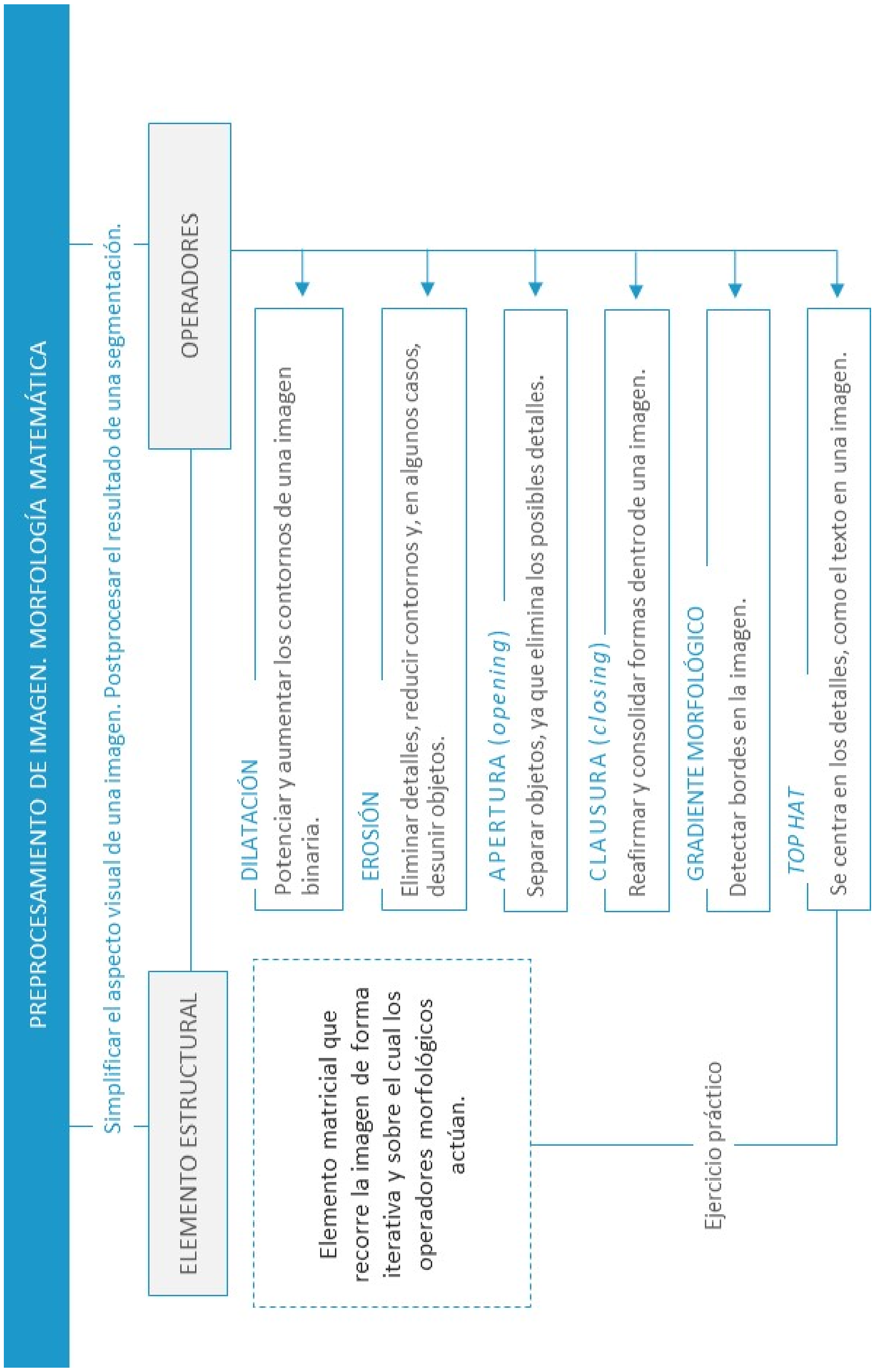
Visión Artificial

Tema 9. Procesamiento de imagen. Morfología matemática

Índice


PREPROCESAMIENTO DE IMAGEN. MORFOLOGÍA MATEMÁTICA
Simplificar el aspecto visual de una imagen. Postprocesar el resultado de una segmentación.
ELEMENTO ESTRUCTURAL
Elemento matricial que recorre la imagen de forma iterativa y sobre el cual los operadores morfológicos actúan.
OPERADORES
DILATACIÓN
Potenciar y aumentar los contornos de una imagen binaria.
EROSIÓN
Eliminar detalles, reducir contornos y, en algunos casos, desunir objetos.
APERTURA (opening)
Separar objetos, ya que elimina los posibles detalles.
CLAUSURA (closing)
Reafirmar y consolidar formas dentro de una imagen.
GRADIENTE MORFOLÓGICO
Detectar bordes en la imagen.
TOP HAT
Se centra en los detalles, como el texto en una imagen.
Ejercicio práctico

9.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este tema deberás leer con atención las ideas clave que se desarrollan a continuación.

9.2. Introducción a la morfología matemática

La morfología matemática es una de las ramas de las matemáticas que estudia el análisis y tratamiento de estructuras geométricas basándose en topología y geometría. Nació en la Escuela de Minas de París como fruto de la tesis doctoral de Jean Serra, supervisada por Georges Matheron.

La principal utilidad de la morfología matemática es la de **simplificar el aspecto visual de una imagen,** pero conservando sus características o composición principales. Es decir, una de sus utilidades es la de eliminar detalles, ruido o incluso componentes que pudieran distraer a otros algoritmos de segmentación.

A continuación presentamos un ejemplo sencillo donde se puede apreciar cómo los operadores **dilatación** *(Dilation)* y **cierre** *(Closing)* potencian más la eliminación de los detalles de la superficie quedándose con la forma de la hoja, incluso podemos ver cómo han eliminado la rama de la hoja.

Por otro lado, los operadores **erosión** *(Erosion)* y **apertura** *(Opening),* potencian los detalles de la hoja como son las hebras que existen en ella.

Además, se observa que los operadores de apertura y cierre conservan el tamaño y las proporciones de la imagen original. No sucede así con los operadores de erosión y dilatación. No obstante, todos estos detalles los veremos en este tema.

