

Aplicación de filtros morfológicos en imágenes

Apellidos, nombre	Ruiz Fernández, Luis Ángel (laruiz@cgf.upv.es)
Departamento	Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría
Centro	ETSI. Geodésica, Cartográfica y Topográfica



1 Introducción

La morfología matemática está constituida por un conjunto de metodologías para el procesado de imágenes cuyo objetivo es describir la estructura geométrica de objetos de la imagen. Si bien tiene su origen a finales de los años 60 para analizar imágenes binarias (Matheron, 1975), una década más tarde se extendió a imágenes con niveles de gris (Serra, 1982) y, en los años 80, se incorporó al procesado de imágenes y señales, relacionándose con otras técnicas de filtrado existentes. Esta evolución configuró un nuevo campo conocido como procesado morfológico de imágenes, cuya parte fundamental son los **filtros morfológicos**. Debido a su sólida base teórica, eficiencia computacional y fácil implementación, su aplicación se ha extendido a múltiples campos, uno de ellos la teledetección.

En este artículo se describen, desde un punto de vista práctico y acompañado de ejemplos, los conceptos básicos de los filtros morfológicos aplicados a la extracción de objetos y al realce de imágenes en teledetección. En concreto, se tratan los temas básicos enumerados en la tabla 1.

Conceptos básicos descritos en este artículo
1. Operaciones básicas de filtrado
2. Encadenamiento de filtros
3. El elemento estructural
4. Extensión a imágenes con niveles de gris
5. Aplicaciones de las técnicas de filtrado morfológico

Tabla 1. Conceptos básicos descritos en este artículo docente.

2 Objetivos

Una vez leído este artículo, el estudiante será capaz de:

- Reconocer las operaciones básicas utilizadas para el diseño de filtros morfológicos e interpretar cómo se aplican sobre las imágenes digitales.
- Identificar las aplicaciones fundamentales de los filtros morfológicos en el procesado digital de imágenes de teledetección
- Reconocer y distinguir los conceptos de adelgazamiento y esqueletización e identificar su utilidad.

3 Operaciones básicas de filtrado morfológico

Las operaciones básicas de filtrado morfológico son dos: erosión y dilatación. Sin embargo, normalmente se incluyen también sus combinaciones cruzadas: la apertura y el cierre. En esta primera descripción consideraremos únicamente su aplicación sobre imágenes binarias, esto es, aquellas que tienen dos únicos valores 0 ó 1, o lo que es lo mismo, fondo y objeto.

Erosión:

Consiste en la eliminación de todos los píxeles del objeto en cuyo vecindario haya al menos un píxel que pertenezca al fondo (figura 1). Su efecto es reducir el tamaño de los objetos o eliminar los objetos que sean muy pequeños. Se representa mediante la expresión $I \ominus H$, donde I representa la imagen y H un vecindario dado.

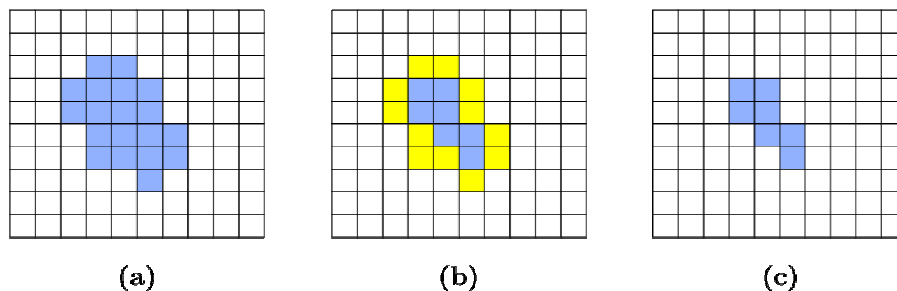


Figura 1.- Erosión morfológica: (a) objeto original (en azul), (b) píxeles eliminados en la operación de erosión (en amarillo), y (c) resultado final.

Dilatación:

Todos los píxeles de fondo en cuyo vecindario exista al menos un píxel perteneciente al objeto, se convierten en objeto (figura 2). Su efecto es aumentar el tamaño de los objetos o cerrar agujeros muy pequeños. Se representa mediante la expresión $I \oplus H$, donde I representa la imagen y H un vecindario dado.

