus vecinos inmediatos para calcular el valor de brillo del pixel de salida. El grupo de pixeles utilizados en el cálculo del promedio ponderado se conoce como *núcleo* (kernel). El núcleo es una matriz móvil, generalmente cuadrada, con un número impar de valores en cada dimensión. Si la dimensión del núcleo es 1 x 1 se trata del procesamiento digital punto por punto; las dimensiones usuales en

procesamiento por grupo son 3 x 3 y 5 x 5. Cuanto mayor es el tamaño del núcleo de píxeles que se emplea en el cálculo, más grados de libertad posee el filtro espacial.

Un cálculo de promedio ponderado es un *proceso lineal* puesto que involucra la suma de elementos multiplicados por valores constantes. En la convolución espacial los elementos son los valores digitales de brillo de los píxeles del núcleo y los valores constantes son los pesos, llamados *coeficientes de convolución*. En el caso más simple donde todos los pesos son iguales a $1/n^\circ$ de elementos del núcleo, el proceso consiste en un cálculo de promedio convencional, es decir, se promedian los valores de brillo de los píxeles del núcleo. Si los pesos se alteran, algunos píxeles tendrán más o menos influencia en el promedio general. La elección de estos pesos determina directamente la acción del filtrado espacial, por ejemplo, *filtrado de paso alto*, *filtrado de paso bajo* o *filtrado para realce de bordes*.

La mecánica de la convolución espacial consiste en aplicar junto con el núcleo de convolución, los coeficientes de convolución en forma de arreglo o matriz; esta matriz se conoce con el nombre de *máscara de convolución*. El píxel correspondiente al centro del núcleo y sus vecinos se multiplican por sus respectivos coeficientes de convolución y luego estos valores se suman. El resultado se ubica en la imagen de salida en la misma posición del píxel central. Este proceso ocurre píxel por píxel, para cada píxel en la imagen de entrada. Dado que el área filtrada se limita a los píxeles centrales, los píxeles de los bordes no se afectan por el proceso puesto que no tienen los vecinos necesarios para realizar el cálculo.

Las máscaras de convolución pueden tomar cualquier valor numérico. Sin embargo, cuando se ejecuta el proceso de convolución el valor final resultante debe hallarse entre 0 y 255 (para imagen de salida de 8-bits). Para ello, generalmente suelen reemplazarse por 255 los valores mayores a 255 y por 0 los valores menores a 0.

Si se considera un núcleo de píxeles de dimensión 3 x 3 y una máscara de convolución cuyos nueve coeficientes son:

a	b	c
d	e	f
g	h	i

entonces la ecuación para el proceso de convolución espacial resulta:

$$O(x, y) = a I(x - 1, y - 1) + b I(x, y - 1) + c I(x + 1, y - 1) + d I(x - 1, y) + e I(x, y) + f I(x + 1, y) + g I(x - 1, y + 1) + h I(x, y + 1) + i I(x + 1, y + 1)$$

donde los prefijos I y O indican imagen de entrada e imagen de salida respectivamente (Baxes, 1994).

Filtros de Paso Bajo

Tienen por objeto suavizar los contrastes espaciales presentes en una imagen. Un filtro espacial de paso bajo tiene por efecto dejar pasar o mantener intocables los componentes de baja frecuencia espacial de una imagen. Los componentes de alta frecuencia están atenuados o virtualmente ausentes en la imagen de salida.

Un filtro de paso bajo muy utilizado es aquel cuya máscara de convolución tiene dimensión 3 x 3 y sus nueve coeficientes son iguales a 1/9, es decir:

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

Esta máscara produce un simple promedio de los valores de brillo de los píxeles y se conoce como *filtro de la media*. La suma de sus coeficientes es igual a 1 y todos ellos son positivos. Estas dos características son válidas para todas las máscaras de filtros pasabajos. Si este filtro se aplica a una región de una imagen donde cada píxel del núcleo tiene el mismo valor de brillo, es decir, un área de baja frecuencia espacial, el resultado es ese mismo valor de brillo. Esto es, el valor de brillo resultante en una región de píxeles con valor de brillo constante es el mismo de entrada. Esto se corresponde con el hecho de que no existe actividad espacial en la región (falta de cambios en los niveles de gris), lo que indica que existe frecuencia espacial 0. Si se aplica en una región donde los valores de brillo de los píxeles cambian rápidamente del blanco al negro y viceversa, es decir, un área de alta frecuencia espacial, el resultado será un valor medio de gris entre los negros y los blancos. Esto produce una imagen de salida compuesta por valores medios de gris que varían levemente. Las transiciones de altas frecuencias, blanco a negro, de la imagen de entrada son atenuadas a transiciones mínimas de valores de gris.

En imágenes satelitales, el filtro de paso bajo se utiliza para restaurar errores aleatorios que pueden presentarse en los niveles de brillo de la imagen,

producto de un defecto en la adquisición o recepción de los datos. Se emplea también para reducir la variabilidad espacial de algunas categorías como paso previo y/o posterior a la clasificación. En este caso, se pretende atenuar el llamado “ruido de la escena” producido en las zonas altamente heterogéneas en relación con la resolución espacial del sensor (zonas donde se mezclan distintos tipos de cubiertas en un espacio reducido).