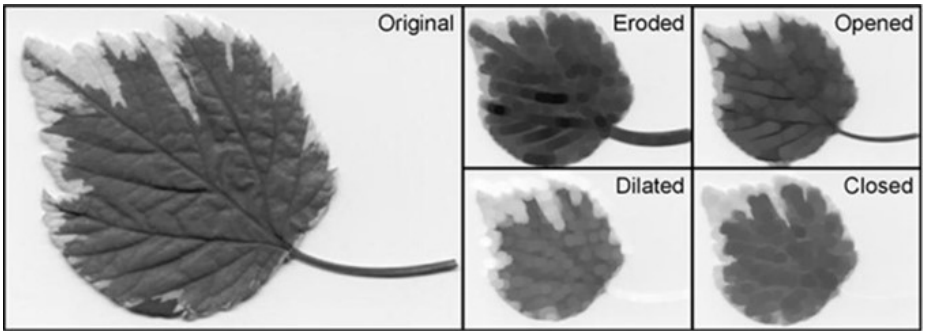
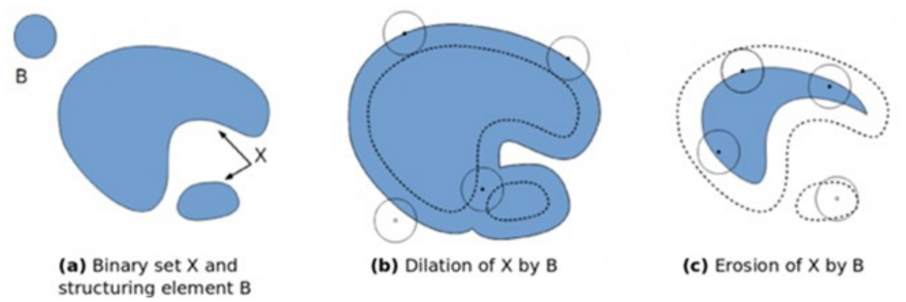


Figura 1. Resultado de aplicar los operadores más comunes de morfología matemática. Fuente: https://imagej.nih.gov/ij/plugins/gray-morphology.html

Por otro lado, la morfología matemática ayuda mucho a postprocesar el resultado de una segmentación.

A continuación se presenta una ilustración con los efectos de dilatación y erosión sobre dos objetos ya segmentados: dichos objetos vienen representados por el conjunto X. Al aplicar los operadores de dilatación y erosión con el operador B, más adelante se explicará cómo funciona este operador denominado **elemento estructural,** se puede potenciar o disminuir los tamaños de los objetos en X e incluso hacer desaparecer algunos de sus elementos.

Con estos dos operadores, podríamos depurar los resultados de la segmentación eliminando aquellos residuos procedentes de una sobresegmentación o suavizar los contornos de una imagen.



Así, en esta imagen vemos:

- La imagen original junto con B, el elemento estructural (a).
- Dilatación de la imagen original usando B, en este caso se aprecia cómo los dos grupos se han unido (b).
- Erosión de la imagen original usando B. El elemento más pequeño ha desaparecido y el más grande, aunque ha disminuido, ha conservado su forma (c).

Puede aplicarse también a señales unidimensionales, pero su mayor uso está concentrado en las imágenes binarias y en las imágenes de escala de grises.

Los operadores morfológicos, *per se,* no aportan información sobre la forma de los objetos ni son capaces de extraer características. Su utilidad se centra en el **limpiado de imágenes ya segmentadas** o la eliminación de detalles tanto en la imagen original como en la imagen segmentada para que los algoritmos de extracción de características puedan obtener resultados más precisos.

9.3. Definición de elemento estructural

El elemento estructural es un ingrediente esencial de la morfología matemática. En algunos contextos se nombra también como elemento estructurante.

La función del elemento estructural es similar a la función de máscara en un filtro gaussiano de imágenes: es un **elemento matricial** (mínimo de 3x3 píxeles) que recorre la imagen de forma iterativa y sobre el cual los operadores morfológicos actúan. Es decir, un operador morfológico actúa sobre una imagen como suma de todos los efectos producidos sobre el elemento estructural cuando este recorre la imagen.

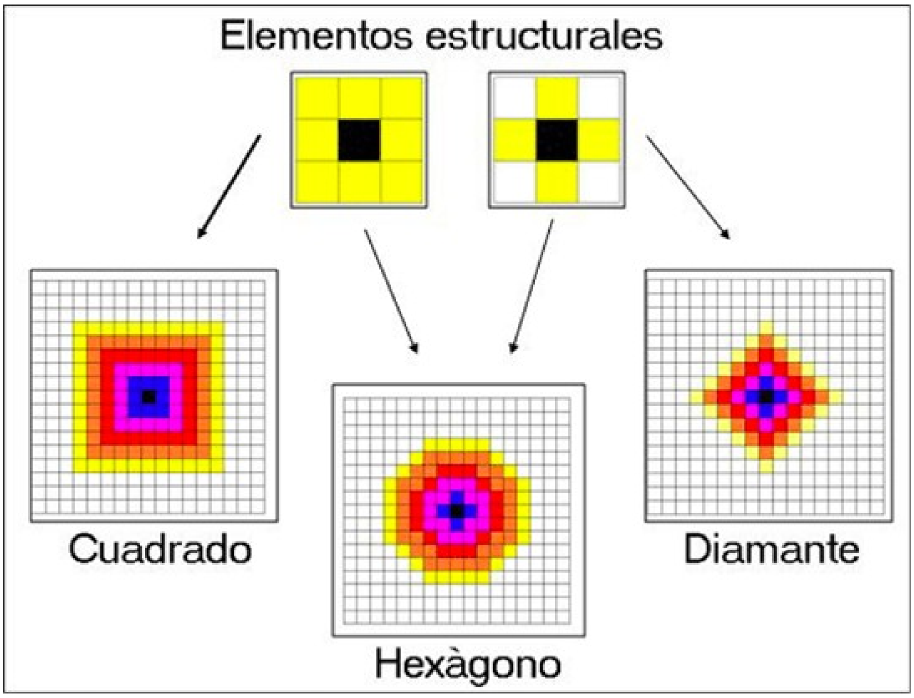


Figura 3. Ejemplos de elementos estructurales con diferentes formas. Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-47-Elementos-estructurales-de-la-Morfologia-matematica_fig9_313905159

La definición de elemento estructural es esencial para el operador morfológico.

