

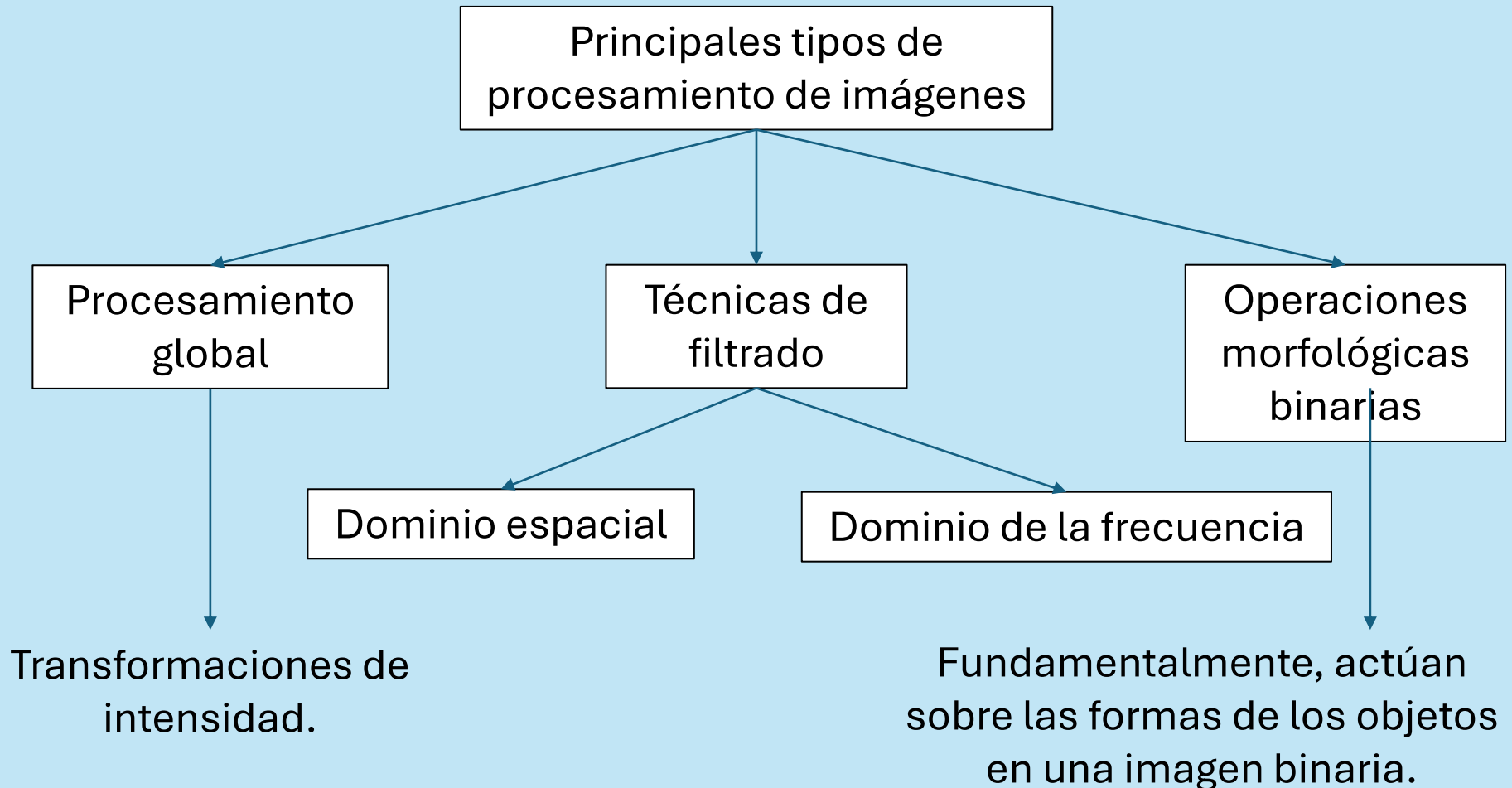
PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES

DPTO. MATEMÁTICA APLICADA I

Tema 4: MORFOLOGÍA BINARIA



Morfología Binaria



Morfología Binaria

- Operaciones de **teoría de conjuntos**:

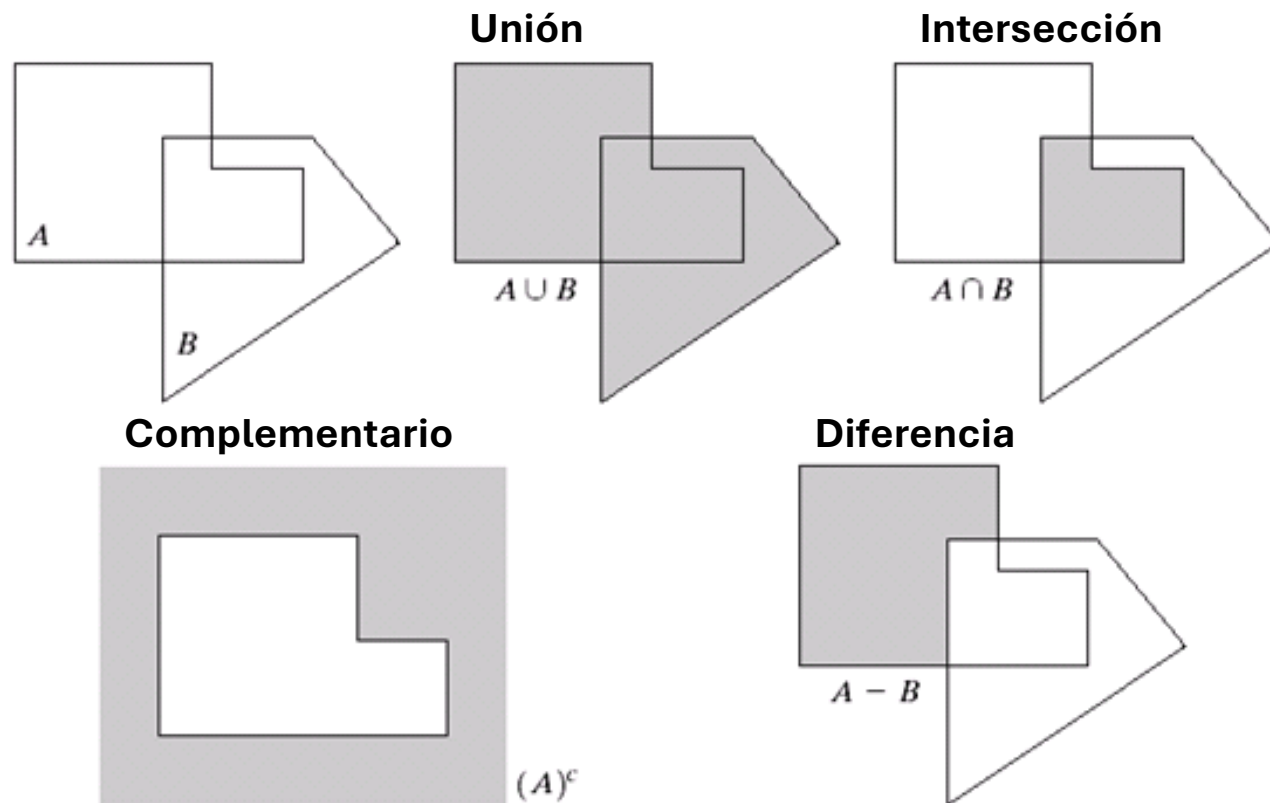
- Imágenes binarias \rightarrow subconjuntos de Z^2
- Imágenes en escala de grises \rightarrow subconjuntos de Z^3 .

- **Objetivos:**

- Supresión de ruidos, detección de esquinas o pequeños detalles con cierta forma, etc.
- Destacar la estructura de los objetos: extraer el esqueleto, extraer el borde, rellenado de regiones, etc.

Morfología Binaria

- Operaciones de **teoría de conjuntos**:

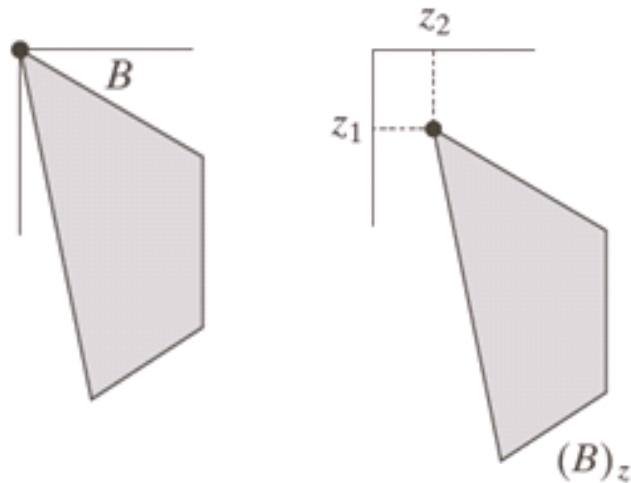


Morfología Binaria

- Operaciones de **teoría de conjuntos**:

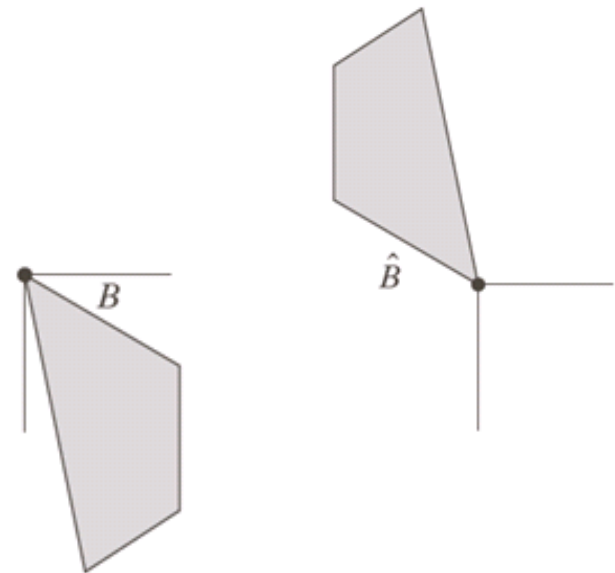
Traslación **de B por z**:

$$B_z = \{x \mid x = b + z, b \in B\}$$



Reflexión **de B**:

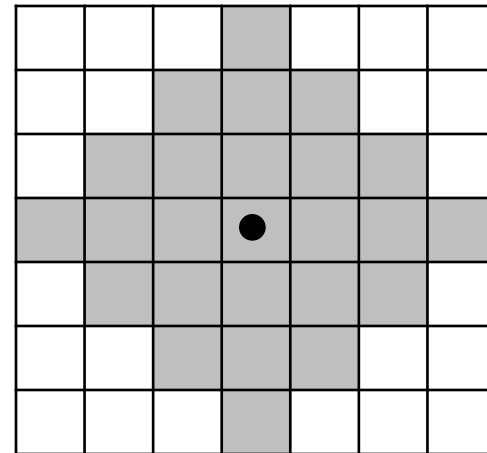
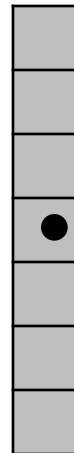
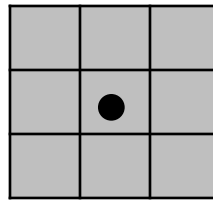
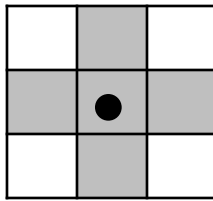
$$\hat{B} = \{x \mid x = -b, b \in B\}$$