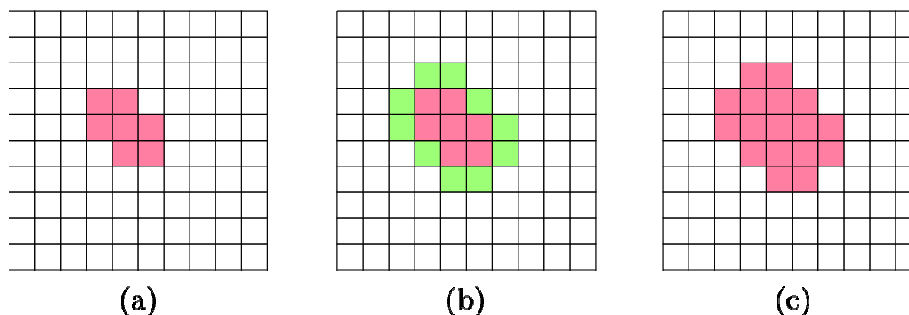


Figura 2.- Dilatación morfológica: (a) objeto original (en rojo), (b) píxeles convertidos en objeto al aplicar la dilatación (en verde), y (c) resultado final.



Apertura:

Consiste en el encadenamiento de una erosión seguida de una dilatación. Su efecto es eliminar elementos salientes, conexiones finas o suavizar los contornos de un objeto. Se representa mediante la expresión

$$I \circ H = (I \ominus H) \oplus H$$

Cierre:

Consiste en el encadenamiento de una dilatación seguida de una erosión. Su efecto es el de fusionar dos objetos separados por un estrecho margen, eliminar pequeños agujeros manteniendo el tamaño del objeto, rellenar huecos existentes en el contorno o suavizar el contorno. Se representa mediante la expresión

$$I \bullet H = (I \oplus H) \ominus H$$

En la figura 3 se muestran dos ejemplos sencillos de apertura y dilatación.

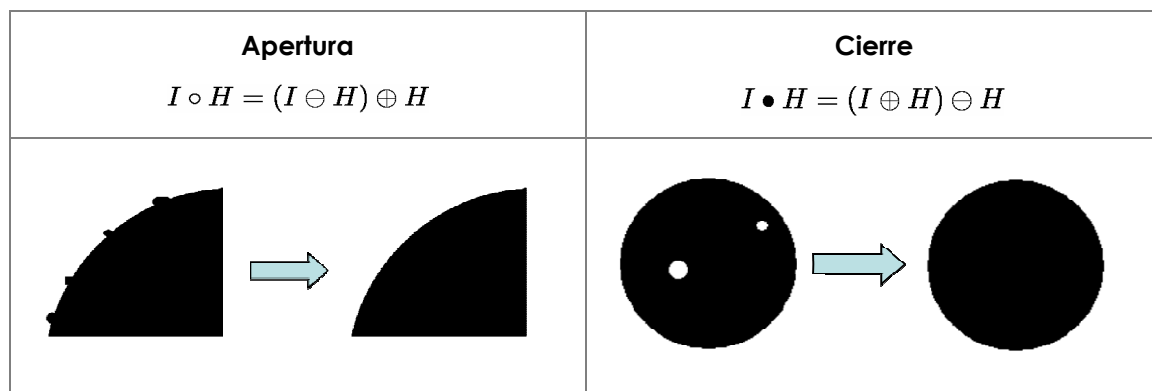


Figura 3.- Ejemplos de operaciones de apertura (izquierda) y cierre (derecha).

Encadenamiento de filtros

Con objeto de aumentar su efecto, pueden diseñarse filtros consistentes en la iteración de varias operaciones de erosión o de dilatación. En ocasiones no es suficiente la aplicación de una erosión simple para eliminar salientes del contorno de los objetos, o de una dilatación para eliminar agujeros o huecos en un objeto de un cierto tamaño. En estas ocasiones es necesario el encadenamiento de n iteraciones de filtrado para obtener el resultado buscado.