Supongamos que queremos contar el número de círculos existentes en la siguiente imagen:

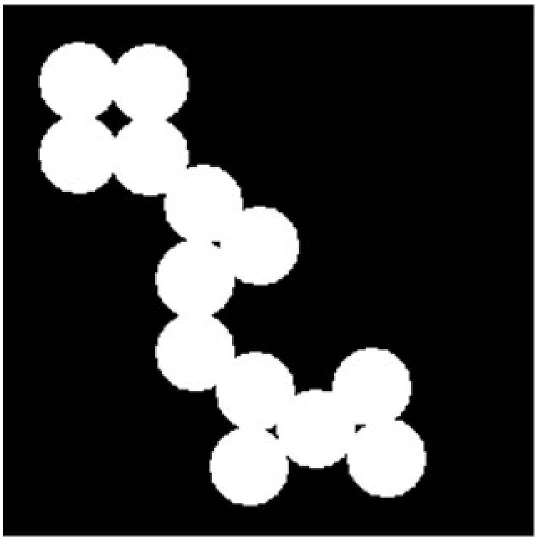


Figura 4. Ejemplo de imagen con círculos solapadas. Fuente: https://es.mathworks.com/help/images/ref/bwulterode.html

La dificultad radica en contar el número de círculos. Independientemente del operador morfológico que empleemos (erosión, dilatación, etc.), el elemento estructural ha de ser lo más parecido a lo que se quiere encontrar y procesar. En este caso, el elemento estructural que mejor funciona es el circular o también llamado **de hexágono** en algunos contextos.

La razón por la cual puede llamarse hexágono viene dada por el hecho de que un círculo no puede aproximarse perfectamente en una matriz pixelada. De esta manera se puede alcanzar el resultado que buscamos.

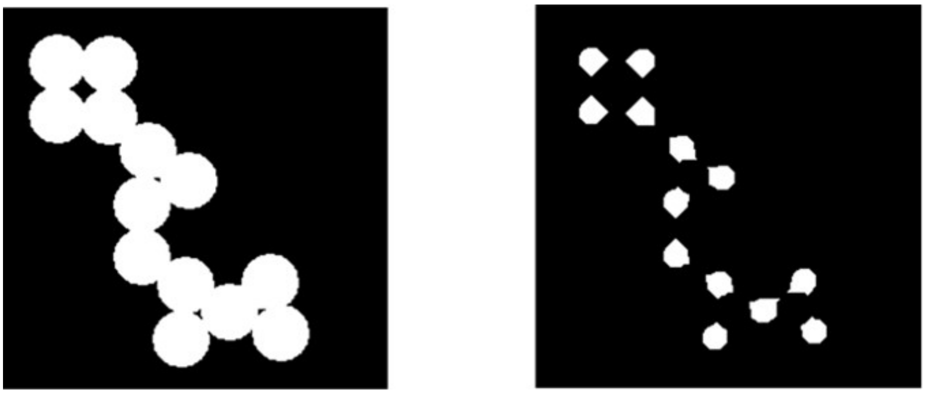


Figura 5. Resultado de aplicar elementos estructurales circulares a la imagen. Fuente: http://matlab.izmiran.ru/help/toolbox/images/imerode.html

A continuación, se presenta el resultado de haber utilizado otro elemento estructural como es el caso de una línea, de longitud 20 píxeles y orientación 90° (vertical) y 180° (horizontal) respectivamente.

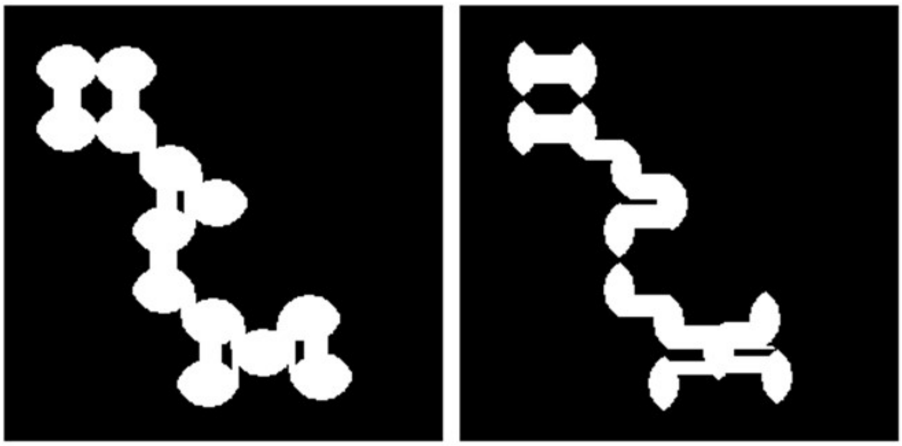


Figura 6. Ejemplos de usar un elemento estructural en forma de línea horizontal y vertical. Fuente: http://matlab.izmiran.ru/help/toolbox/images/imerode.html

No obstante, el elemento estructural por sí mismo carece de sentido y ha de entenderse más en detalle con los operadores morfológicos que se verán a continuación.

9.4. Erosión y dilatación

La erosión y la dilatación son los operadores morfológicos esenciales. A partir de ellos, se crean el resto de operadores. Aunque lo parezca (y antes de dar definición alguna sobre ellos), es importante hacer constar que la erosión no es la inversa de la dilatación ni viceversa.

La dilatación se define matemáticamente como:

$$A \oplus B = \bigcap_{b \in B} \mathrm{A}_b$$

Donde:

- A es la imagen original.
- B es el elemento estructural.

La función de la operación dilatación consiste en potenciar y aumentar los contornos de una imagen binaria, haciendo que los detalles se magnifiquen e incluso que algunos objetos dentro de una imagen, que originalmente estén separados, se fusionen.