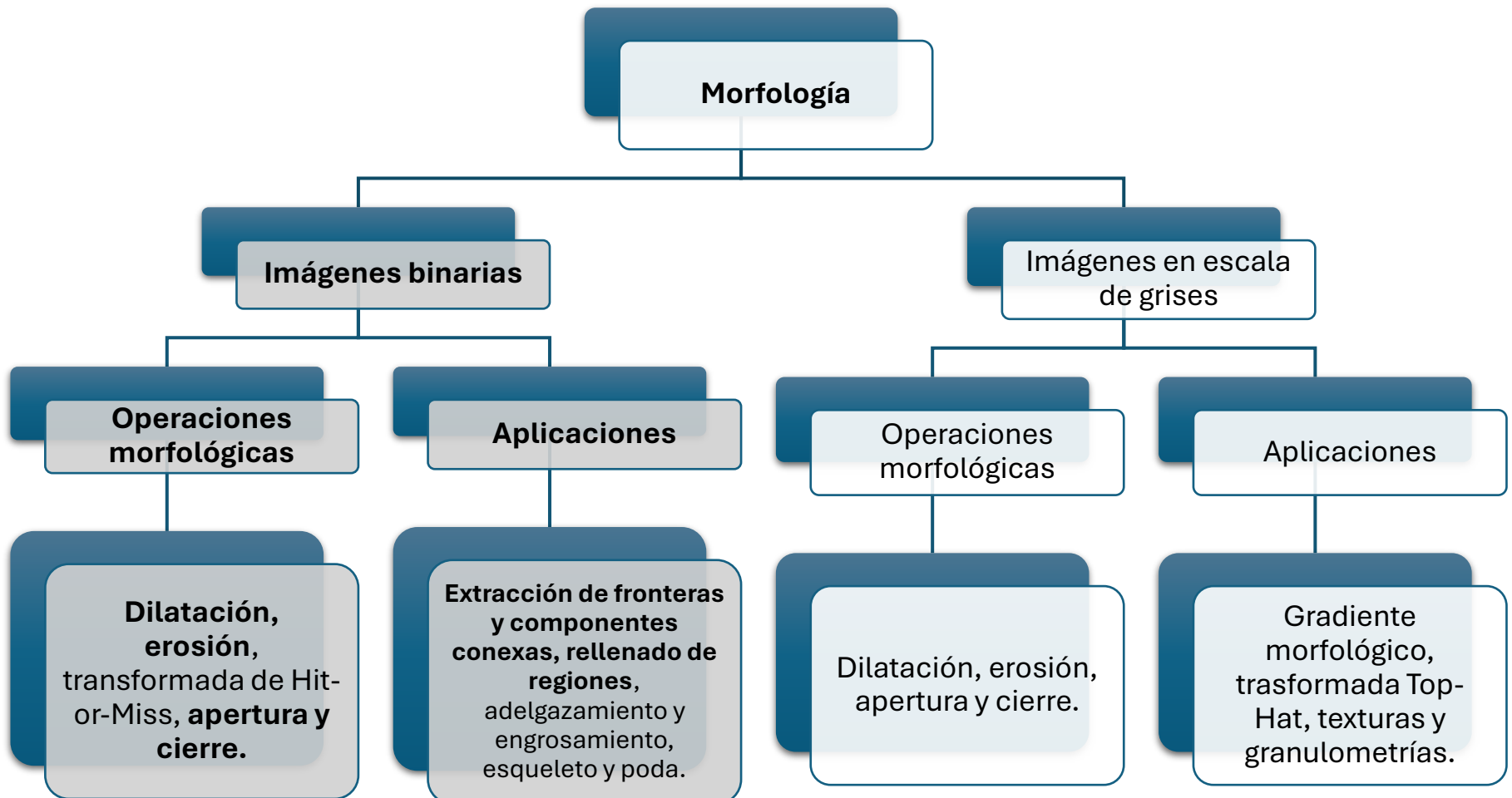
Morfología Binaria

- **Elementos estructurales:**

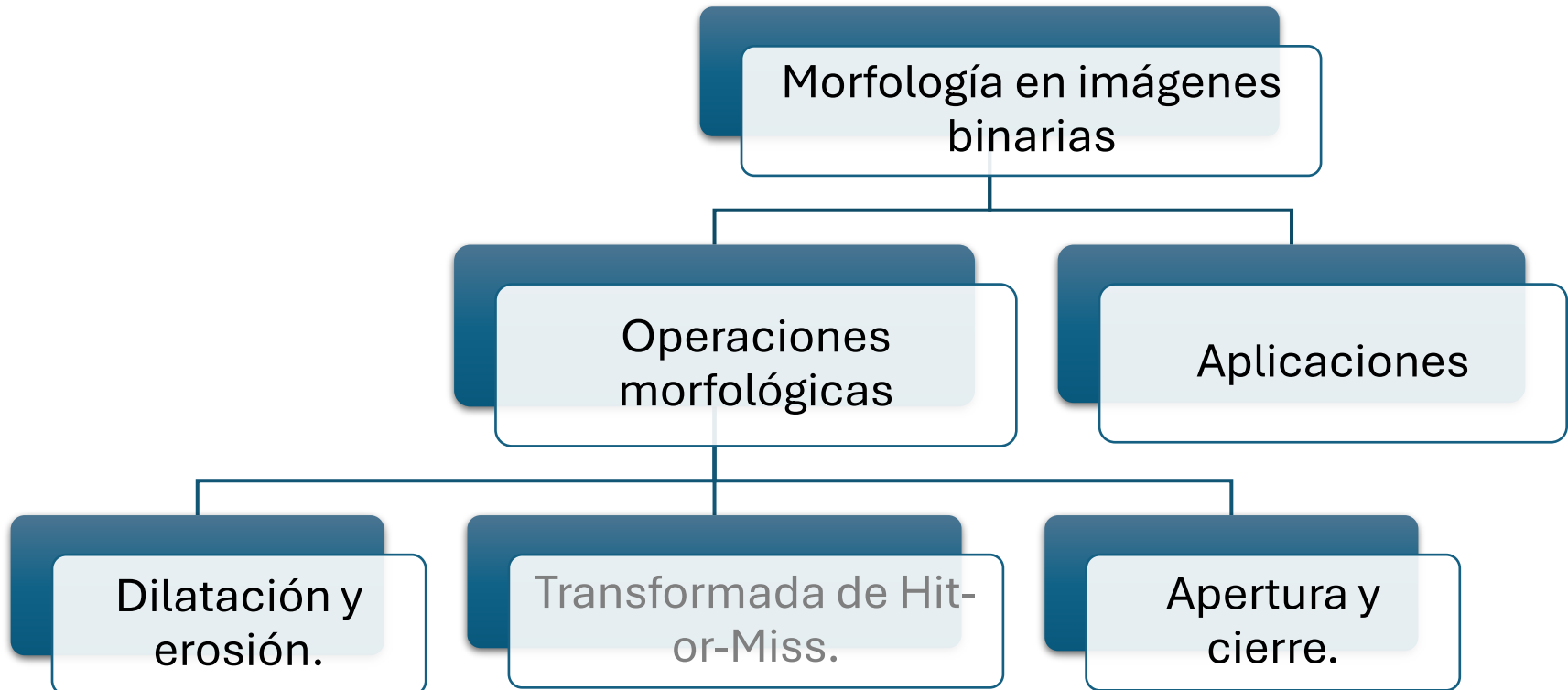
Conjuntos pequeños o subimágenes usadas para para aplicar las operaciones morfológicas.



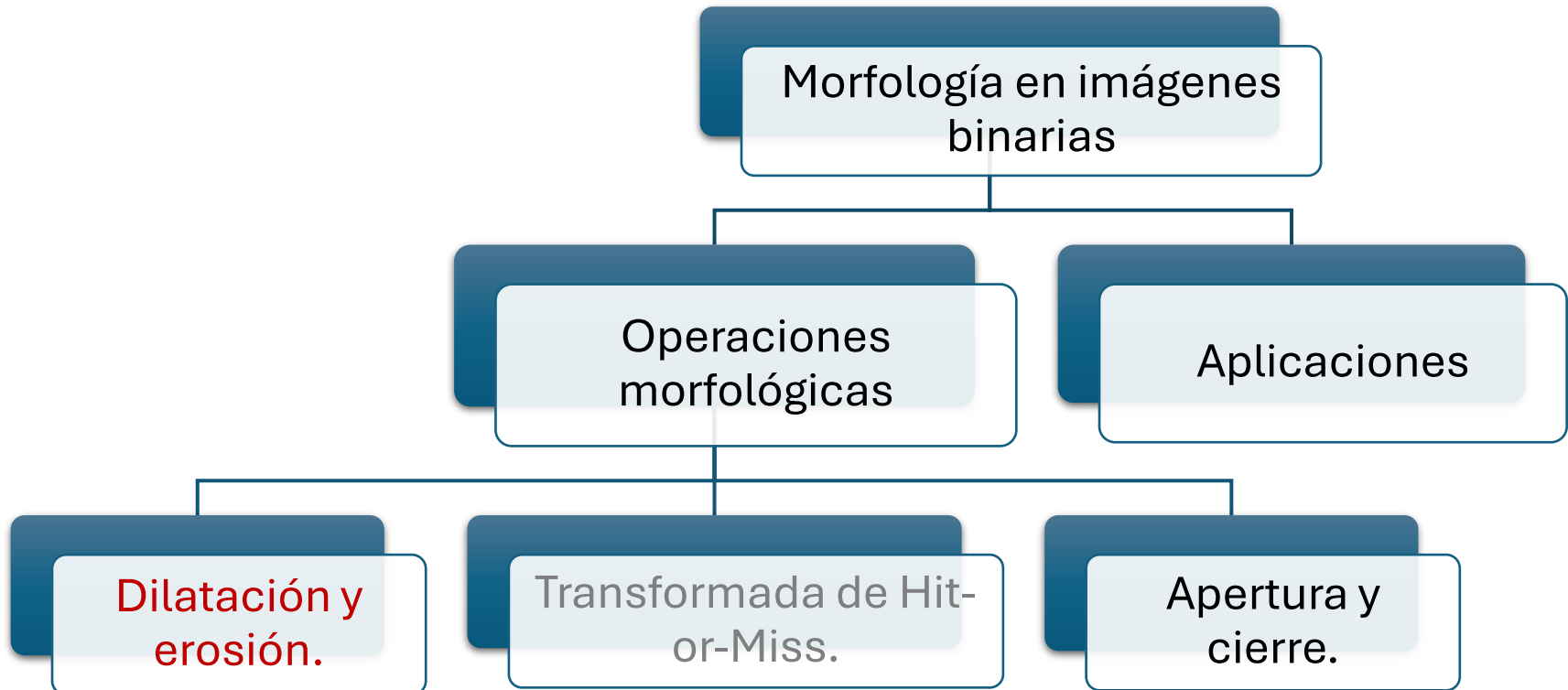
Morfología Binaria



Morfología Binaria



Morfología Binaria



Morfología Binaria

▪ DILATACIÓN:

Dada una imagen binaria, sea A el conjunto de píxeles de la imagen que forman el objeto sobre un fondo. Dado un elemento estructural B , la **dilatación de A por B** se define como:

$$A \oplus B = \{x \mid (\hat{B})_x \cap A \neq \emptyset\}$$

Tengamos en cuenta que, para la intersección sólo consideramos los píxeles del objeto A y B .