Ejemplo: Imaginemos que deseamos eliminar de forma automática las extremidades de la araña de la figura 4a y quedarnos únicamente con el cuerpo. Para ello, deberemos determinar el número de iteraciones de erosión necesarias hasta que las extremidades hayan sido eliminadas y realizar el mismo número de iteraciones de dilatación para recuperar el tamaño del cuerpo. En este caso (figura 4) se han aplicado 4 erosiones encadenadas con un vecindario de los 8 vecinos más próximos hasta eliminar completamente las extremidades de la araña, seguidas de 4 dilataciones para recuperar el tamaño original del cuerpo.

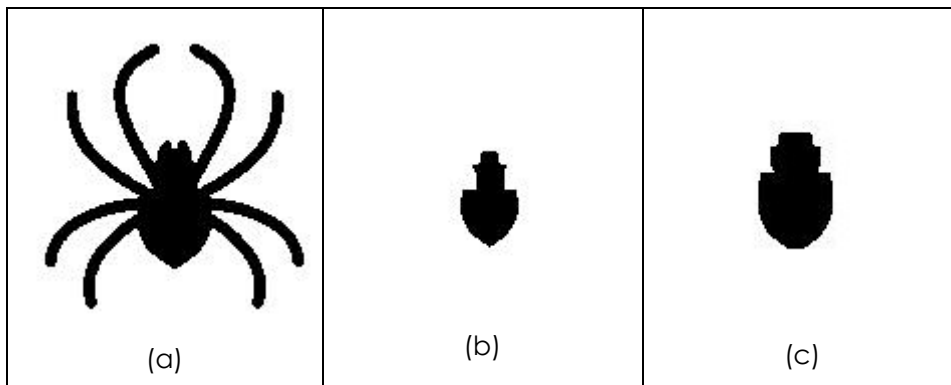


Figura 4.- Encadenamiento de filtros de erosión y dilatación: a) figura original; b) resultado de aplicar 4 erosiones encadenadas hasta eliminar las extremidades; c) resultado de aplicar 4 dilataciones hasta recuperar el tamaño del cuerpo original.

El elemento estructural

Al tamaño y la forma del vecindario utilizado en las operaciones de erosión y dilatación se conoce como elemento estructural. Así, la figura 5a representa un elemento estructural equivalente a considerar el vecindario de los 4 vecinos más próximos, la figura 5b el de los 8 vecinos más próximos y la figura 5c representa un vecindario aproximadamente circular. Cada elemento estructural tiene un punto de inserción, es decir, la posición del vecindario que se hace corresponder con el píxel de la imagen al aplicar el filtro (píxel en rojo en la figura 5).

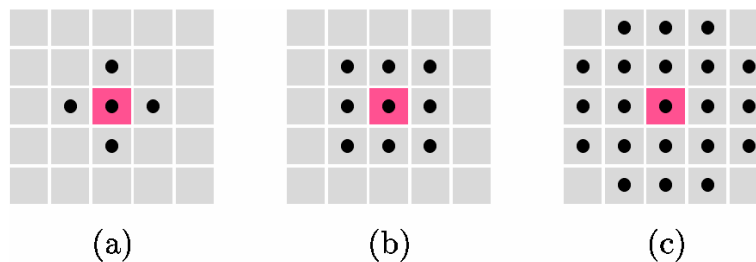


Figura 5.- Ejemplos de elementos estructurales. Los puntos negros representan los píxeles del vecindario que constituyen el elemento estructural. Los píxeles en rojo representan el punto de inserción.

Ejemplo: La figura 6 muestra un sencillo ejemplo de la aplicación de una operación de cierre morfológico sobre una figura geométrica con un hueco rectangular en su parte central. Mientras el cierre con un elemento estructural de 1 x 5 píxeles hace que desaparezca totalmente el hueco (figura 6b), si se aplica la misma operación con un elemento estructural de 5 x 1 píxeles tanto el hueco como la figura se preservan con idéntica forma y tamaño.