Filtros de Paso Alto

Este tipo de filtros pretende aislar los componentes de alta frecuencia en una imagen. El filtro de paso alto tiene un efecto opuesto al filtro pasabajos, acentúa los componentes de alta frecuencia espacial mientras que deja sin tocar los componentes de baja frecuencia espacial.

Una máscara de paso alto muy común, de dimensión 3 x 3, es aquella que contiene un 9 en la posición del centro y -1 en las posiciones que lo rodean, es decir:

$$\begin{array}{ccc} -1 & -1 & -1 \\ -1 & +9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{array}$$

La suma de los coeficientes es 1 y los coeficientes más pequeños rodean al coeficiente del centro que es positivo y el más grande. Esta disposición de los coeficientes indica que el pixel central del grupo de píxeles de entrada que se procesan aporta una alta influencia, mientras que los píxeles que lo rodean actúan oponiéndose a él. Si el pixel central posee un valor de brillo muy diferente al de sus vecinos inmediatos, entonces el efecto de estos últimos es despreciable y el valor de salida es una versión acentuada del valor original del pixel del centro. Esa diferencia grande indica una marcada transición en los niveles de gris, lo que indica la presencia de componentes de altas frecuencias. Por consiguiente, en la imagen de salida se espera que la transición aparezca acentuada. Por el contrario, si los valores de brillo de los píxeles vecinos son suficientemente grandes para contrarrestar el peso del pixel del centro, entonces el resultado final se basa más en un promedio de los píxeles involucrados.

Si el valor de brillo de todos los píxeles de un núcleo 3 x 3 son iguales, el resultado es simplemente el mismo valor. Es decir, produce la misma

respuesta que el filtro de paso bajo aplicado sobre regiones constantes. Esto significa que el filtro de paso alto no atenúa los componentes de bajas frecuencias espaciales. Más precisamente enfatiza los componentes de altas frecuencias mientras que deja sin tocar los de bajas frecuencias.

Los filtros de paso alto permiten destacar cualquier rasgo fronterizo de una imagen, independientemente de su orientación.

Los filtros de paso bajo y paso alto constituyen la base de la mayor parte de las operaciones de filtrado espacial. Estos filtros proveen la parte adaptativa de la operación de procesamiento puntual conocida como umbral adaptativo (adaptive thresholding).

Realce y Detección de Bordes

El realce de bordes transforma una imagen de manera que exhibe sólo el detalle de bordes o fronteras. Los bordes aparecen como las líneas de contorno de los objetos dentro de la imagen. Estos contornos pueden utilizarse en posteriores operaciones de análisis de imágenes para el reconocimiento de objetos o rasgos.

Los realces de bordes son implementados a través de filtros espaciales. Los más utilizados son: desplazamiento y sustracción, filtros Laplacianos para bordes, gradiente de Prewitt, Roberts, Sobel y Kirsch.

El método de *desplazamiento y sustracción o resta* permite realzar información de bordes verticales u horizontales. Desplazando una imagen a la izquierda en un pixel y restando esta nueva imagen de la original, se resaltarán los bordes verticales. Esto se debe a que el valor de brillo de cada pixel de entrada es restado de su vecino horizontal, dando un valor de la diferencia de brillo entre ambos, conocida como pendiente en el contexto de una imagen. Si dos píxeles adyacentes tienen brillos muy diferentes (existencia de borde), la diferencia resultará grande. Por el contrario, si dos píxeles adyacentes tienen valores similares de brillo (no existencia de borde), la diferencia de brillos resultante será pequeña. El efecto es una imagen donde aparecen los contornos direccionales.

Análogamente, el realce de borde horizontal se implementa desplazando la imagen un pixel hacia arriba y restando.

La operación de desplazamiento y sustracción se lleva a cabo utilizando las siguientes máscaras:

0 0 0	0 -1 0
-1 1 0	0 1 0
0 0 0	0 0 0
vertical	horizontal

-1 -1 -1
-1 +8 -1
-1 -1 -1

La suma de los coeficientes es igual a 0. Esto significa que a medida que la máscara pasa sobre regiones de la imagen con valores de brillo constantes (no bordes), el resultado que se produce es 0, lo que representa una pendiente de brillo igual a 0 (Baxes, 1994).

La operación del *gradiente de Prewitt* determina un realce de borde direccional. Si se utiliza un núcleo de dimensión 3 x 3, pueden generarse ocho imágenes de gradientes a partir de una imagen original. Cada una resalta los bordes orientados en una de las siguientes ocho direcciones: norte, sur, este, oeste, sureste, noroeste, suroeste y noreste. Las máscaras de convolución correspondientes son (Chuvieco, 1996):

1 1 1	-1 -1 -1	-1 1 1	1 1 -1
1 -2 1	1 -2 1	-1 -2 1	1 -2 -1
-1 -1 -1	1 1 1	-1 1 1	1 1 -1
norte	sur	este	oeste
-1 -1 1	1 1 1	1 -1 -1	1 1 1
-1 -2 1	1 -2 -1	1 -2 -1	-1 -2 1
1 1 1	1 -1 -1	1 1 1	-1 -1 1
suroeste	noroeste	suroeste	noreste

La suma de los coeficientes es igual a 0. Tal como en el filtro tratado anteriormente, a medida que la máscara pasa sobre regiones de la imagen con valores de brillo constantes, el resultado es 0, indicando pendiente de brillo igual a 0.