En general, la dilatación significa un engrosamiento del objeto en una forma que dependerá del elemento estructural B .

Morfología Binaria

- **DILATACIÓN, definición alternativa:**

Dada una imagen binaria, sea A el conjunto de píxeles de la imagen que forman el objeto sobre un fondo. Dado un elemento estructural B , la **dilatación de A por B** se define como:

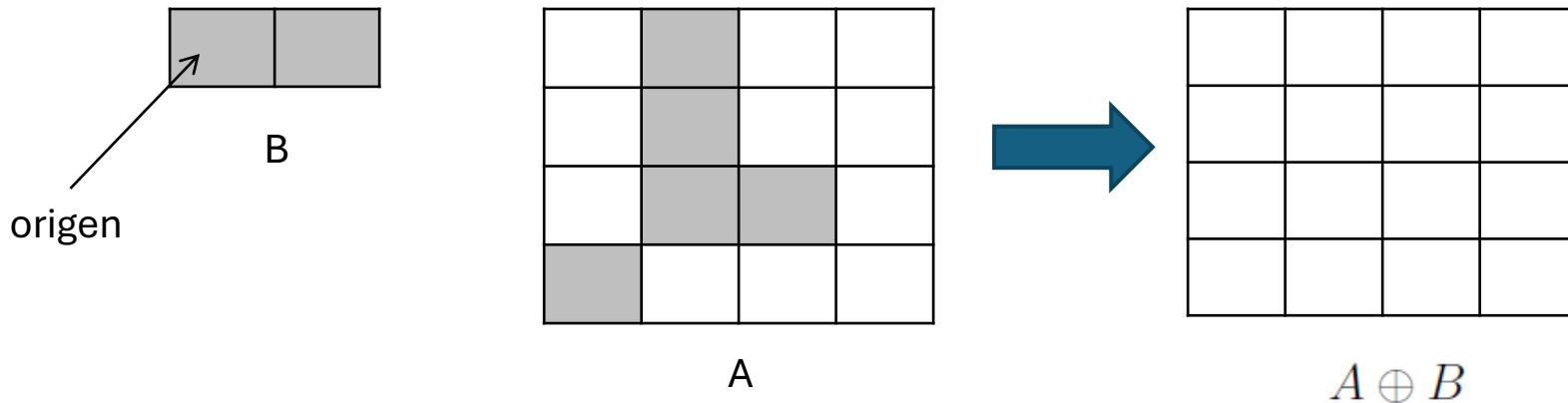
$$A \oplus B = \bigcup_{b \in B} A_b = \{a + b | a \in A, b \in B\}$$

En general, la dilatación significa un engrosamiento del objeto en una forma que dependerá del elemento estructural B .

Morfología Binaria

■ DILATACIÓN:

$$A \oplus B = \bigcup_{b \in B} A_b$$



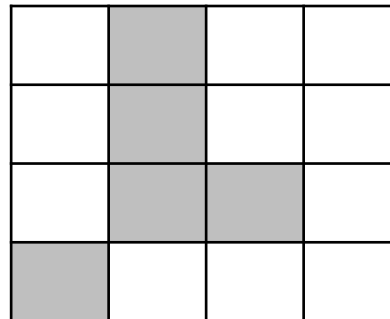
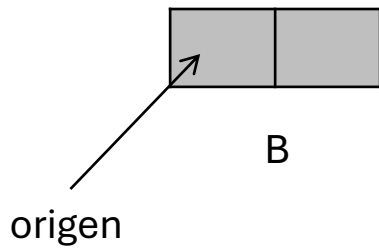
Observación: Es importante tener en cuenta que el sistema de coordenadas que se considera aquí es (fila, columna).

También es importante saber **sobre qué píxeles estamos trabajando, blancos o negros.**

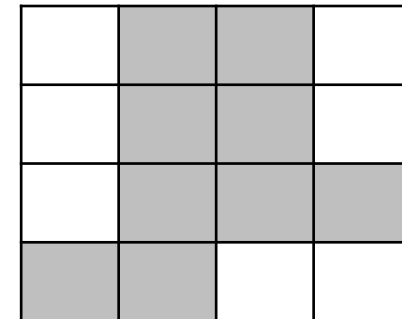
Morfología Binaria

■ DILATACIÓN:

$$A \oplus B = \bigcup_{b \in B} A_b$$



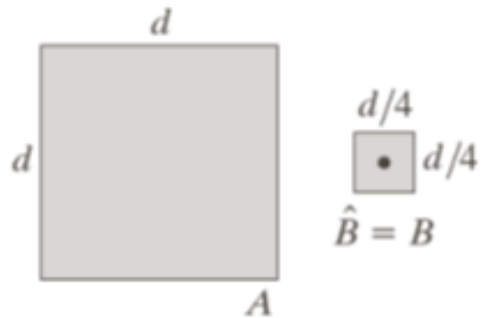
A



$A \oplus B$

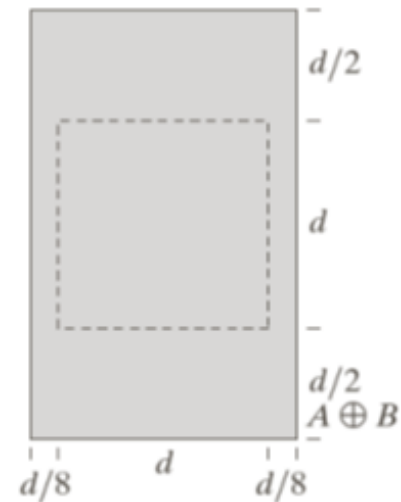
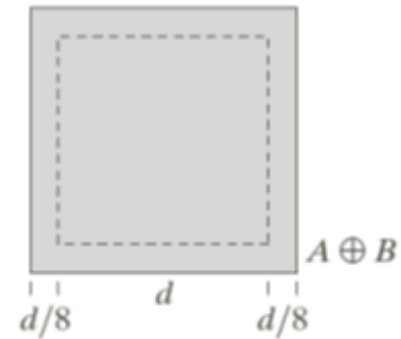
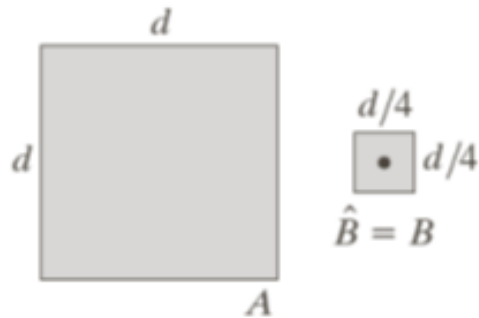
Morfología Binaria

- DILATACIÓN: Idea geométrica**



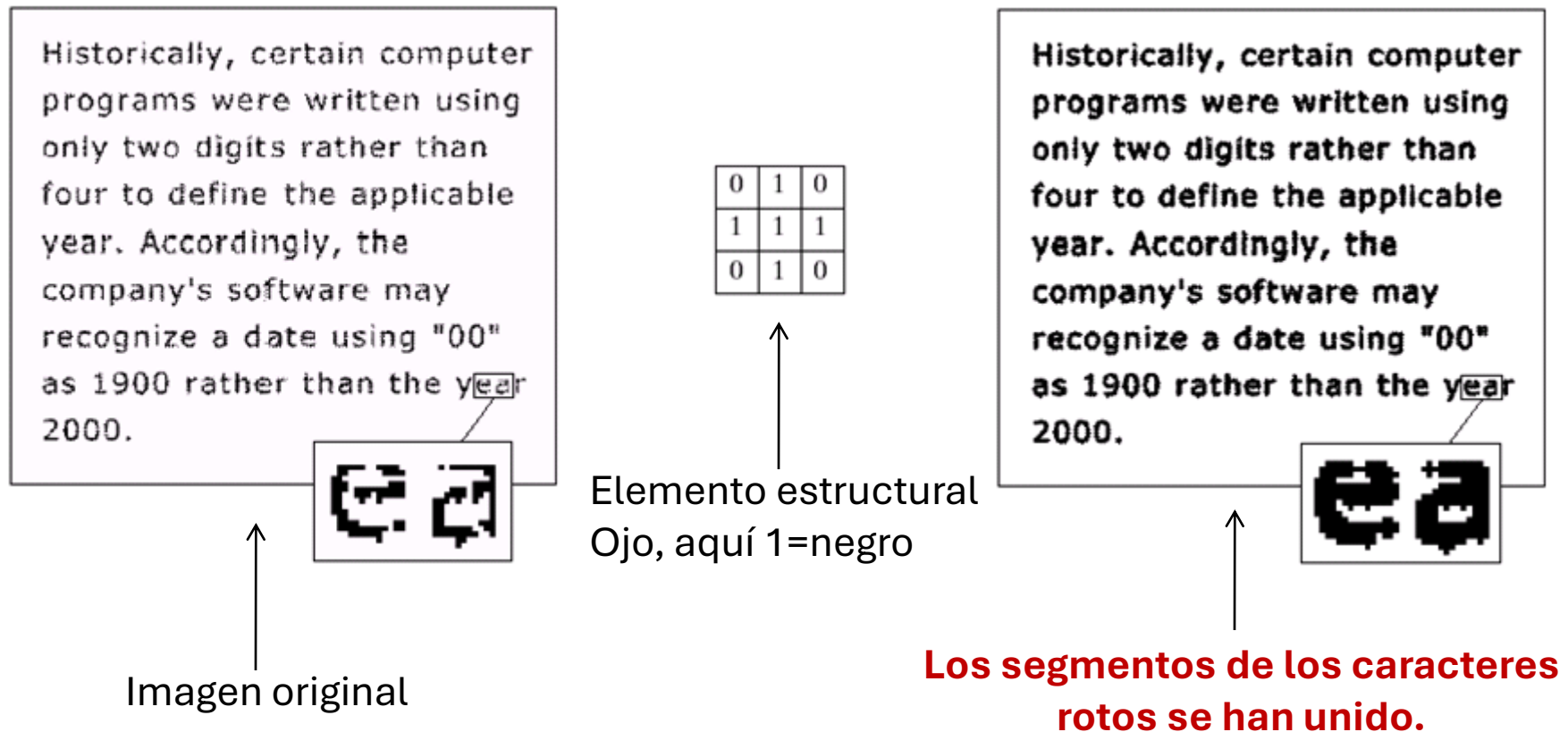
Morfología Binaria

■ DILATACIÓN: Idea geométrica



Morfología Binaria

■ DILATACIÓN: Ejemplo de aplicación



Morfología Binaria

■ DILATACIÓN:

Practica:

- Usa la función de OpenCV `dilate()` para hacer dilataciones de una imagen.
- Define antes el elemento estructural. Averigua las opciones que da OpenCV para definirlo.
- Averigua qué ocurre si lo aplicas a una imagen en escala de grises.