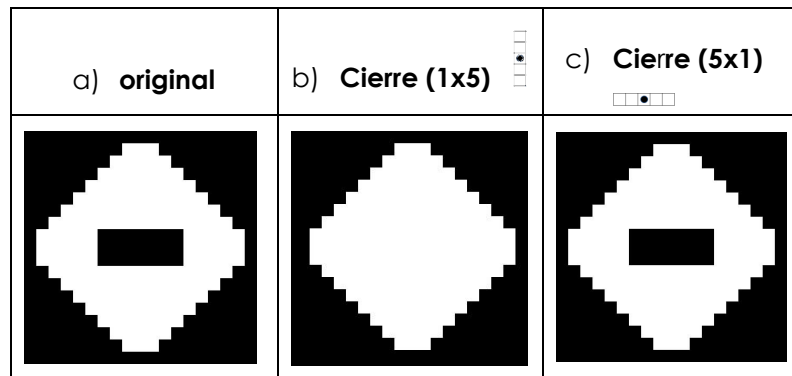


Figura 6.- Ejemplo de operación de cierre con distintos elementos estructurales: a) figura original; b) con elemento estructural (1x5); c) con elemento estructural (5x1).

Aplicación a imágenes con niveles de gris (no binarias)

Aunque originariamente las operaciones de morfología matemática se crearon para imágenes binarias, en seguida se extendieron a imágenes con niveles de gris. Para ello, tan sólo hay que tener en cuenta que la **erosión** equivale a la aplicación de un **filtro de mínimo** en imágenes con niveles de gris, mientras que la **dilatación** equivale a la aplicación de un **filtro de máximo**, siempre considerando el mismo vecindario que el definido por el elemento estructural. Así por ejemplo, si queremos aplicar una operación de erosión con un elemento estructural de los 8 vecinos más próximos (figura 4b) a una imagen en niveles de gris, tendremos que asignar al píxel central el valor mínimo de los 9 píxeles vecinos de la imagen original.

Ejemplo: En la figura 7 se muestra un ejemplo de la aplicación de un filtro de erosión 5 x 5 (figura 7b) y otro de dilatación 5 x 5 (figura 7c) sobre un fragmento de una imagen pancromática del satélite QuickBird. Como puede apreciarse, mientras en la erosión se produce un incremento de las formas y espacios oscuros (bajos niveles de gris) en detrimento de los claros (altos niveles de gris), la dilatación tiene el efecto opuesto. Así por ejemplo, en la imagen erosionada aumenta el tamaño de las sombras, los coches oscuros y los árboles, mientras que en la imagen dilatada aumenta el tamaño de los bordes de fachadas y de las rotondas con elevada reflectancia, así como de los coches claros.

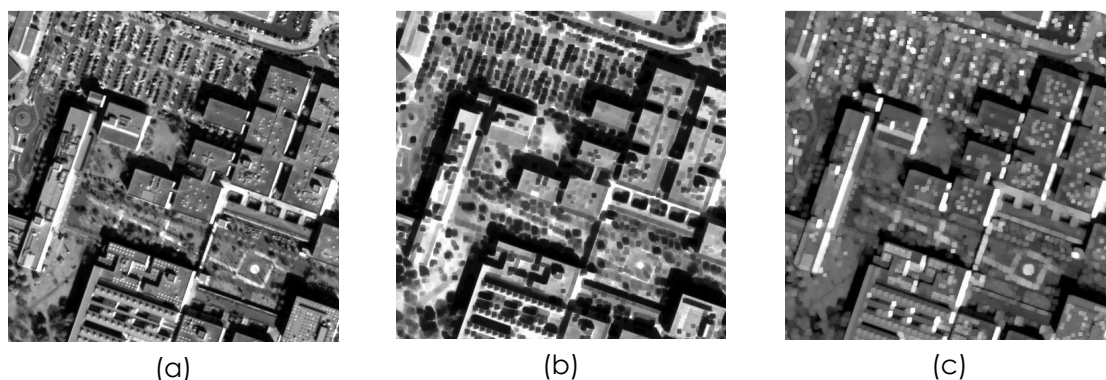


Figura 7.- Aplicación de filtros en imágenes con niveles de gris: a) imagen original; b) erosión con vecindario de 5 x 5 píxeles; c) dilatación con vecindario de 5 x 5 píxeles.