En aquellas regiones donde el gradiente de Prewitt genera resultados negativos, el valor de salida se establece igual a 0 porque brillos negativos no están definidos.

La imagen de gradiente aparece como negra toda vez que los valores de brillo son constantes. Aquellos bordes con la orientación direccional correcta en la imagen original, aparecen como blancos en la imagen de gradiente.

El realce de borde *Laplaciano* es una operación omnidireccional que resalta todos los bordes en una imagen, independientemente de sus orientaciones. Esta operación está basada en la tasa de cambio de la pendiente del brillo dentro de un núcleo de píxeles de dimensión 3 x 3. La máscara Laplaciana más común está formada por un 8 en la posición central y -1 en las posiciones que la rodean

Los coeficientes suman 0 y como en el caso de una máscara de filtro de paso alto, coeficientes con valores negativos rodean al coeficiente del centro que es un valor positivo grande.

La operación de realce Laplaciano genera picos más marcados o abruptos en los bordes que la operación de gradiente. Cualquier pendiente de brillo, ya sea positiva o negativa, es acentuada, dando al Laplaciano su carácter omnidireccional.

En una región de una imagen que es uniforme en brillo o con gradiente de brillo uniforme, el resultado de aplicar la máscara anterior es reducir el nivel de gris a 0. Cuando una discontinuidad está presente dentro de una vecindad en forma de punto, línea o borde, el resultado del Laplaciano es un valor no nulo, negativo o positivo dependiendo de donde se encuentre el punto central con respecto al borde.

A fin de exhibir el resultado cuando surgen valores de píxeles tanto positivos como negativos, es común sumar un valor medio de gris (128 para el caso de imágenes con 1 sólo bit por píxel con valores de gris en el rango de 0 a 255) de modo que los puntos con valor 0 son gris medio, y los valores brillantes y oscuros producidos por el Laplaciano puedan visualizarse.

El filtro Laplaciano no es la mejor herramienta para demarcar bordes. En muchos casos, fronteras o bordes aparecen, al menos localmente, como en escalón de brillos dispersos sobre varios píxeles. El Laplaciano da una mejor respuesta a una línea que a un escalón y a un punto que a una línea. En una imagen que contiene ruido, que se presenta de manera típica como puntos que varían en brillo, el Laplaciano mostrará tales puntos más fuertemente que los bordes o fronteras de interés.

A efectos de resaltar aún más puntos, líneas y bordes se puede cambiar el coeficiente del centro de la máscara por +9 (Russ, 1998), resultando precisamente la máscara mencionada en filtros de paso alto.

Otro enfoque para localización de bordes utiliza el cálculo de *derivada primera* (Richards, 1995).

Si la imagen es una función continua del brillo en un par de coordenadas continuas x e y, es decir $\Phi(x,y)$, entonces el vector gradiente se define en la imagen como:

$$\nabla\Phi(x, y) = \frac{\partial}{\partial x} \Phi(x, y) i + \left(\frac{\partial}{\partial y}\right) \Phi(x, y) j$$

donde i, j forman un par de vectores unitarios. La dirección del vector gradiente es la dirección de máxima pendiente ascendente y su amplitud es el valor de pendiente. Para operaciones de detección de bordes se utiliza, generalmente, sólo la magnitud del gradiente definida por:

$$|\nabla| = \sqrt{\nabla_1^2 + \nabla_2^2}$$

donde $\nabla_1 = \frac{\partial}{\partial x} \Phi(x, y)$ y $\nabla_2 = \frac{\partial}{\partial y} \Phi(x, y)$ (1)

Algunas imágenes son esencialmente unidimensionales, por lo tanto la aplicación de la derivada primera a tales imágenes, en la dirección de variación más importante demarca las fronteras y realza la visibilidad de pequeños escalones y otros detalles.

A continuación figuran las máscaras más comunes para la detección de bordes en distintas direcciones:

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

y de manera similar se construyen las restantes para obtener las ocho rotaciones (Russ, 1998).

Para datos de imágenes digitales, no es posible calcular la derivada continua. En su lugar, puede calcularse, en el caso unidireccional, el valor de la diferencia entre dos píxeles adyacentes como derivada finita (se hizo mención en el método de desplazamiento y sustracción).

Es posible extender los mismos principios relativos a la derivada primera unidireccional, para localizar fronteras con orientaciones arbitrarias en imágenes bidimensionales. Esta constituye una de las operaciones más comunes entre todas las operaciones de realce de imágenes.

Tal como en el caso unidireccional, en orientaciones arbitrarias las derivadas continuas (1) en datos de imágenes digitales son reemplazadas por diferencias pero en este caso con 2 diferencias de

píxeles que representan una aproximación finita a las derivadas del brillo.

El operador de *Sobel* es una de las técnicas más comúnmente utilizadas y es equivalente a la aplicación simultánea de las siguientes máscaras:

$$\nabla_1 = \begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix} \quad \nabla_2 = \begin{matrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{matrix}$$

El operador de *Kirsch* aplica cada una de las ocho orientaciones de una máscara direccional y retiene el valor máximo. Se obtienen resultados similares a Sobel en la detección de bordes.