Este tipo de funcionalidad tiene mucha utilidad cuando, tras una segmentación, hay objetos que se han quedado separados, pero cercanos en la imagen. La manera de implementar computacionalmente el operador dilatación (luego lo veremos también con el operador erosión) es de forma iterativa, comprobando píxel a píxel dentro de la imagen qué relación tienen el elemento estructural (B) y la imagen original (A).

En este caso, el operador mirará si el elemento estructural B coincide al menos en un píxel con la imagen original A. En ese caso, añadirá a dicha imagen el elemento estructural B, haciendo que la imagen aumente en la zona de los contornos y manteniéndose constante en el interior de la misma. Posteriormente veremos con un ejemplo cómo funciona este procedimiento.

La erosión, matemáticamente, se define como:

$$A \ominus B = \{ z \in E \vee Bz \subseteq A \}$$

Donde:

- A es la imagen original.
- B es el elemento estructural.
- E es una generalización del espacio euclídeo, es decir, engloba todos los posibles puntos existentes incluyendo los de A.

La principal utilidad de la erosión como operador morfológico es el de eliminar detalles, reducir contornos y, en algunos casos, desunir objetos.

La erosión no conserva la forma original: tras usar este operador, la forma resultante puede haberse erosionado tanto que no conserve la morfología original. La manera de implementar computacionalmente el operador erosión es también de forma iterativa, comprobando píxel a píxel dentro de la imagen qué relación tienen el elemento estructural (B) y la imagen original (A).

En este caso, el operador mirará píxel a píxel si el elemento estructural B está contenido íntegramente en la imagen original A. En ese caso, se quedará únicamente con la posición/píxel donde ambos elementos (A y B) coincidan. De esta manera, el contorno de la imagen se reduce considerablemente.

Sin embargo, la mejor manera de ver ambos operadores es mediante un ejemplo visual. Primero empezaremos con el de dilatación y posteriormente aplicaremos el operador erosión sobre la imagen resultante de la dilatación.

Vamos a empezar con este ejemplo, donde a la izquierda está el elemento estructural, aunque tenga forma de cruz, puede ser un elemento estructural de disco o diamante de radio 3 píxeles. Y a la derecha, la imagen sobre la que se quiere aplicar el operador morfológico.

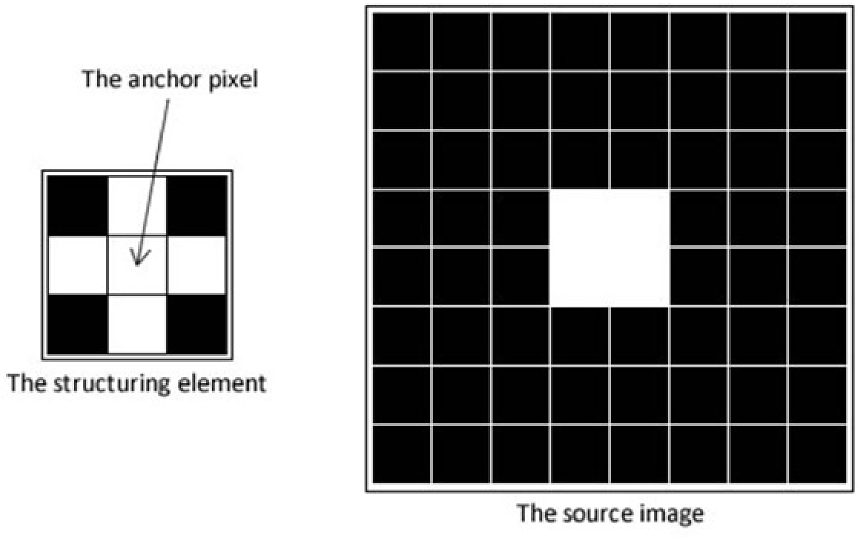


Figura 7. Elemento estructural en forma de cruz y la imagen sobre el que se va a realizar la operación morfológica. Fuente: http://aishack.in/tutorials/mathematical-morphology/

Independientemente del elemento estructural empleado, la imagen resultante después de aplicar la dilatación ha de ser mayor (en el sentido de número de píxeles en blanco) que en la imagen original.

Como se ha descrito anteriormente, el operador dilatación irá moviendo el elemento estructural a lo largo de la imagen A, comprobando si A y B coinciden en al menos un píxel. Inicialmente, no existe tal solape y, por lo tanto, el operador morfológico no devuelve ningún valor en blanco.

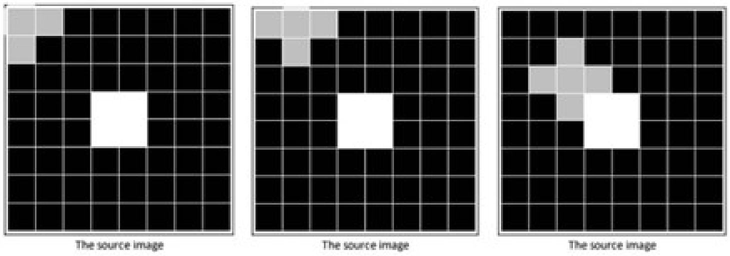


Figura 8. Elemento estructural en forma de cruz y la imagen sobre el que se va a realizar la operación morfológica. Fuente: Adaptado de http://aishack.in/tutorials/mathematical-morphology/

Sin embargo, cuando el elemento estructural, toca en al menos un píxel, la zona de blancos dentro de la imagen original, es entonces donde el operador dilatación aplica su definición. Es decir, en aquellas posiciones donde ambos coincidan se hará la unión de ambos operadores, tal y como puede verse en la siguiente imagen.