4 Aplicaciones

Algunas de las principales aplicaciones de los filtros morfológicos en el procesado de imágenes son las siguientes:

1. Extracción de objetos en la imagen
2. Reducción del ruido
3. Detección de bordes o contornos

1. Extracción de objetos en la imagen

La extracción automática de objetos utilizando filtros morfológicos es indicada cuando los objetos que queremos identificar tienen una forma y tamaño constantes en toda la imagen. Para ello, es necesario definir dos tipos de elementos estructurales, ambos de la misma forma que los objetos, uno de ellos de tamaño ligeramente más pequeño y el otro ligeramente más grande. Veamos un ejemplo propuesto por *Soille y Pesaresi (2002)* para la extracción de autobuses en una zona urbana de Roma en imágenes pancromáticas del satélite Ikonos (figura 8). Para ello, crearon dos baterías de elementos estructurales, uno de ellos (A) con elementos de tamaño algo inferior al de los autobuses y el otro (B) de tamaño algo mayor:

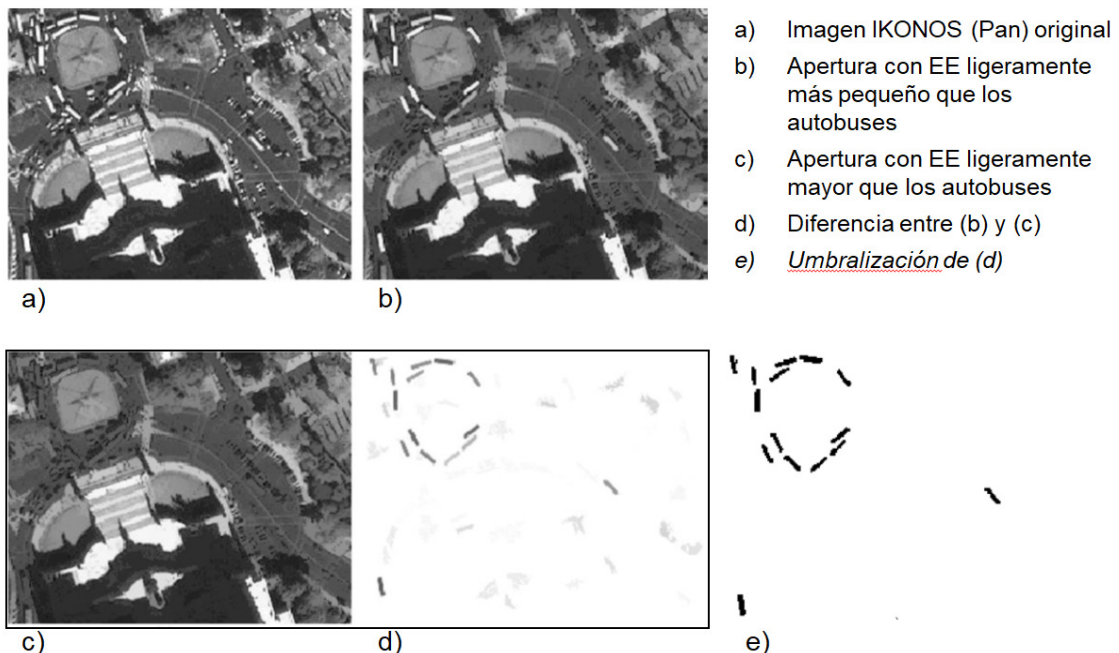


Figura 8.- Extracción automática de autobuses en una imagen pancromática de alta resolución, con indicación de los pasos seguidos, desde la imagen original (a) hasta los autobuses detectados (e).



Posteriormente aplicaron filtros de apertura a la imagen con la batería de elementos estructurales A, eliminando así de la imagen todos los vehículos y objetos de tamaño inferior a los autobuses (figura 8b). A continuación aplicaron filtros de apertura sobre la imagen original con la batería de elementos estructurales B, eliminando todos los objetos de la fase anterior además de los autobuses (figura 8c). La diferencia entre las imágenes resultantes de las dos fases anteriores dio como resultado una imagen con los autobuses y algo de ruido (figura 8d). Por último, una umbralización de niveles de gris permitió binarizar la imagen y eliminar los objetos de ruido, destacando el objetivo final, los autobuses. Las baterías de filtros A y B se obtuvieron mediante simples giros sucesivos del objeto inicial, contemplando así todas las posibles orientaciones de los autobuses en la imagen.