FILTROS ESPACIALES NO LINEALES

Existen otros filtros espaciales que no son función lineal de los valores de brillo de los píxeles de una imagen. Es decir, no se calculan como una suma lineal de elementos (brillo de los píxeles) multiplicados por pesos constantes (coeficientes de la máscara). Estos filtros se conocen como *filtros espaciales no lineales*. Constituyen también técnicas de procesamiento por grupo de píxeles, operando sobre un núcleo de píxeles de entrada que rodean a un píxel central. La diferencia es que en lugar de utilizar un promedio ponderado, emplean otras técnicas que combinan los valores de brillo del grupo de píxeles de entrada.

Un ejemplo de este tipo de filtros es el *filtro de la mediana* (Baxes, 1994, Richards, 1995). Se basa en sustituir el valor de brillo del píxel central del núcleo por la mediana de todos los valores de brillo de los píxeles que forman dicho núcleo. Se emplea para eliminar valores anómalos aislados, producto de ruidos aleatorios en la adquisición de los datos.

Otro filtro espacial no lineal es el *filtro de la moda*. Se basa en sustituir el valor de brillo del píxel central del núcleo por la moda (valor de brillo que más se repite) de todos los valores de brillo de los píxeles que forman dicho núcleo.

RESULTADOS

Para el tratamiento de las imágenes, se trabajó con el software Idrisi for Windows, versión 2.

La Figura 1a) corresponde a una ventana de una imagen satelital (banda 3) de la zona de Salinas Chicas, provincia de Buenos Aires, Argentina. Esta

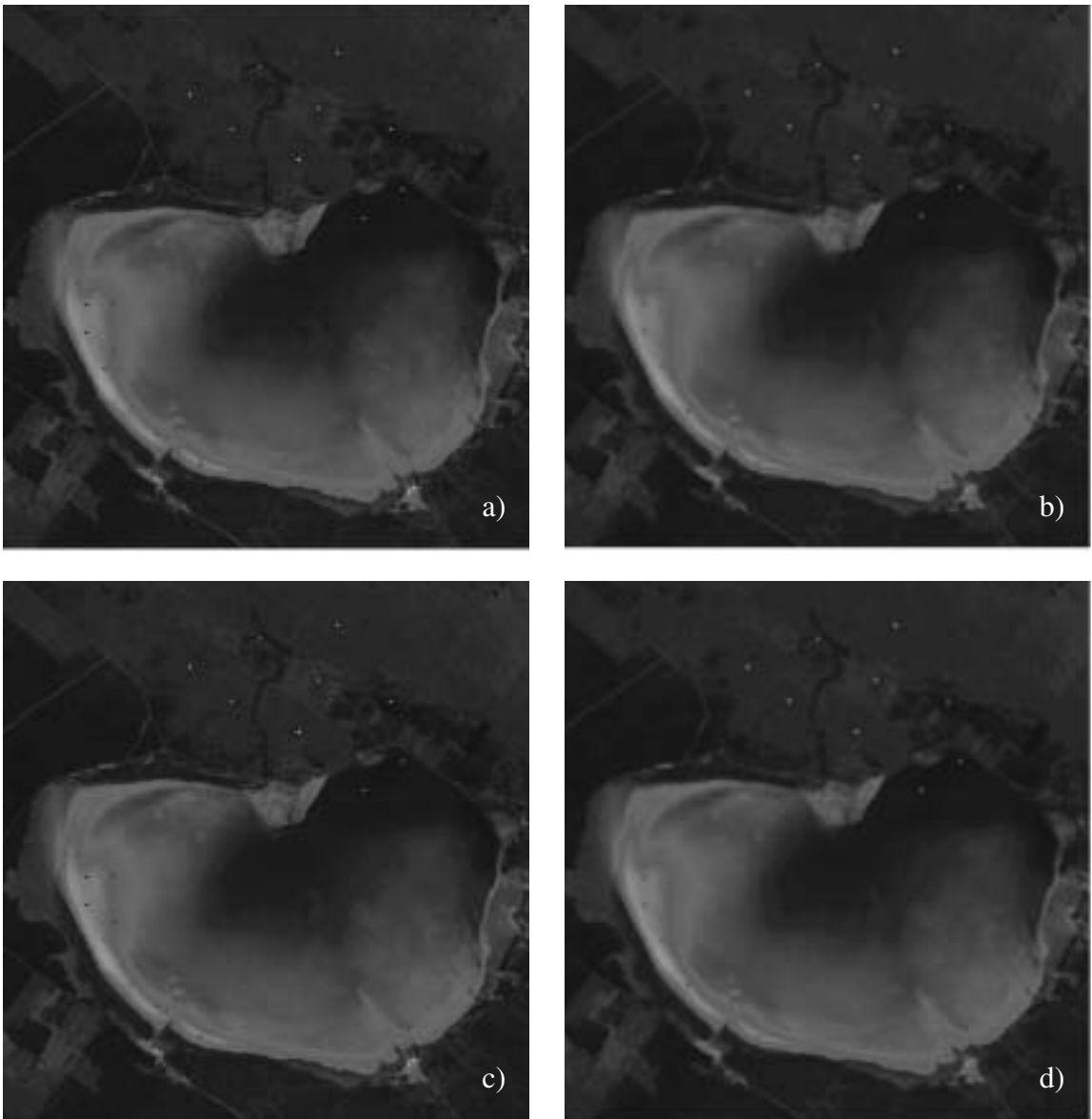


Figura 1. a) Imagen original, b) Imagen con filtro de la media, c) Imagen con filtro de mediana, d) Imagen con filtro Laplaciano.

imagen fue contaminada con ruido tipo impulso, los valores de brillo de 18 píxeles fueron reemplazados por un valor de brillo 0 y los de otros 18 píxeles por un valor de brillo 150, visualizándose como puntos negros y blancos en la imagen. Se aplicaron los filtros de media y mediana, 3 x 3, para ver su efecto sobre tales puntos aislados.