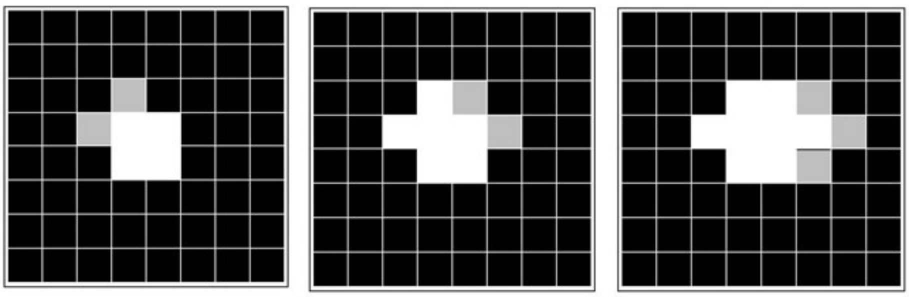


Figura 9. Paso a paso de cómo el elemento estructural entra en contacto con una zona dentro de la imagen con píxeles diferentes a cero (negro). Fuente: Adaptado de http://aishack.in/tutorials/mathematical-morphology/

En este caso, y puesto que se trata de una dilatación, se conserva la unión de ambos elementos. Finalmente, tras recorrer toda la imagen, el resultado es que el cuadrado se ha dilatado, ha aumentado de tamaño con la forma del elemento estructural. En ningún momento se aprecia que se haya conservado la forma inicial (se trataba de un cuadrado) y tiene forma de cruz.

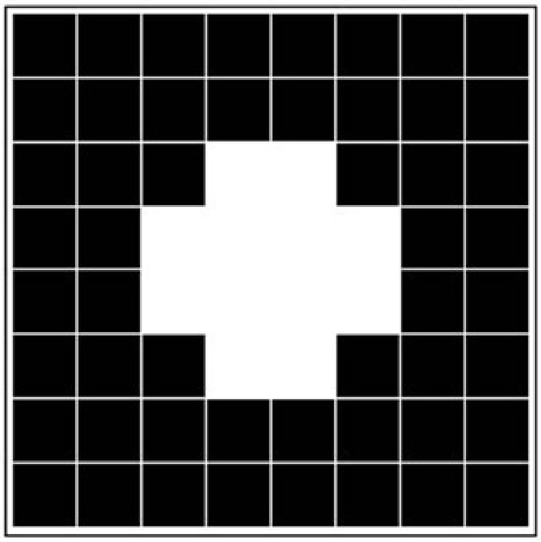


Figura 10. Resultado final del operador morfológico dilatación sobre un cuadrado de 2x2 píxeles y con un elemento estructural en forma de cruz. Fuente: http://aishack.in/tutorials/mathematical-morphology/

El siguiente proceso va a consistir en aplicar la erosión a la imagen dilatada anterior. Es importante tener en mente que al aplicar el operador erosión, el número de **píxeles en blanco se verá disminuido** en el resultado.

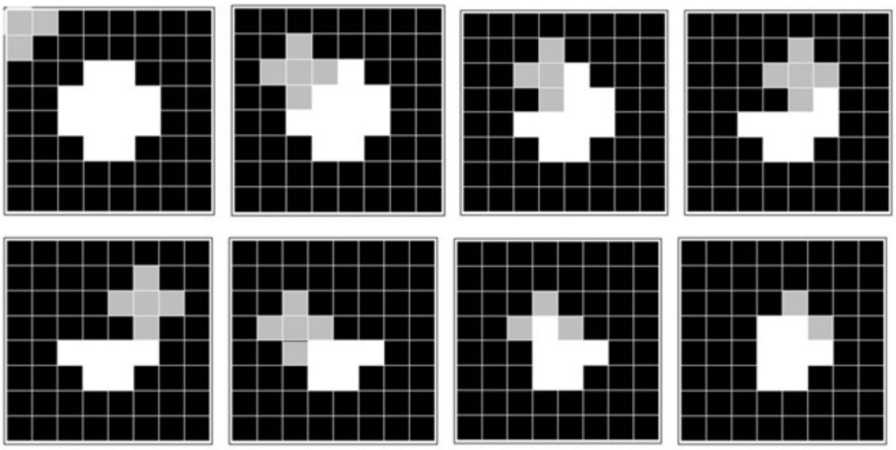


Figura 11. Proceso de erosión con un operador en forma de cruz. Fuente: Adaptado de http://aishack.in/tutorials/mathematical-morphology/

En la imagen resultante se han eliminado detalles en el contorno, quedándose con la forma inicial de cuadrado de 2x2 píxeles, aunque la imagen no conserva la forma original. Tras la erosión, la imagen tiene menos píxeles en blanco que procesar y para ciertas funciones, como el conteo de objetos, puede llegar a ser más fácil que con la imagen original. Por otro lado, si lo que se quiere es detectar el centro de un objeto, el resultado de la erosión también ayudaría, pues facilitaría el cálculo del centro del objeto al haber reducido los contornos y detalles del mismo.

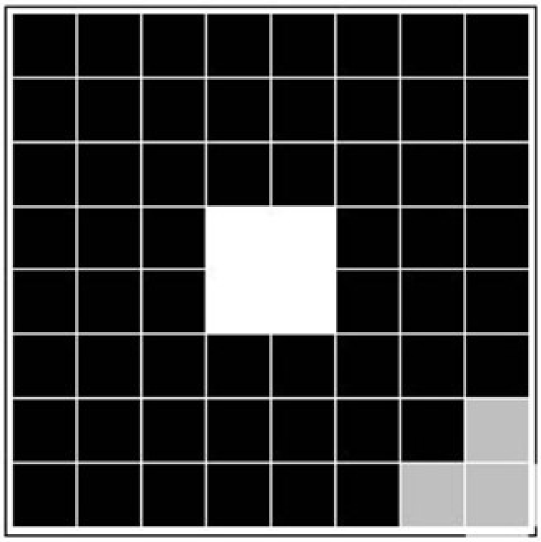


Figura 12. Resultado final del operador morfológico erosión sobre una cruz y con un elemento estructural en forma de cruz. El resultado es una imagen que no conserva la forma original. Fuente: http://aishack.in/tutorials/mathematical-morphology/

Por último, y aunque en este caso haya sucedido así, repetimos que la erosión no es la inversa de la dilatación ni viceversa.

9.5. Apertura y clausura

A diferencia de los operadores anteriores, la apertura y clausura son los primeros operadores combinación de varias operaciones morfológicas. Su mayor propiedad es que son capaces de respetar, en la medida de lo posible, la morfología adicional.

Con lo cual, tienen las propiedades de la erosión y la dilatación, pero **manteniendo la forma original.** En otras palabras, son capaces de eliminar o potenciar los detalles y aun así, mantienen la proporción original.