2. Reducción del ruido

Los filtros morfológicos pueden utilizarse de forma eficiente para reducir ruido binario en imágenes, también conocido como "sal y pimienta". Dado un objeto, este tipo de ruido se manifiesta con la existencia de pequeños agujeros en el interior del mismo (ruido interior) y puntos sueltos exteriores al objeto (ruido exterior), siendo muy común tras procesos de binarización de las imágenes o en pasos intermedios del procesado.

Su aplicación consiste en dos pasos independientes: (1) se aplica un filtro de apertura (erosión + dilatación) para eliminar los puntos sueltos exteriores al objeto, y (2) un filtro de cierre (dilatación + erosión) para eliminar los pequeños huecos interiores al objeto. En la práctica, el efecto de la operación de filtrado morfológico de apertura y cierre es equivalente a la aplicación de un filtro de mediana. Sin embargo, tiene dos ventajas con respecto a éste: su aplicación es computacionalmente más eficiente y descompone el proceso de filtrado en dos fases independientes, la eliminación del ruido exterior mediante la apertura y del ruido interior mediante el cierre.

La figura 9 muestra un ejemplo de eliminación de ruido binario como un paso intermedio en el proceso de reconocimiento automático de huellas dactilares. Una vez binarizadas las imágenes y como paso previo a la esqueletización y extracción de características o métricas de las imágenes, es preciso eliminar el ruido interior y exterior, para lo cual se aplica un doble filtrado consecutivo de apertura y cierre. Empleando siempre un elemento estructural B de 3 x 3, en un primer paso se aplica una erosión sobre la imagen A para eliminar el ruido exterior, seguido de una dilatación para devolver las marcas de la huella a su tamaño original. A continuación se aplica de nuevo una dilatación para cerrar los pequeños agujeros presentes en el interior de las huellas, por último una erosión para devolver la huella a su tamaño original, ya exenta de ruido exterior e interior. El procedimiento completo constaría, por tanto, de una apertura seguida de un cierre

$$(A \circ B) \bullet B$$

Apertura + Cierre = Reducción de ruido

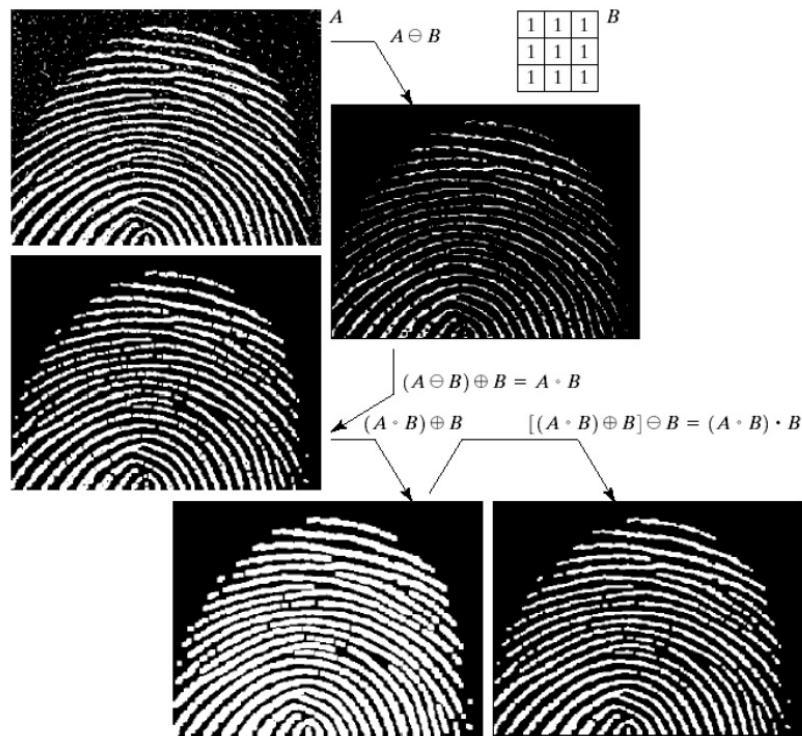


Figura 9.- Ejemplo de aplicación de filtros de apertura y cierre para reducir el ruido en imágenes binarias de huellas dactilares (González y Woods, 2006).