El filtro de la media, Figura 1b), produce una modificación de los valores de brillo originales, principalmente en los grupos de píxeles vecinos a aquellos cuyo brillo es 0 o 150. Esto se debe a que estos valores son incluidos en el cálculo del prome-

dio, disminuyendo o aumentando los valores de brillo. Visualmente este filtro no elimina totalmente los puntos correspondientes al ruido, sólo atenúa el contraste con sus vecinos.

El filtro de la mediana, Figura 1c), elimina totalmente los puntos de ruido de la imagen puesto que por tratarse de puntos extremos aislados no afectan el valor mediano de brillo. Es menos sensible a valores extremos y produce una menor modificación de los datos originales que el filtro de la media aritmética.

Por otra parte, en el interior de la salina se visualizan líneas de contornos que luego de aplicar el fil-

tro de media resultan confusas o imperceptibles mientras que esto no ocurre al aplicar el filtro de la mediana. Es decir, este último filtro como técnica de suavizado preserva mejor bordes o contornos que el filtro de media.

Las siguientes submatrices muestran el efecto producido, por la aplicación de los filtros mencionados, en los valores de brillo de los pixeles que rodean al 0 y al 150:

Imagen original

		columna								
		55	56	57	58	269	270	271	272	
204	fila	91	90	92	91	125	24	25	24	25
205		91	0	0	90	126	23	150	150	25
206		90	92	91	92	127	23	25	23	25
207		93	91	92	91	128	24	23	24	25

Imagen con filtro de media

		55	56	57	58	269	270	271	272	
204		80	70	70	80	125	38	52	52	38
205		81	71	71	81	126	38	52	52	38
206		81	71	71	81	127	38	52	52	38
207		92	92	92	92	128	24	24	24	24

Imagen con filtro de mediana

		55	56	57	58	269	270	271	272	
204		90	89	89	90	125	24	24	25	24
205		91	91	91	91	126	24	24	25	24
206		91	91	91	91	127	24	24	25	25
207		92	92	92	92	128	24	24	24	25

A la misma imagen se aplicó el filtro Laplaciano, 3 x 3, con centro 9 y vecinos -1 para comprobar que este filtro da una mejor respuesta a un punto que a una línea. La imagen filtrada fue posteriormente convertida a una escala entre 0 y 255.

Efectivamente esto puede observarse tanto en la imagen filtrada, Figura 1d), como en las submatrices de valores de brillo (de la imagen filtrada sin

cambio de escala entre 0 y 255) correspondientes a punto y línea que figuran a continuación:

Imagen original

		punto				línea				
		55	56	57	58	152	153	154	155	
204		91	90	92	91	361	45	33	34	30
205		91	0	0	90	362	40	51	38	34
206		90	92	91	92	363	26	33	52	50
207		93	91	92	91	364	26	26	28	42

Imagen con filtro Laplaciano (sin cambio de escala)

		55	56	57	58	152	153	154	155	
204		192	272	293	190	361	98	-10	26	12
205		184	-637	-638	172	362	69	158	25	6
206		168	280	271	189	363	-21	10	166	137
207		100	82	92	81	364	23	-7	-28	79

En el caso de punto aislado existe una marcada diferencia entre su valor de brillo luego del filtrado y el de sus vecinos, motivo por el cual aparece resaltado en la imagen filtrada. En el caso de línea también existe esa diferencia pero no resulta tan marcada. Esas diferencias se exhiben en las submatrices mediante la presencia de valores negativos rodeados de positivos y viceversa. En la aplicación de este filtro no se utilizaron umbrales, debido a esto figuran valores negativos o positivos muy altos.

La Figura 2a) corresponde a una imagen satelital (banda 5) de un sector de la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. Con el fin de realzar bordes para detectar los canales de acceso a la ría y los distintos amanzanamientos que posee la ciudad, se aplicaron los filtros Sobel, Figura 2b) y Laplaciano, Figura 2c), ambos en matriz 3 x 3.

Para obtener mejores efectos de realce de bordes se sumaron a la imagen original el filtro de Sobel, Figura 2d) y el filtro Laplaciano, Figura