La **apertura,** conocida en inglés como opening, es un operador morfológico que es la sucesión de una erosión seguida por una dilatación. Matemáticamente, la apertura se define como:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$

Donde:

- A es la imagen original.
- B es el elemento estructural.

Principalmente, este operador sirve para separar objetos, ya que elimina los posibles detalles que haya en la imagen en función del elemento estructural.

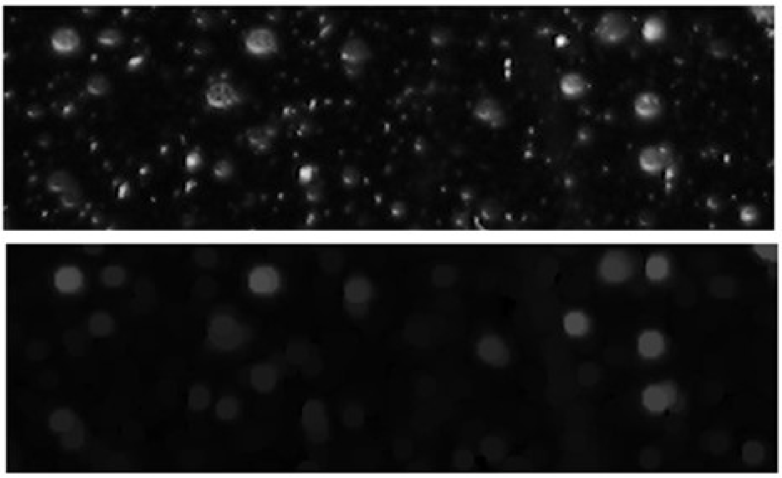


Figura 13. Resultado de aplicar el operador morfológico apertura. Fuente:
https://es.mathworks.com/help/images/ref/imreconstruct.html

En este ejemplo, vemos el resultado de aplicar el operador morfológico apertura con un elemento estructural disco de 5 píxeles de radio. El efecto es el de haber eliminado los detalles (puntos) más pequeños, manteniendo los objetos más grandes.

La **clausura,** conocida en inglés como *closing,* es un operador morfológico que realiza primeramente una dilatación y posteriormente una erosión.

Matemáticamente, la clausura se define como:

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$$

Donde:

- A es la imagen original.
- B es el elemento estructural.

La clausura suele emplearse para reafirmar y consolidar formas dentro de una imagen.

Como podemos apreciar en la siguiente imagen, el operador ha transformado la figura inicial en un solo bloque.

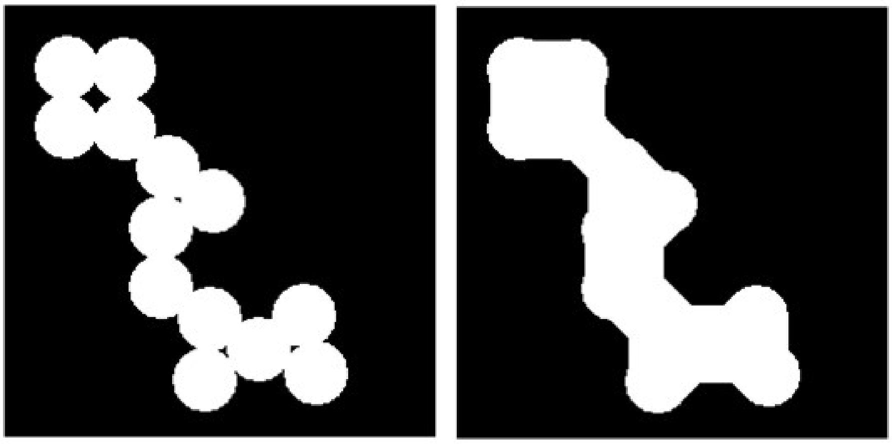


Figura 14. Clausura con un disco de radio 20 píxeles. Fuente: https://users.cs.cf.ac.uk/Dave.Marshall/Vision_lecture/node34.html

9.6. Gradiente morfológico

Otro operador muy empleado en morfología matemática es el gradiente morfológico. Se define como la diferencia entre la dilatación y la erosión. La idea intuitiva es la de **detectar bordes en la imagen;** ya que la dilatación aumenta una imagen y la erosión la disminuye, la diferencia ha de ser similar a los bordes de una imagen.

Aquí tenemos un ejemplo de gradiente morfológico aplicado a una imagen con granos de arroz. Se ha utilizado un elemento estructural de disco con radio de 3 píxeles

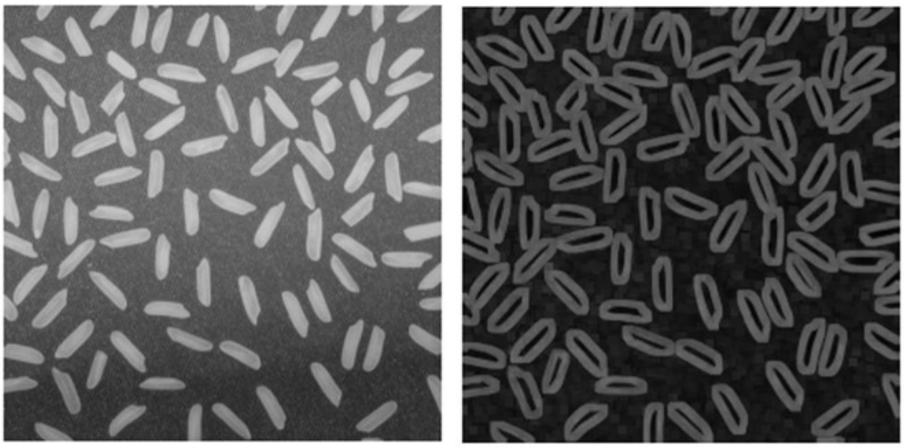


Figura 15. Ejemplo de gradiente morfológico. Fuente: Adaptado de https://imagej.net/MorphoLibJ

9.7. Top Hat

El operador *Top Hat* se define como la diferencia entre la imagen original y el operador morfológico apertura. Devuelve una imagen con únicamente los detalles que la apertura ha eliminado.