Morfología Binaria

- **EROSIÓN:**

Dada una imagen binaria, sea A el conjunto de píxeles de la imagen que forman el objeto (1) sobre un fondo (0). Dado un elemento estructural B , la **erosión de A por B** se define como:

$$A \ominus B = \{x \mid B_x \subseteq A\}$$

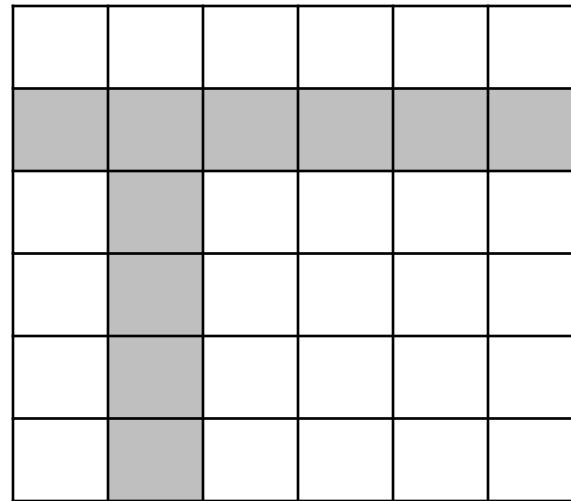
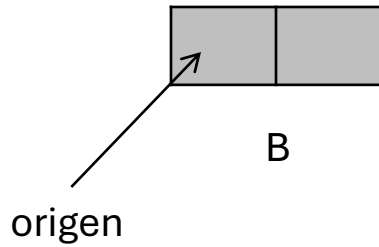
Tengamos en cuenta que sólo consideramos los píxeles del objeto de A y B .

La erosión es la propiedad morfológica dual a la dilatación.

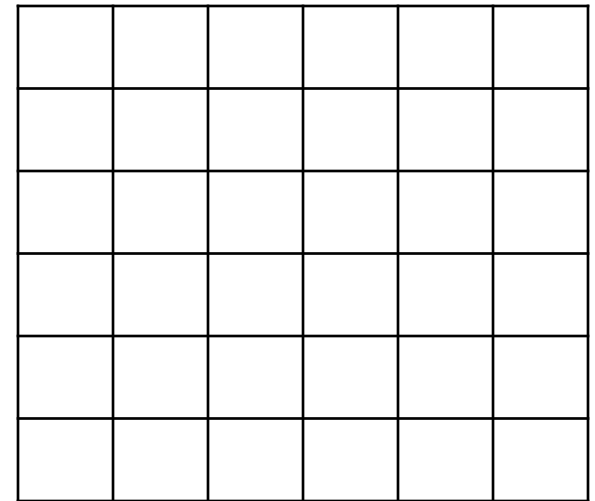
La erosión se concibe usualmente como una reducción de la imagen original.

Morfología Binaria

- **EROSIÓN:** $A \ominus B = \{x \mid B_x \subseteq A\}$



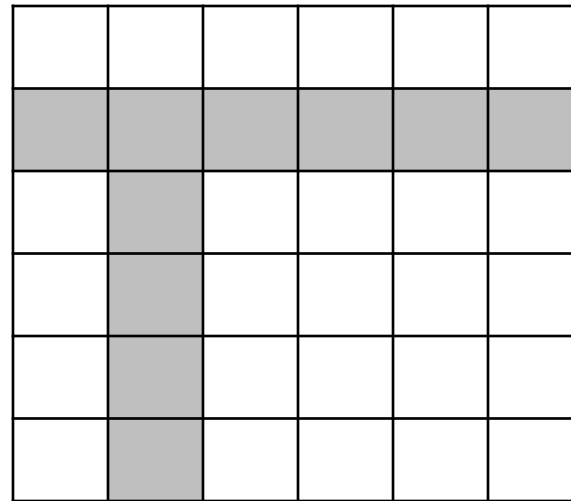
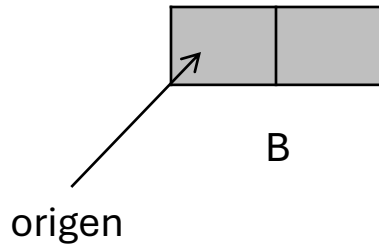
A



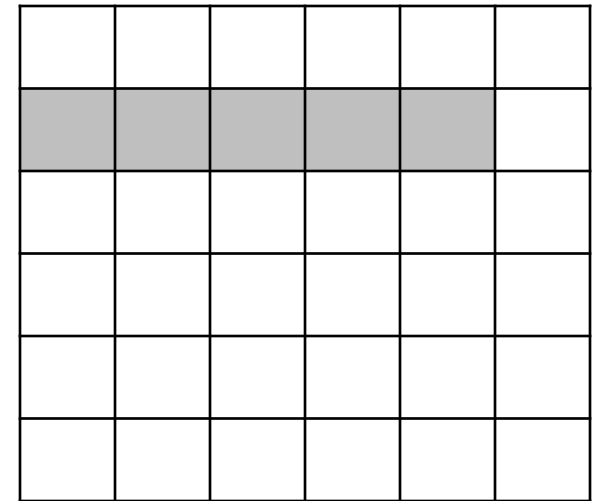
$A \ominus B$

Morfología Binaria

- **EROSIÓN:** $A \ominus B = \{x \mid B_x \subseteq A\}$



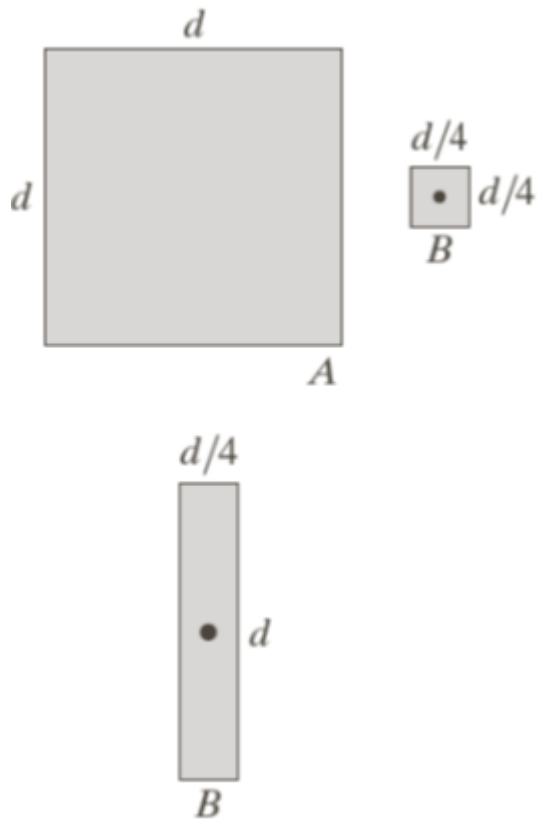
A



$A \ominus B$

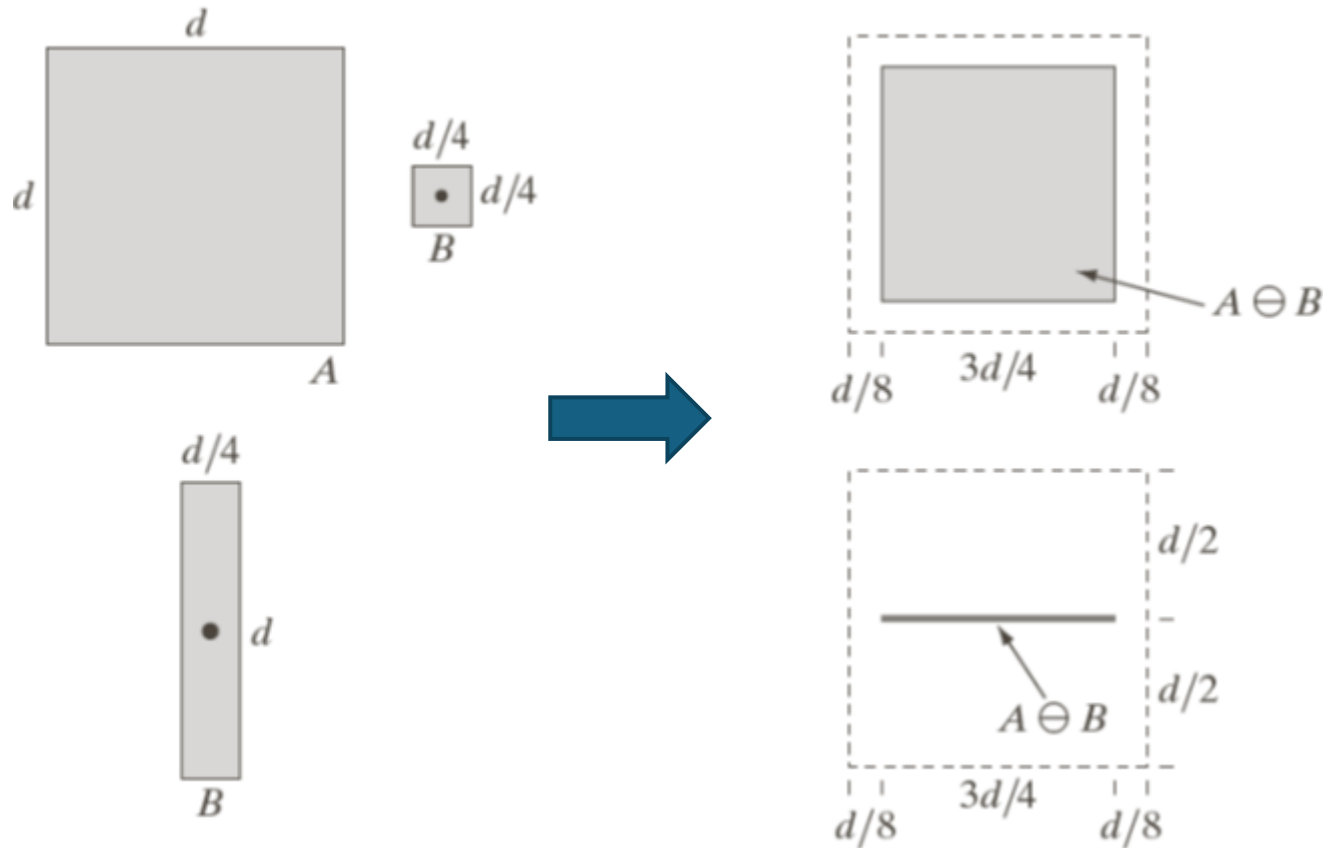
Morfología Binaria

- **EROSIÓN: Interpretación geométrica**



Morfología Binaria

EROSIÓN: Interpretación geométrica



Morfología Binaria

■ EROSIÓN:

Practica:

- Usa la función de OpenCV `erode()` para hacer erosiones de una imagen.
- Define antes el elemento estructural. Averigua las opciones que da OpenCV para definirlo.
- Averigua qué ocurre si lo aplicas a una imagen en escala de grises.

Morfología Binaria

- **Ejemplo:**

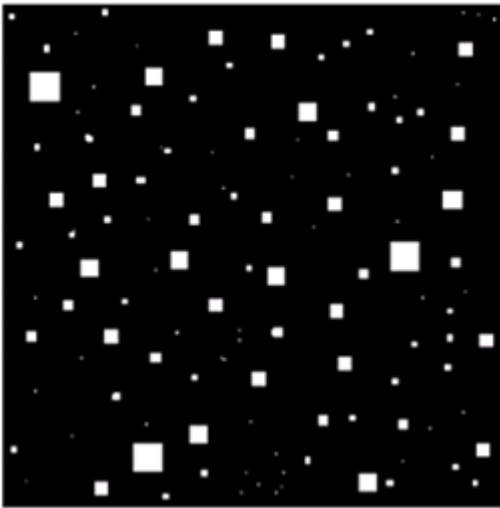


Imagen con cuadrado de
tamaños 1, 3, 5, 7, 9 y 15.