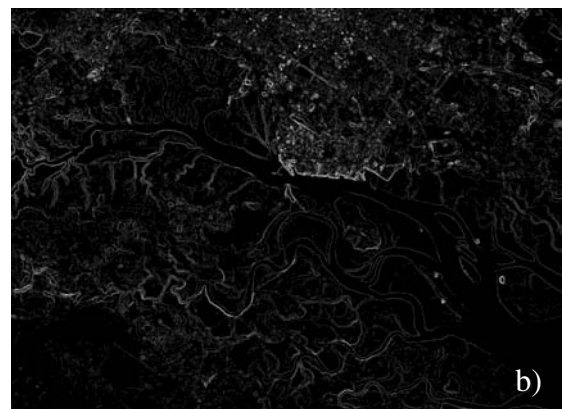
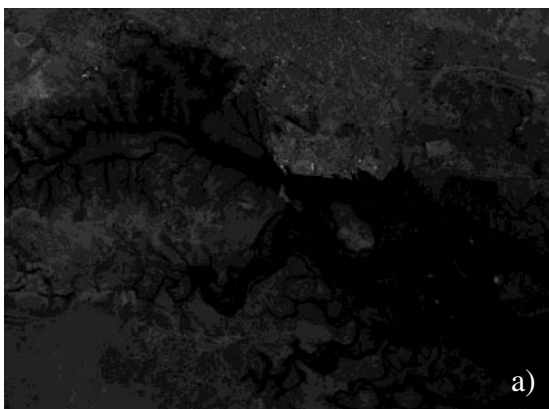


Figura 2. a) Imagen original, b) Imagen con filtro de Sobel.

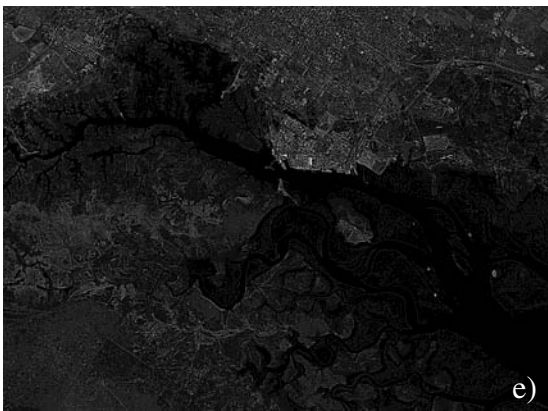
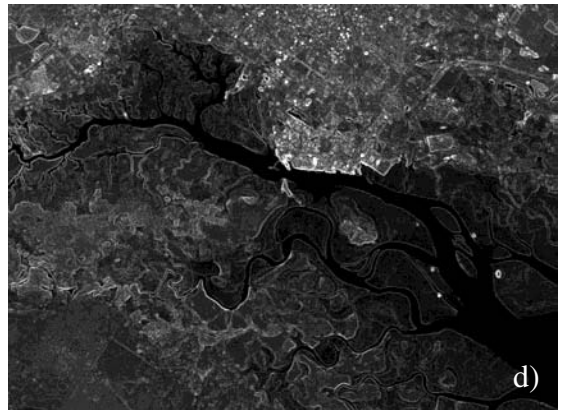
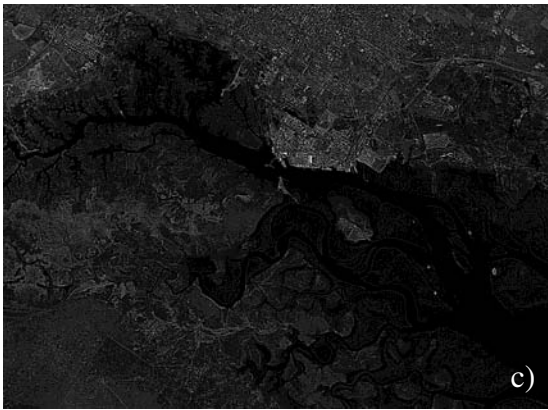


Figura 2. c) Imagen con filtro laplaciano, d) Suma de imágenes original y filtrada con Sobel, e) Suma de imágenes original y filtrada con laplaciano.

2e). Los resultados obtenidos muestran que el filtro de Sobel realza mejor los contornos que determinan los accesos a la ría y no así los amanzanamientos. Esto se debe a que la diferencia entre niveles de brillo de los pixels correspondientes a la zona de canales y a la zona sin anegar es muy marcada. En el caso de los amanzanamientos se

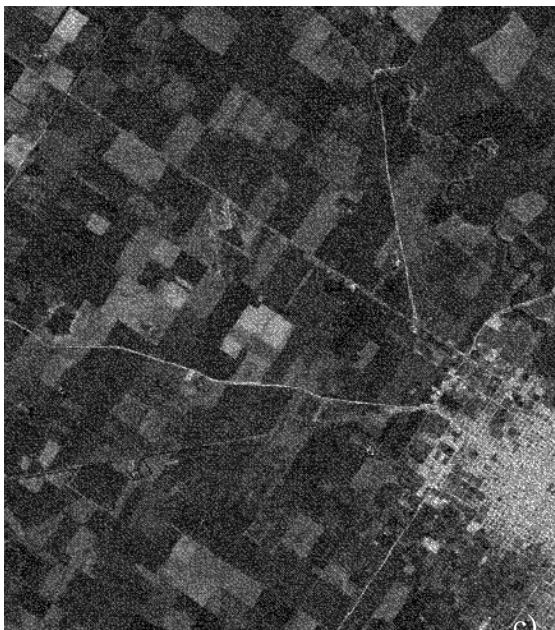
obtienen mejores resultados con el filtro Laplaciano dado que si bien tales diferencias existen, no son tan marcadas.

La Figura 3a) corresponde a una ventana de una imagen satelital compuesta (bandas 1, 2 y 3), de la zona de Necochea-Quequén y zona rural, provincia



* **Figura 3.** a) Imagen original, b) Imagen compuesta con banda 3 filtrada.