Esta transformada es muy útil en el caso de la detección de texto dentro de una imagen, como leer las marcas de una moneda, ya que **se centra en los detalles.** Pero si quisiésemos contar el número de monedas, esta transformada no aportaría ningún valor.

En esta imagen, vemos el resultado de aplicar la transformada *Top Hat* mediante un disco de radio de 5 píxeles.

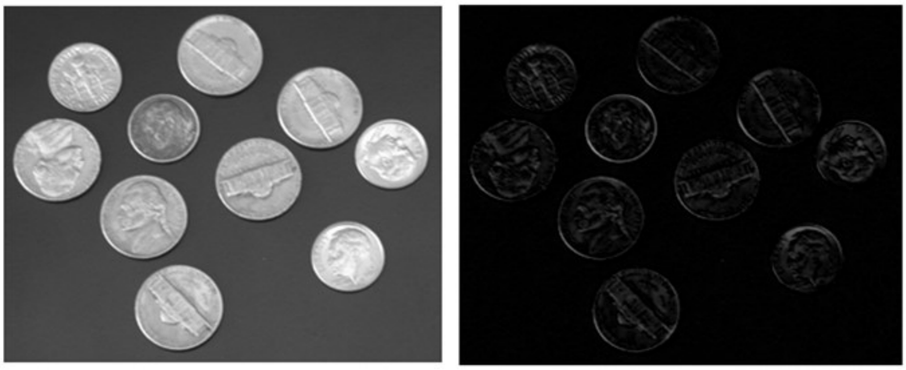


Figura 16. Detección de los detalles de una moneda mediante la transformada Top Hat. Fuente: Adaptado de https://imagej.net/MorphoLibJ

9.8. Ejercicio práctico

Con todo lo anterior explicado, vamos a realizar un ejercicio práctico. Partiendo de esta conocida imagen, el objetivo es quedarse únicamente con el fotógrafo y eliminar el resto de componentes, incluyendo la cámara y los edificios de atrás.

Figura 17. Detección de los detalles de una moneda mediante la transformada Top Hat. Fuente: https://blogs.mathworks.com/steve/2012/11/20/image-effects-part-2/

Existen múltiples soluciones para hacer esto, pero los pasos que vamos a describir son una aproximación adecuada.

Lo primero de todo es eliminar las patas de la cámara. Esto podemos hacerlo con morfología matemática mediante un **operador de clausura** haciendo uso de un elemento estructural que sea perpendicular a la dirección de las patas de la cámara. La razón de esto es eliminar dichas patas lo máximo posible, puesto que al hacer la clausura difuminaría estos objetos. Así, en esta imagen vemos la aplicación de clausura con un elemento estructural de línea de 45 px y 45° de inclinación.

Figura 18. Resultado de aplicar un operador de clausura.Fuente: Adaptado de https://blogs.mathworks.com/steve/2012/11/20/image-effects-part-2/

La forma del fotógrafo se ha conservado en gran medida, luego, para eliminar las posibles líneas provocadas por el anterior operador, es conveniente realizar un operador de apertura (para consolidar las formas y eliminar detalles). De esta manera, y aunque parezca muy borroso, la figura del cámara se ha conservado habiéndose eliminado la cámara y el fondo.

Figura 19. Resultado de aplicar un operador de apertura. Fuente: Adaptado de https://blogs.mathworks.com/steve/2012/11/20/image-effects-part-2/

Únicamente queda aplicar este filtro a la imagen original. En este caso lo haremos multiplicando ambas imágenes, componente a componente, una manera muy sencilla de aplicar el filtro.

El resultado puede apreciarse en la imagen siguiente, donde hemos eliminado todo el fondo y la cámara, quedándonos únicamente con la parte correspondiente al fotógrafo. Además, como resultado del filtrado de multiplicación de las dos imágenes se ha obtenido un reescalado que permite ver más detalles del abrigo que inicialmente no eran perceptibles.

Figura 20. Resultado final del ejercicio práctico. Fuente: Adaptado de https://blogs.mathworks.com/steve/2012/11/20/image-effects-part-2/

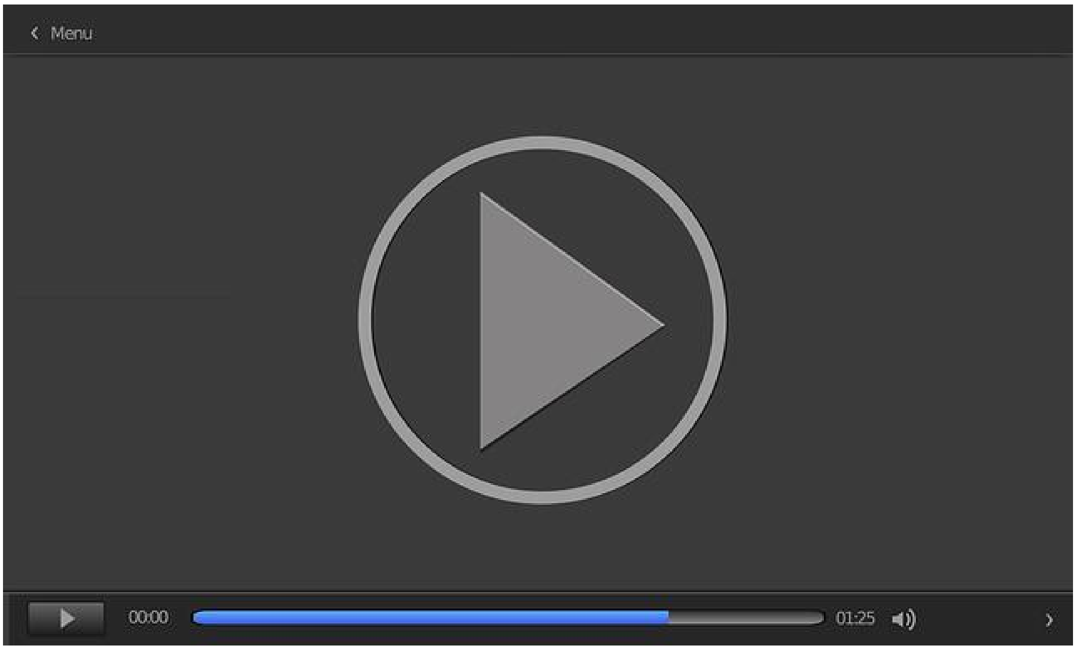
9.9. Referencias bibliográficas

González, R. C. y Woods, R. E. (2008). *Digital image processing*. New Jersey: Pearson Education.