Otro ejemplo de aplicación es el utilizado para limpiar de ruido las imágenes binarias resultantes en los procesos de extracción de elementos urbanos (edificios, etc.) mediante datos LiDAR (*Light Detection And Ranging*). Primero se aplica un filtro de apertura para eliminar salientes y pequeños elementos puntuales remanentes en el terreno, seguido de un cierre morfológico para rellenar los pequeños agujeros y suavizar los contornos (figura 10).

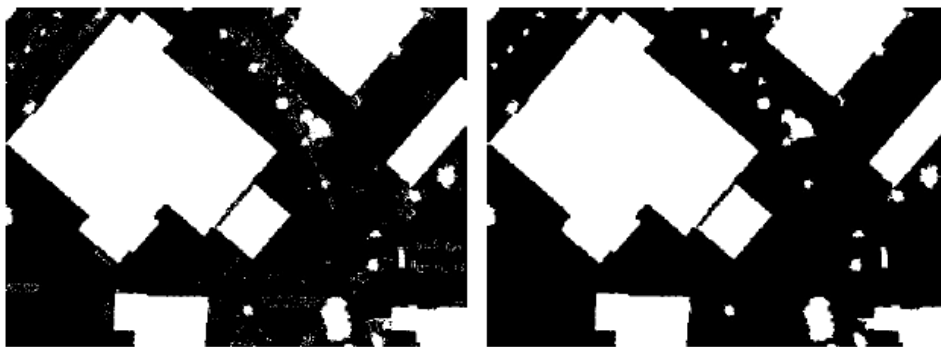


Figura 10.- Ejemplo de reducción de ruido mediante apertura + cierre en una imagen binaria en el proceso de detección de elementos urbanos mediante datos LiDAR.

3. Detección de bordes

Los filtros morfológicos pueden aplicarse también para la detección de bordes en imágenes. El procedimiento consiste en la aplicación de forma independiente de una operación de dilatación y otra de erosión, ambas sobre la imagen original. Posteriormente se realiza una resta, píxel a píxel, de la imagen dilatada menos la imagen erosionada, obteniendo como resultado el realce de los bordes (cambios bruscos en los niveles de gris de la imagen). Es equivalente a la aplicación de un filtro de gradiente (ej., Sobel). La figura 11 muestra un ejemplo del procedimiento, pasos intermedios y resultado.

Detección de bordes mediante filtros morfológicos

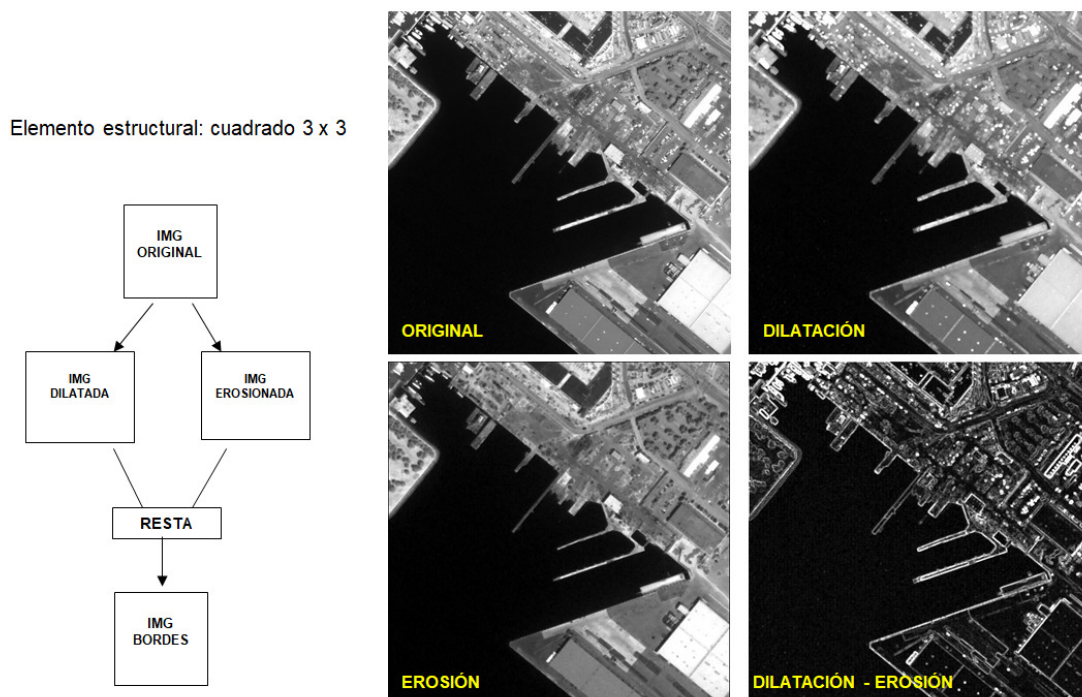
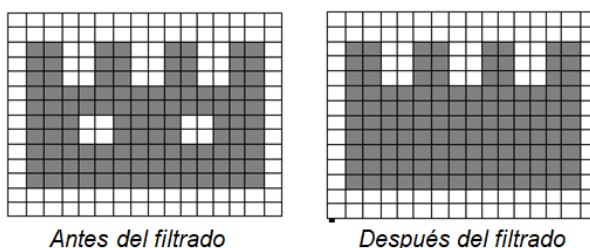