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color



* **Figura 3.** c) Imagen compuesta con banda 3 filtrada.

de Buenos Aires. Con el fin de ver en detalle las rutas de acceso a la ciudad, el estado parcelario rural, el recorrido del Río Quequén Grande y la línea de costa se aplicó un filtro Sobel a la banda 3. Se creó una imagen compuesta con las bandas 1, 2 y 3 filtrada con Sobel. Las Figuras 3b) y 3c) muestran 2 sectores de esa imagen. Los resultados fueron satisfactorios: la Figura 3b) muestra en detalle el realce de la zona urbana de la ciudad de Necochea, del Río Quequén

Grande y de la línea de costa, mientras que la Figura 3c) exhibe claramente las rutas de acceso a la ciudad, el estado parcelario rural y un sector del cauce del Río Quequén Grande (sector noroeste de la imagen).

La Figura 4a) corresponde a una ventana de la imagen de la zona de Necochea-Quequén (banda 1). Esta imagen posee un error en la recepción de datos proveniente del sensor, que produjo un fallo en la señal y provocó pérdida de líneas de píxeles en la imagen original. Para solucionar este inconveniente se le aplicó un filtro de mediana, Figura 4b) que restauró los valores de brillo perdidos, reemplazándolos por valores similares a los de sus vecinos.

La Figura 5a) corresponde a una ventana de una imagen compuesta de un sector de la ciudad de Tres Arroyos (zona urbana y de quintas), provincia de Buenos Aires. Se buscó un filtro direccional que resalte el arroyo que cruza la ciudad.

Del total de filtros direccionales aplicados, sólo se exhiben las imágenes con filtro Este, Figura 5b), filtro Noreste, Figura 5c) y filtro Noroeste, Figura 5d).

El filtro direccional Este, logra mostrar la traza del arroyo, ya que es un filtro que resalta la dirección Norte-Sur visto desde la frontera Este. Sin embargo, el filtro direccional Noreste también logra un buen resultado, ya que resalta su dirección perpendicular: NO-SE realzando su frontera NE.

El filtro Noroeste, Figura 5d), no ofrece buen resultado puesto que no permite una clara visualización del arroyo.

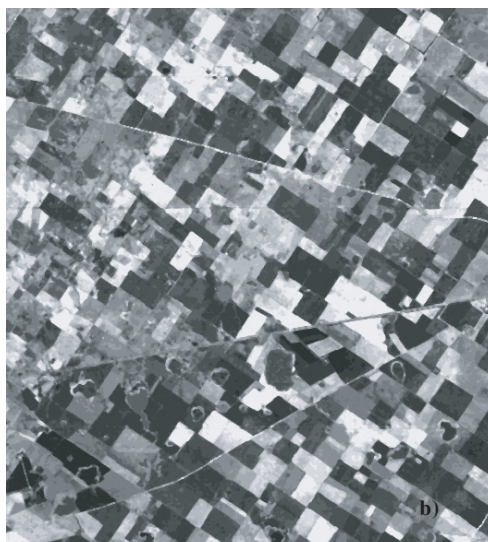
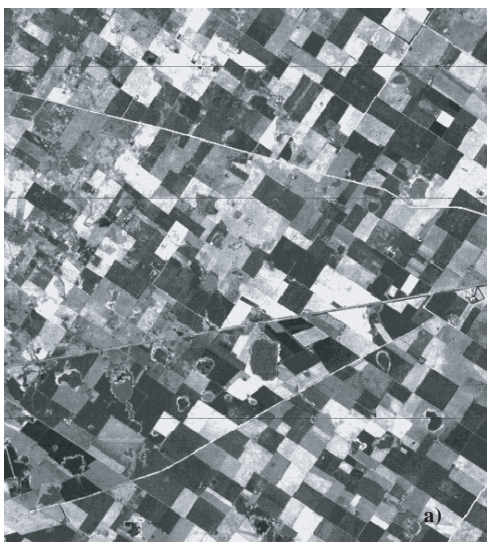


Figura 4. a) Imagen original con errores en la adquisición de datos, b) Imagen con filtro de mediana.