Erosión con un elemento
estructural cuadrado de
tamaño 13 x 13.

Morfología Binaria

- **Ejemplo:**

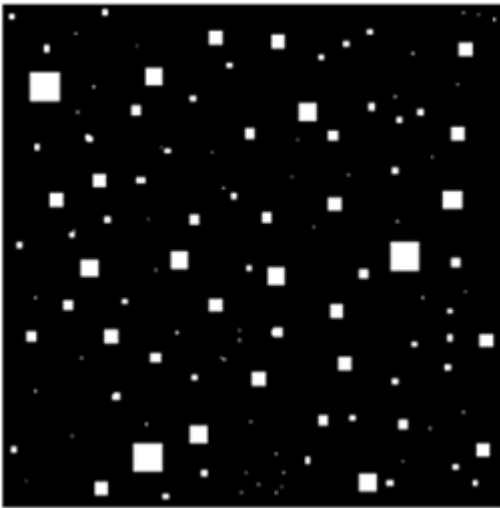
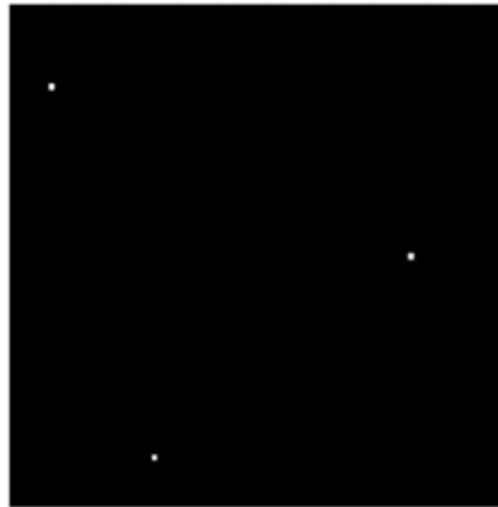


Imagen con cuadrado de tamaños 1, 3, 5, 7, 9 y 15.



Erosión con un elemento estructural cuadrado de tamaño 13 x 13.

Los cuadrados de lados menor que 15 desaparecen mientras que el de lado 15 pasa a ser de lado 3.

Morfología Binaria

- **Ejemplo:**

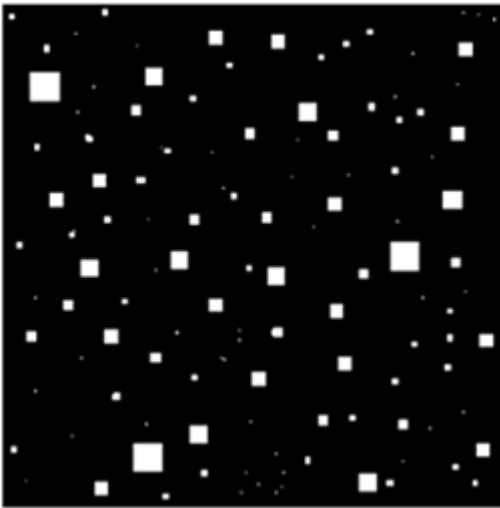
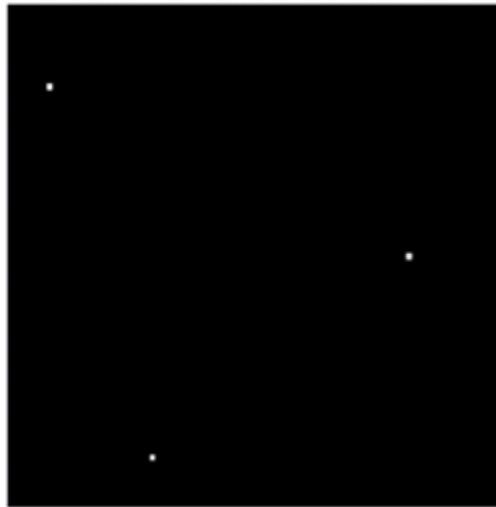


Imagen con cuadrado de tamaños 1, 3, 5, 7, 9 y 15.



Erosión con un elemento estructural cuadrado de tamaño 13 x 13.

Dilatación de la imagen central con el mismo elemento estructural.

Tema 5: Morfología Binaria

▪ Ejemplo:

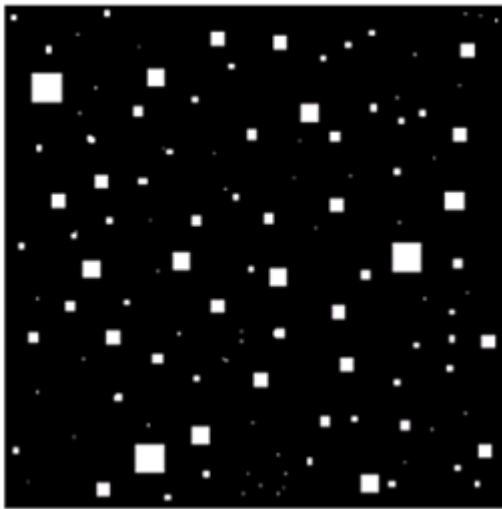
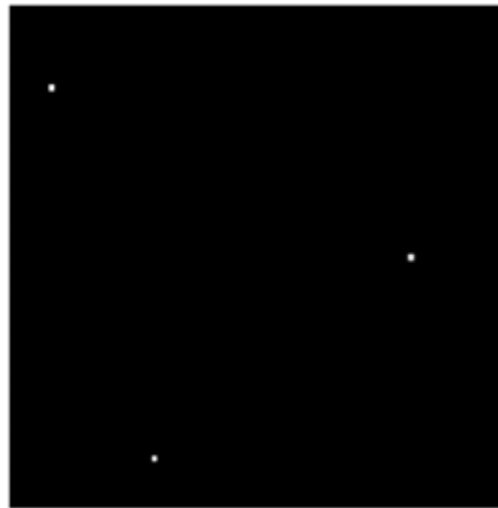
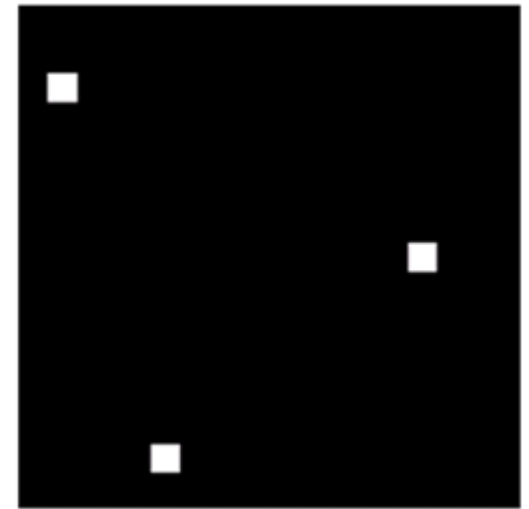


Imagen con cuadrado de tamaños 1, 3, 5, 7, 9 y 15.



Erosión con un elemento estructural cuadrado de 1s de tamaño 13 x 13.

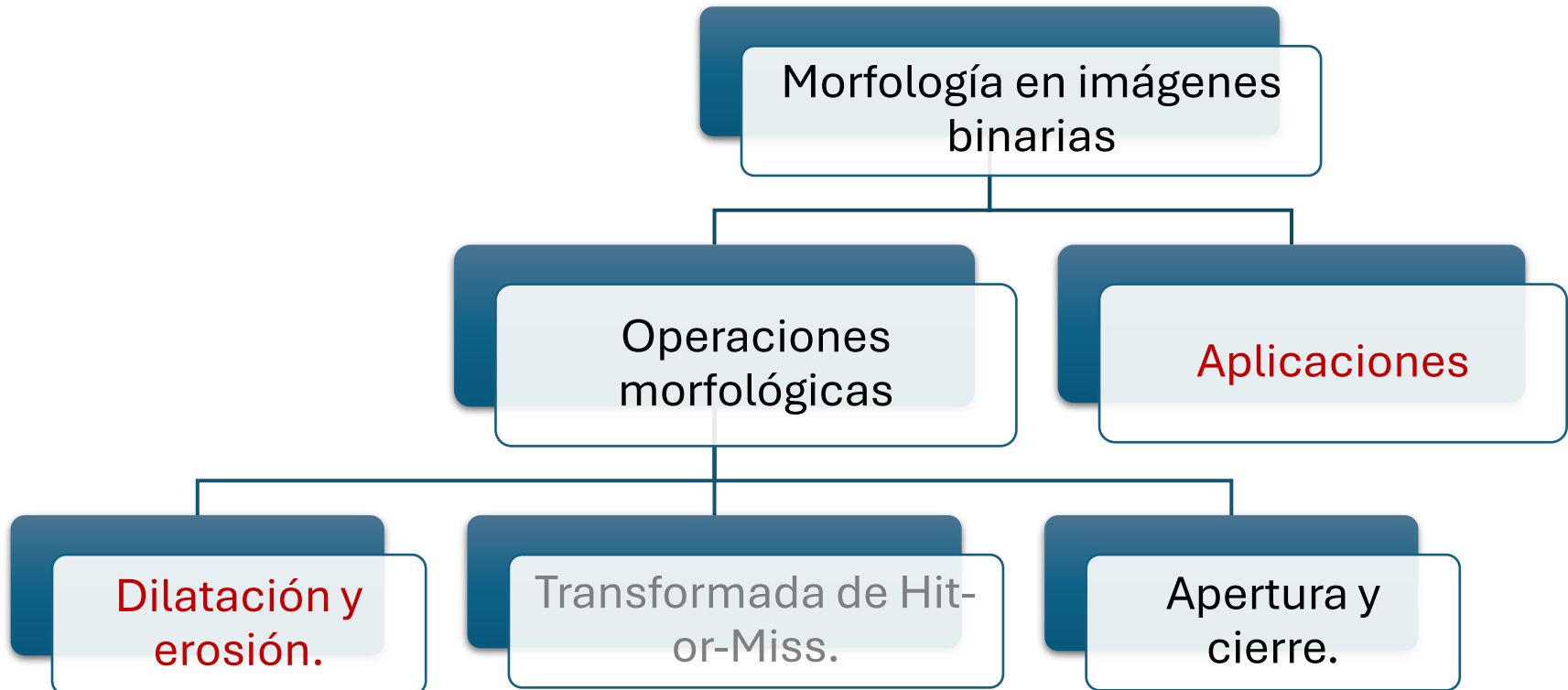


Dilatación de la imagen central con el mismo elemento estructural.

Los cuadrados vuelven a ser de tamaño 15.

Ojo, aquí estamos trabajando sobre píxeles blancos.

Morfología Binaria



Morfología Binaria

■ Aplicación 1: EXTRACCIÓN DE FRONTERAS

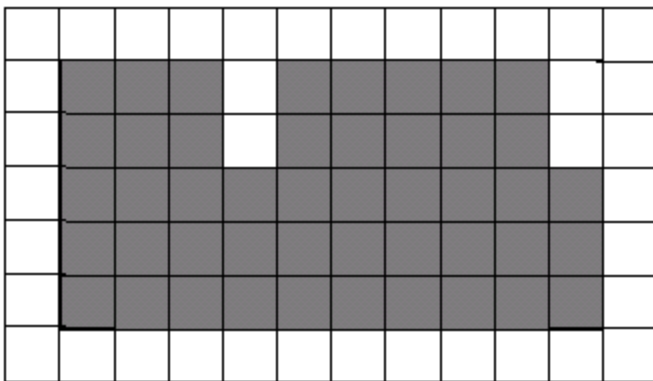
- La frontera de un conjunto A se puede obtener primero erosionando A por un elemento estructural apropiado, B , y realizando posteriormente la diferencia entre A y su erosión.

$$F(A) = A - (A \ominus B)$$

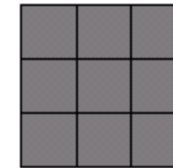
- El elemento estructural B usado más frecuentemente es el cuadrado 3×3 . Usando otros tamaños, por ejemplo 5×5 , se ampliaría el grosor de la frontera a dos o tres píxeles.