Figura 11.- Aplicación de filtrado morfológico de (dilatación – erosión) para la detección de bordes en un fragmento de una imagen de satélite.

5 Ejercicios prácticos

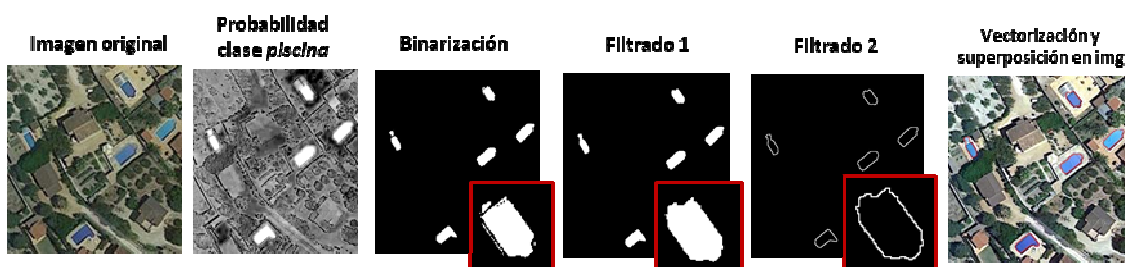
➤ Ejercicio 1

Se desea eliminar las ventanas del castillo adjunto preservando las almenas, tal y como se indica en la figura. Define la operación de filtrado morfológico necesaria, indicando el elemento estructural y dibujando los pasos intermedios.



➤ **Ejercicio 2**

Para la detección automática de piscinas ilegales a partir de ortoimágenes se ha aplicado un procedimiento en el que se genera un mapa de probabilidad de pertenencia a la clase *piscina*, el cual se umbraliza para obtener una imagen binaria y se aplican dos tipos de filtrado morfológico, el primero para reducir el ruido y el segundo para obtener los contornos (ver figura). Por último, se vectorizan los contornos y se superponen a la imagen original. Describe en qué consiste la aplicación de los dos filtrados morfológicos 1 y 2.



6 Cierre

Se han descrito las operaciones básicas de filtrado morfológico sobre imágenes binarias y su extensión a imágenes con niveles de gris. La aplicación de filtros morfológicos puede regularse mediante la elección apropiada del elemento estructural, así como encadenando sucesivas operaciones de erosión o dilatación. Las aplicaciones fundamentales en teledetección son: (1) la detección de objetos en la imagen, (2) la reducción del ruido binario, y (3) la detección de bordes o contornos, las cuales han sido ilustradas mediante ejemplos de aplicación. Estas técnicas se aplican posteriormente para la vectorización de elementos y la actualización cartográfica.

7 Bibliografía

- González, R. y R.E. Woods, 2006. Digital Image Processing. New Jersey, Prentice Hall, (3ª edición).
- Matheron, G., 1975. Random Sets and Integral Geometry. John Wiley and Sons, NY.
- Serra, J., 1982. Image Analysis and Mathematical Morphology. Academic Press, Burlington, MA.
- Soille, P., and Pesaresi, M., 2002. Advances in mathematical morphology applied to geoscience and remote sensing. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40 (9), pp. 2042-2055.