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color

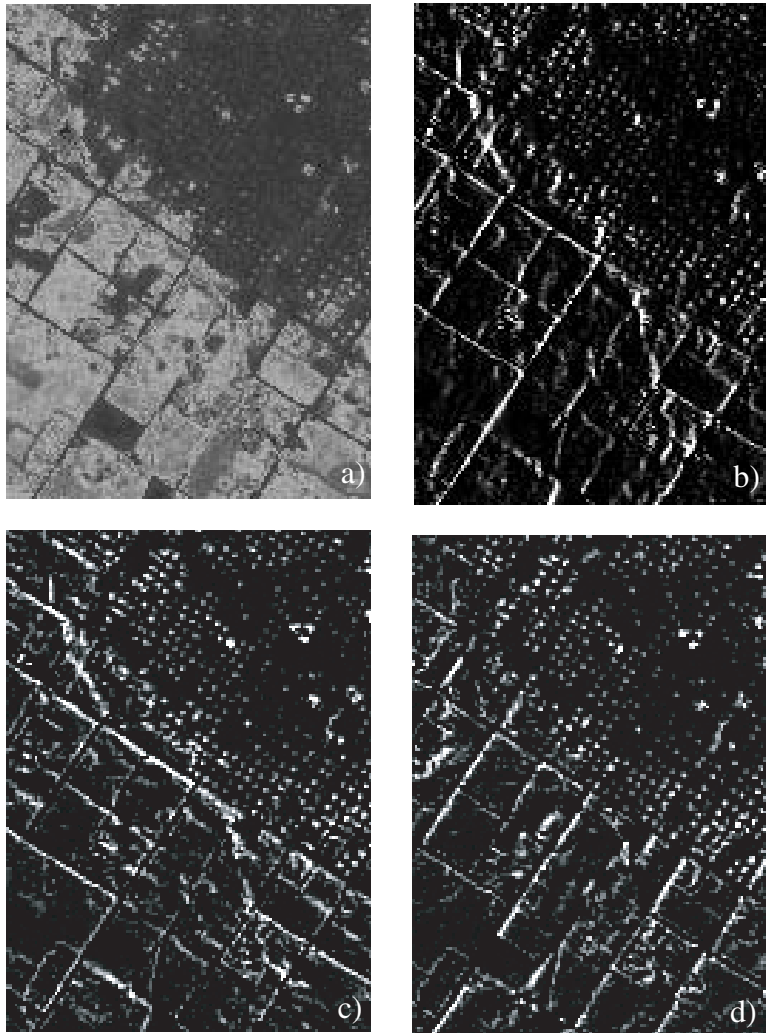


Figura 5. a) Imagen original, b) Imagen con filtro direccional este, c) Imagen con filtro direccional noreste, d) Imagen con filtro direccional noroeste.

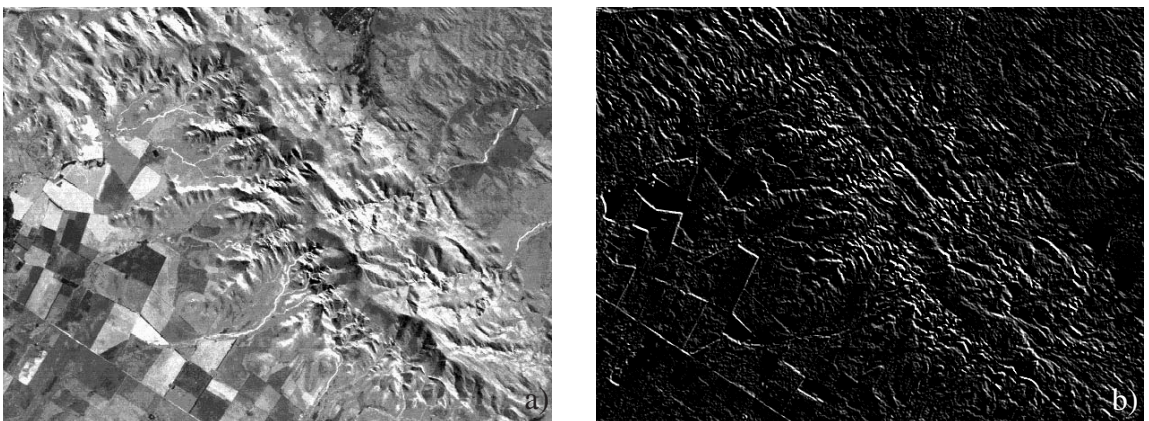


Figura 6. a) Imagen original, b) Imagen con filtro direccional diagonal principal.



Figura 6. c) Imagen con filtro direccional diagonal secundaria.

La Figura 6a) corresponde a una ventana de una imagen compuesta de la zona de Sierra de la Ventana, provincia de Buenos Aires donde se exhibe parte del cordón serrano. Se aplicaron filtros direccionales, en la dirección de ambas diagonales. En la Figura 6b) se observa la zona ocupada por el cordón y su límite con la zona de uso rural, cuyo parcelamiento está resaltado por poligonales en la dirección de la diagonal correspondiente. La Figura 6c) exhibe netamente las líneas de drenaje.

CONCLUSIONES

Los distintos filtros espaciales aplicados permitieron extraer las siguientes conclusiones:

En presencia de ruido tipo impulso, o pérdida de líneas de píxeles en una imagen, el filtro de mediana permitió una mejor corrección de estas fallas que el filtro de la media.

El filtro de Sobel ofreció buenos resultados ante la existencia de diferencias de brillo muy marcadas en una imagen (existencia de contornos), siendo de

mayor utilidad el filtro Laplaciano cuando las mismas no son tan acentuadas.

La incorporación de la banda 3 filtrada con Sobel en la composición de una imagen contribuyó en destacar los detalles buscados. Esto sugiere una forma alternativa en el uso de las imágenes filtradas, empleando en cada caso particular aquella banda que resulta más apropiada.

El uso de filtros direccionales permitió resaltar detalles de líneas (traza del arroyo, cordón serrano, líneas de drenaje) según la dirección particular de cada filtro utilizado.

BIBLIOGRAFÍA

- BAXES, G. A. 1994. *Digital Image Processing - Principles and Applications*. U.S.A. John Wiley & Sons.
- CHUVIECO, E. 1996. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid. Rialp.
- RICHARDS, J. A. 1995. *Remote Sensing Digital Image Analysis - An Introduction*. Berlín. Springer-Verlag.
- RUSS, J. C. 1998. *The Image Processing Handbook*. Piscataway. CRC Press - IEEE Press.