Morfología Binaria

■ Aplicación 1: EXTRACCIÓN DE FRONTERAS



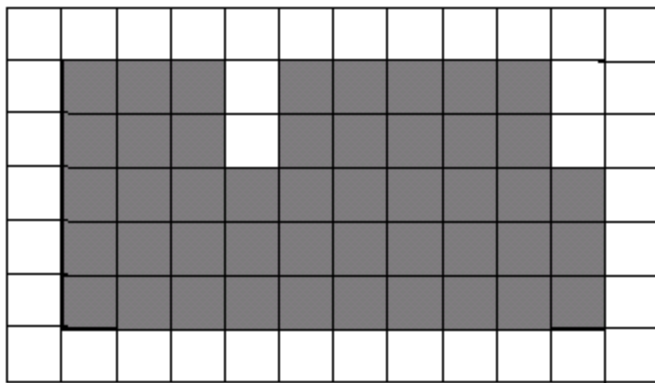
A



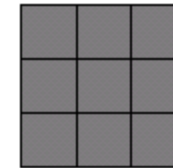
B

Morfología Binaria

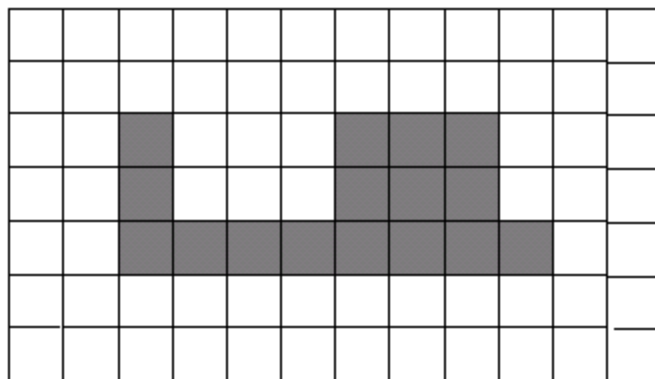
■ Aplicación 1: EXTRACCIÓN DE FRONTERAS



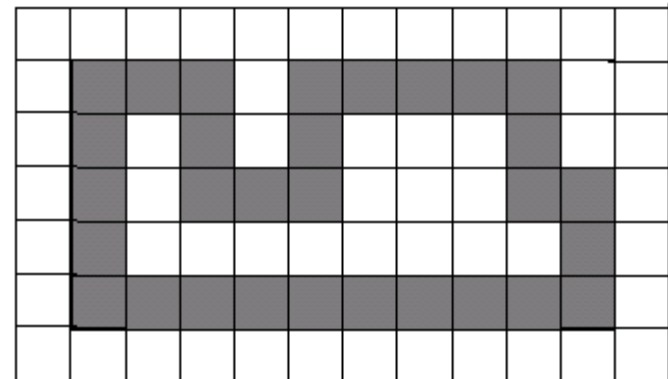
A



B



$A \ominus B$



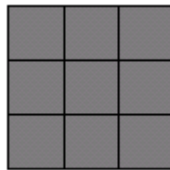
F(A)

Morfología Binaria

- **Aplicación 1: EXTRACCIÓN DE FRONTERAS**



A



B



F(A)

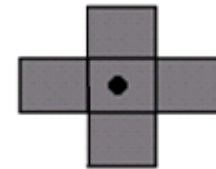
Morfología Binaria

■ Aplicación 2: RELLENADO DE REGIONES

- Partimos del borde 8-conexo de una región A y de un punto p del interior de A. El siguiente procedimiento rellena el interior de A:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_0 = p \\ X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A^c, \quad k = 1, 2, 3, \dots \end{array} \right.$$

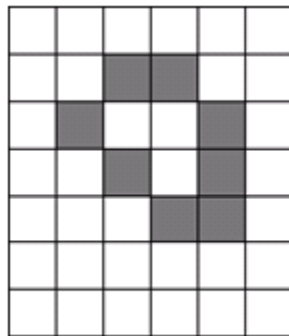
donde B es el siguiente elemento estructural:



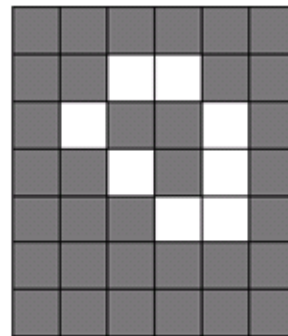
- El algoritmo termina en la iteración k si $X_k = X_{k+1}$.

Morfología Binaria

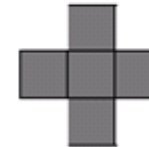
■ Aplicación 2: RELLENADO DE REGIONES



A



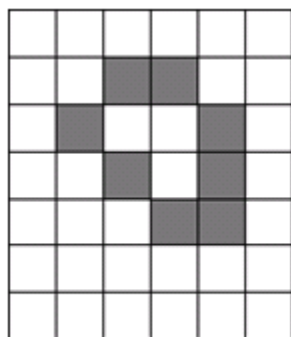
A^c



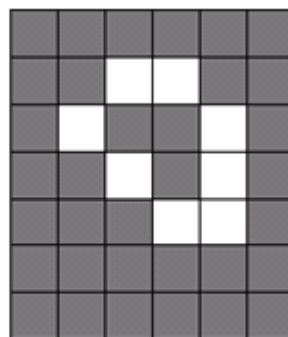
B

Morfología Binaria

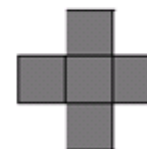
■ Aplicación 2: RELLENADO DE REGIONES



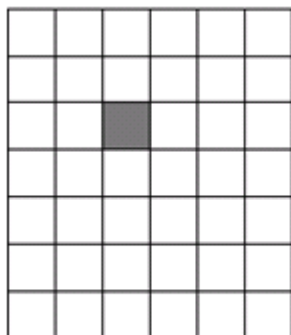
A



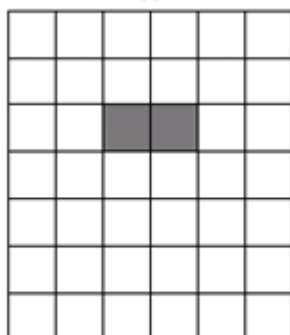
A^c



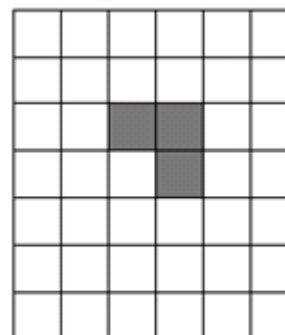
B



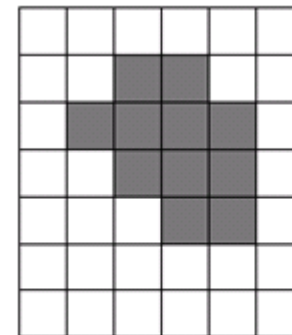
x_0



x_1



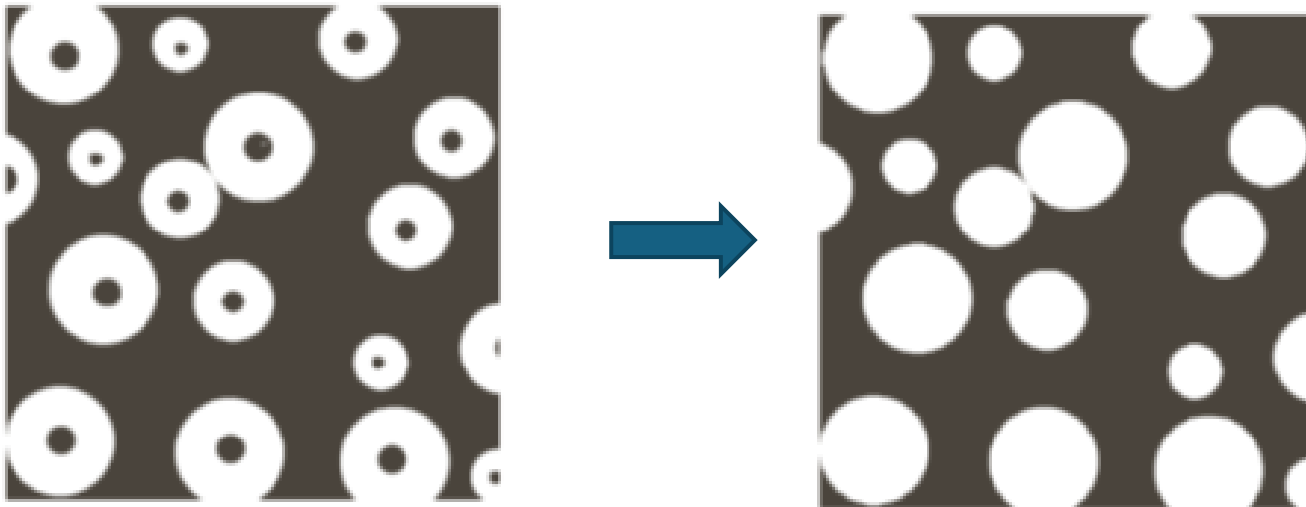
x_2



Relleno

Morfología Binaria

- **Aplicación 2: RELLENADO DE REGIONES**



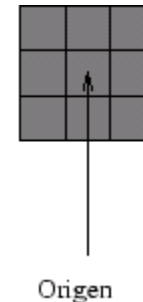
Morfología Binaria

■ Aplicación 3: EXTRACCIÓN DE COMPONENTES CONEXAS

- Supongamos que Y representa una componente conexa contenida en un conjunto A y supongamos que conocemos un punto p que pertenece a dicha región. Entonces, el siguiente procedimiento puede utilizarse para extraer Y :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_0 = p \\ X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A, \quad k = 1, 2, 3, \dots \end{array} \right.$$

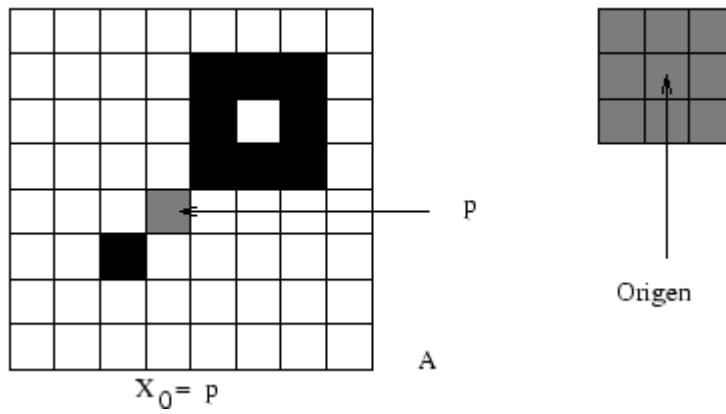
donde B es el siguiente elemento estructural:



- El algoritmo termina en la iteración k si $X_{k-1} = X_k$. Con $Y = X_k$.