Morfología matemática

Rich Radke. (1015, marzo19). *DIP Lecture 13: Morphological image processing* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=IcBzsP-fvPo

Visión más detallada de la morfología matemática y donde se utiliza Matlab para la implementación de los algoritmos u operadores que hemos visto en el tema.



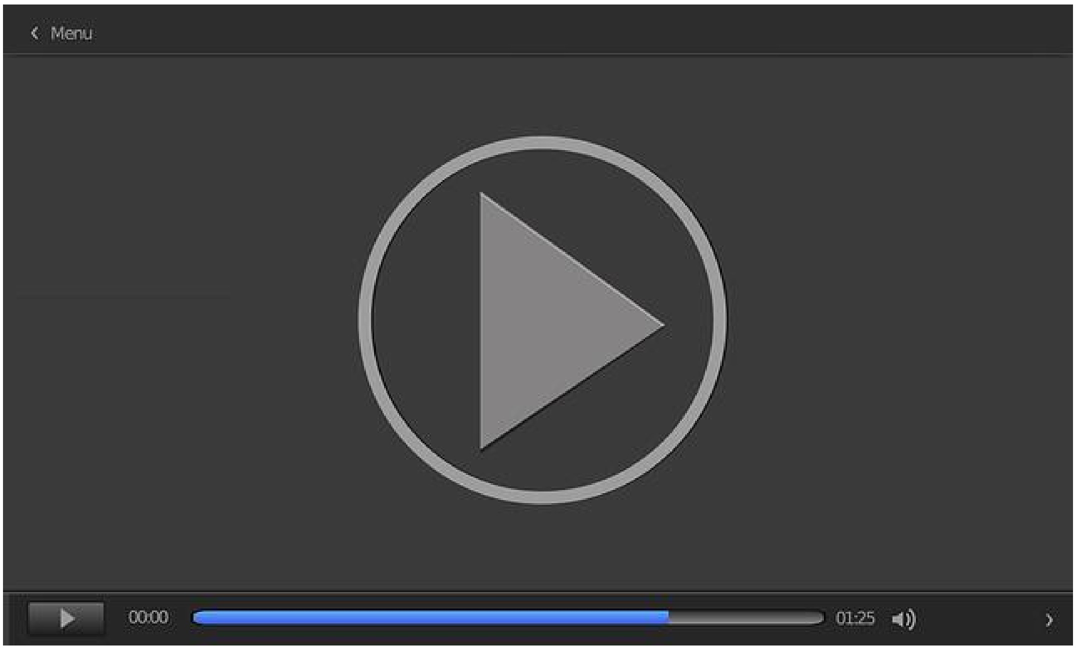
Accede al vídeo:

https://www.youtube.com/embed/IcBzsP-fvPo

Erosión

SmarT E-learning. (2012, julio 7). *Image Processing – Erosión* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=fmyE7DiaIYQ

Vídeo que profundiza en el operador de erosión de manera gráfica.



Accede al vídeo:

https://www.youtube.com/embed/fmyE7DiaIYQ

1. Las operaciones morfológicas tienen como función principal:

    A. Eliminar detalles que puedan confundir al sistema de percepción computacional y a las decisiones que se tomen en función de la imagen.

    B. Eliminar información no relevante y potenciar los detalles dentro de una imagen.

    C. La detección de bordes, aunque no es su función principal.

    D. Todas las anteriores son correctas.

    E. Ninguna es correcta

2. Los elementos estructurales pueden ser de cualquier forma:

    A. No, solo discos, rectas y formas geométricas conocidas.

    B. Sí, pueden tener cualquier forma.

3. La morfología matemática puede aplicarse a:

    A. Imágenes en blanco y negro ya segmentadas.

    B. Imágenes en escala de grises.

    C. Imágenes en escala de colores.

    D. Señales unidimensionales como pueda ser el electrocardiograma.

    E. Todas las anteriores son correctas.

4. La erosión es la inversa de la dilatación:

    A. Teóricamente falso, aunque pueden existir casos donde sí que ocurra.

    B. Siempre es cierto

    C. Es siempre falso.

5. La apertura se define como:

A. Primero una erosión y después una dilatación.

B. Una dilatación seguida de una erosión.

C. Dos dilataciones seguidas.

D. Ninguna de las anteriores.

6. La función inversa de la erosión se llama:

A. Dilatación.

B. Clausura.

C. Apertura.

D. Ninguna de las anteriores.

7. Si tenemos una matriz de 17x17 píxeles, todos en negro menos el píxel del centro de la imagen que está en blanco, y ejecutamos una operación de dilatación, ¿qué se puede afirmar cuando acabe el proceso?

A. Dependerá del elemento estructural el que haya más de un píxel en blanco.

B. Si se usa un disco, habrá más de un píxel en blanco.

C. Siempre habrá más de un píxel en blanco, independientemente del elemento estructural.

8. Al mirar al cielo nocturno se observan muchas estrellas. Si hiciésemos una foto al cielo, ¿qué operador morfológico escogerías para quedarte con las estrellas más grandes?

A. Ninguno, los operadores morfológicos no sirven para esto.

B. Una apertura, ya que con la primera erosión elimino las componentes más pequeñas y después con la dilatación devuelvo el tamaño a las componentes que queden.

C. Una clausura, puesto que con la primera dilatación me aseguro de que las estrellas más grandes se consoliden y con la erosión, elimino las más pequeñas.

9. Los dos operadores morfológicos que conservan la forma son:

A. La apertura y la dilatación.

B. La clausura y la dilatación.

C. La erosión y la dilatación.

D. La apertura y la clausura.

10. ¿Qué operador consume más procesamiento computacional?

A. La creación del elemento estructural.

B. La dilatación.

C. La apertura.