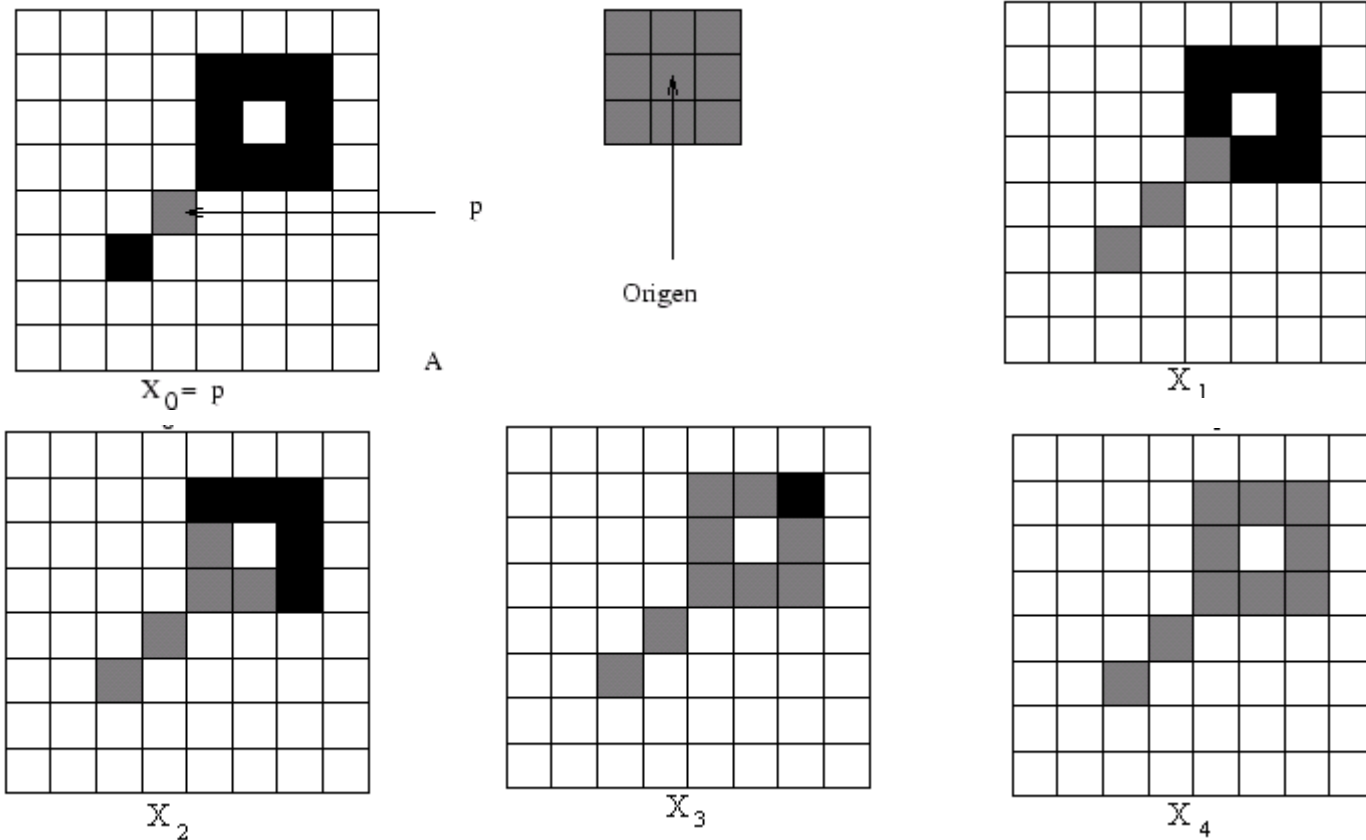
Morfología Binaria

■ Aplicación 3: EXTRACCIÓN DE COMPONENTES CONEXAS

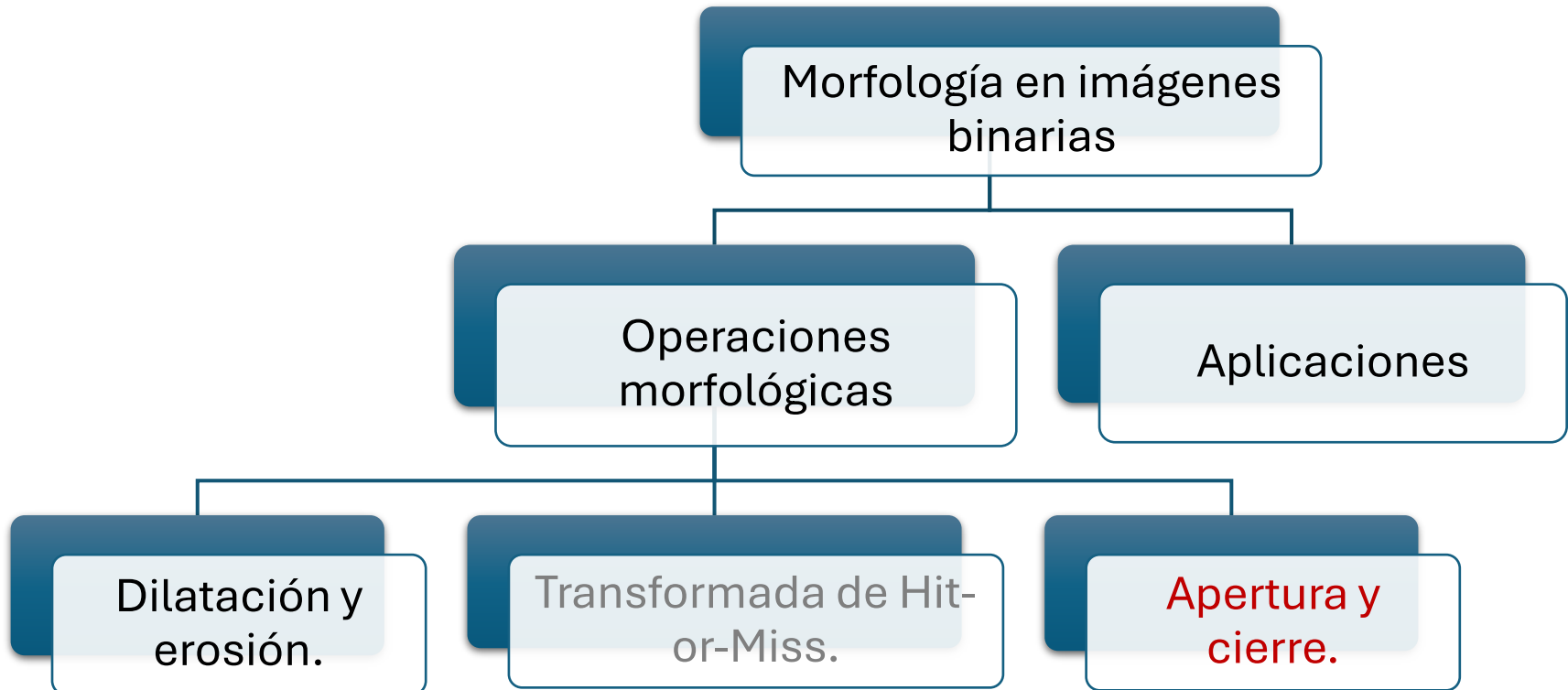


Morfología Binaria

■ Aplicación 3: EXTRACCIÓN DE COMPONENTES CONEXAS



Morfología Binaria



Morfología Binaria

- Como hemos visto hasta ahora, cuando el elemento estructural contiene al origen, la dilatación expande la imagen mientras que la erosión la reduce.
 - **APERTURA:** Generalmente, suaviza los contornos de una imagen y elimina pequeños salientes. También puede eliminar franjas o zonas de un objeto que sean “más estrechas” que el elemento estructural.
 - **CLAUSURA:** Generalmente, elimina pequeños huecos (rellenándolos) y une componentes conexas cercanas.
- Los conceptos “estrecho”, “pequeño” son en relación al tamaño del elemento estructural.

Morfología Binaria

■ APERTURA:

- La apertura de A por un elemento estructural K se define como la erosión de A por K , seguido de la dilatación del resultado por K :

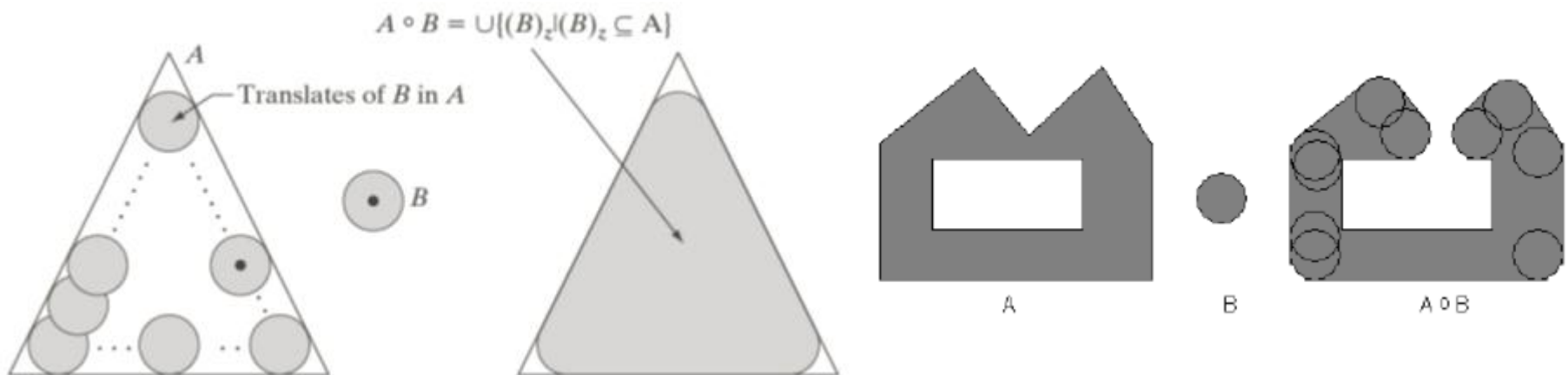
$$A \circ K = (A \ominus K) \oplus K$$

- Si A no cambia al realizarle una apertura con K , diremos que A es ***abierto respecto a K*** .

Morfología Binaria

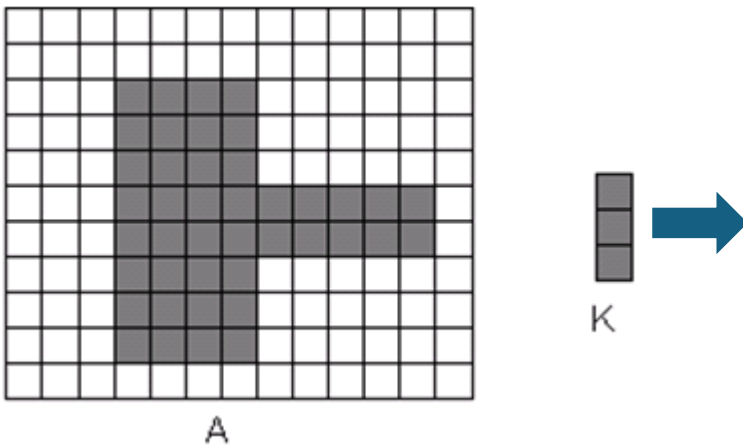
■ APERTURA: Interpretación geométrica

- Si tomamos un disco como elemento estructural, la apertura suaviza contornos, rompe uniones estrechas entre partes de conjuntos y elimina salientes estrechos.



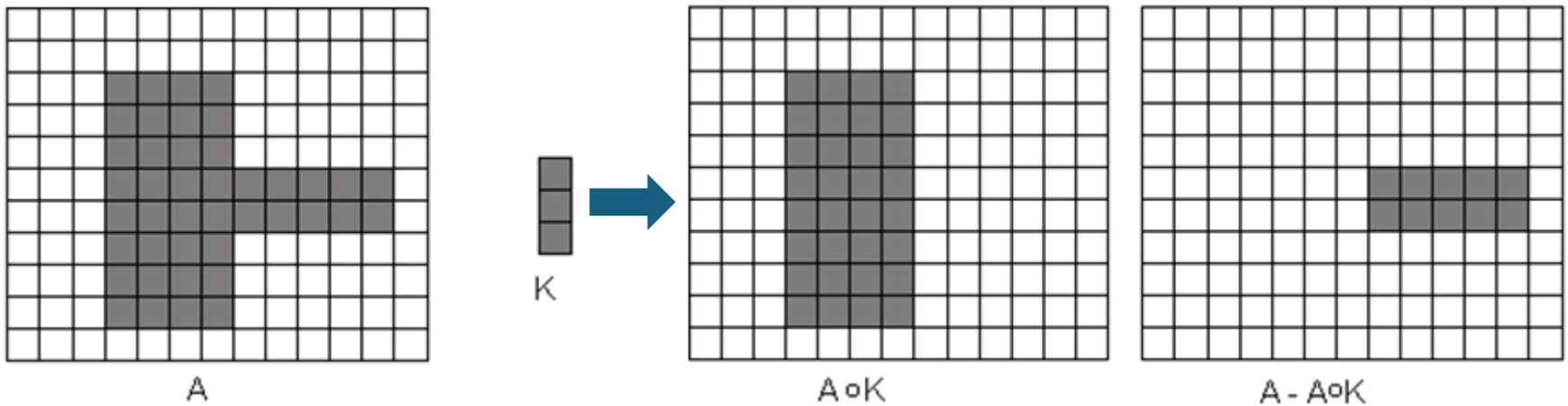
Morfología Binaria

- **APERTURA: Ejemplo.** Aquí se ilustra cómo podemos usar la apertura para descomponer objetos.



Morfología Binaria

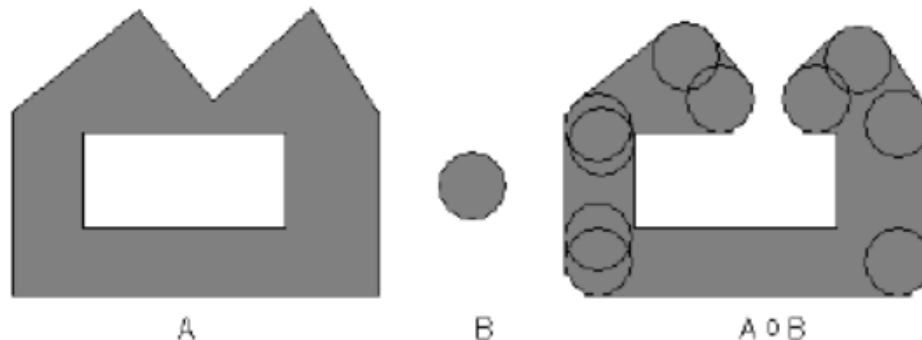
- **APERTURA: Ejemplo.** Aquí se ilustra cómo podemos usar la apertura para descomponer objetos.



Morfología Binaria

• APERTURA: Propiedades

1. La apertura es antiextensiva: $A \circ K \subseteq A$
2. La apertura es idempotente: $X \circ B = (X \circ B) \circ B$
3. Si tomamos un disco como elemento estructural, la apertura suaviza contornos, rompe uniones estrechas entre partes de conjuntos y elimina salientes estrechos.



Morfología Binaria

Practica:

- Usa la función de OpenCV `morphologyEx()` con el argumento `cv.MORPH_OPEN` para hacer apertura de una imagen.
- Define antes el elemento estructural. Averigua las opciones que da OpenCV para definirlo.
- Averigua qué ocurre si lo aplicas a una imagen en escala de grises.

Morfología Binaria

■ CLAUSURA:

- La clausura de A por un elemento estructural B se define como la dilatación de A por K, seguido de la erosión del resultado por K:

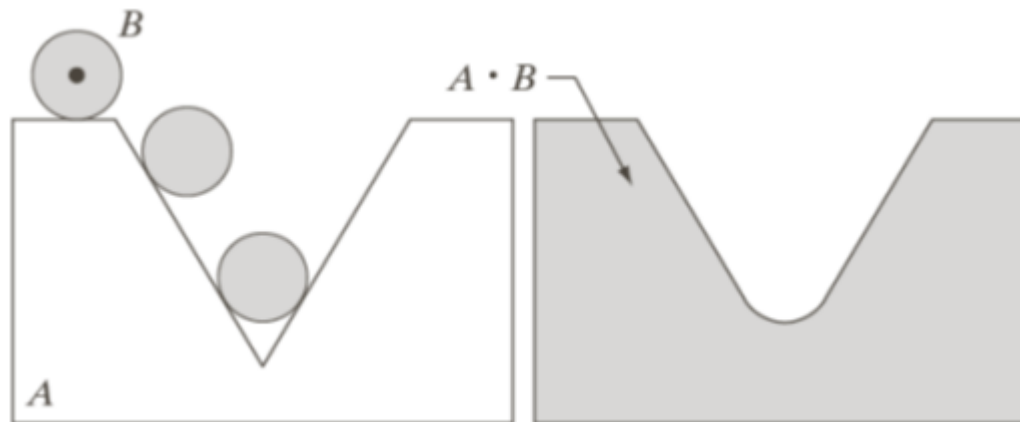
$$A \bullet K = (A \oplus K) \ominus K$$

- Si A no cambia con la clausura por K, diremos que A es **cerrado respecto a K**.

Morfología Binaria

■ CLAUSURA: Interpretación geométrica

- Si tomamos un disco como elemento estructural, la clausura tiende a suavizar las secciones de contornos pero en sentido inverso: une separaciones estrechas, elimina golfos estrechos y elimina huecos.



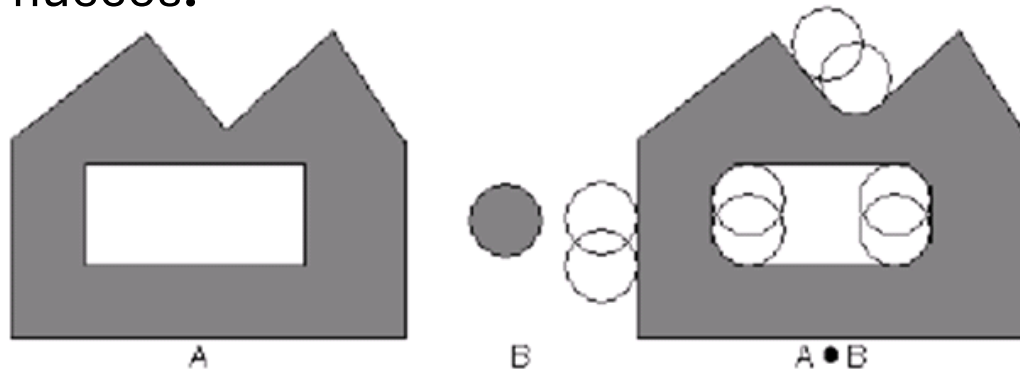
Morfología Binaria

• CLAUSURA: Propiedades

1. La clausura es extensiva: $A \subseteq A \bullet K$

2. La clausura es idempotente: $X \bullet B = (X \bullet B) \bullet B$

3. Si tomamos un disco como elemento estructural, la clausura tiende a suavizar las secciones de contornos pero en sentido inverso: une separaciones estrechas, elimina golfos estrechos y elimina huecos.



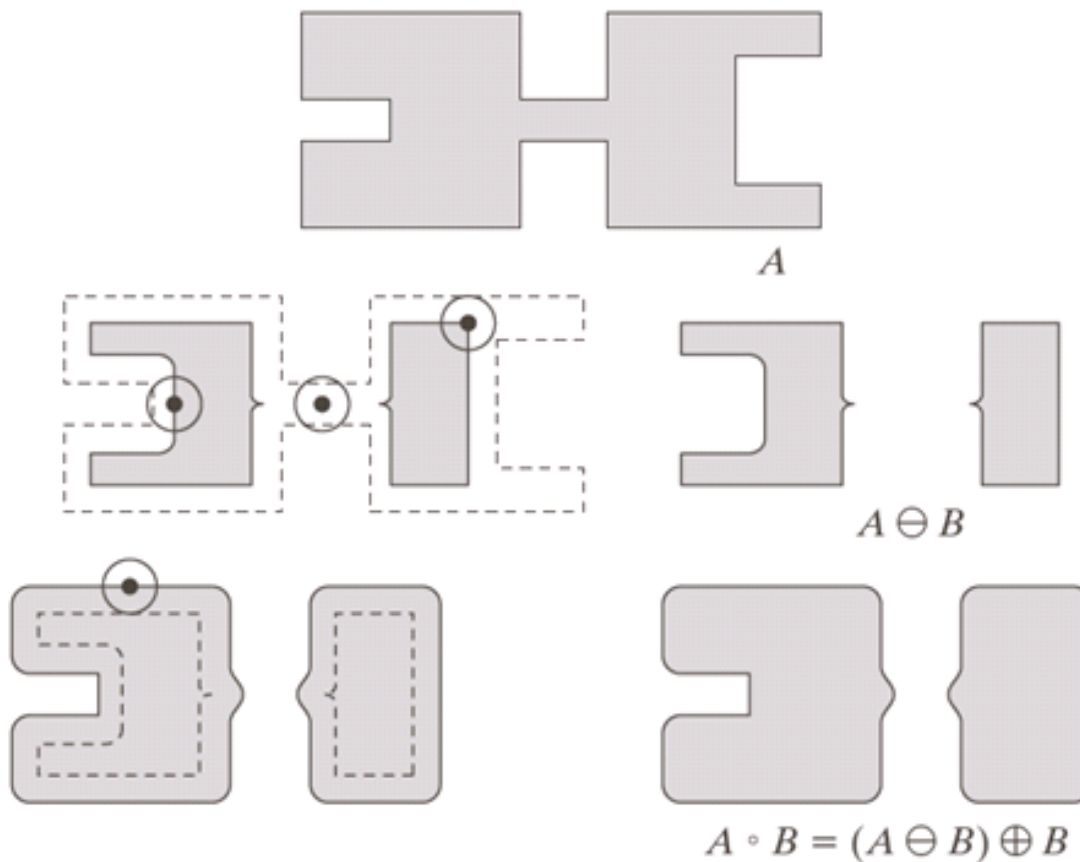
Morfología Binaria

Practica:

- Usa la función de OpenCV `morphologyEx()` con el argumento `cv.MORPH_CLOSE` para hacer clausura de una imagen.
- Define antes el elemento estructural. Averigua las opciones que da OpenCV para definirlo.
- Averigua qué ocurre si lo aplicas a una imagen en escala de grises.

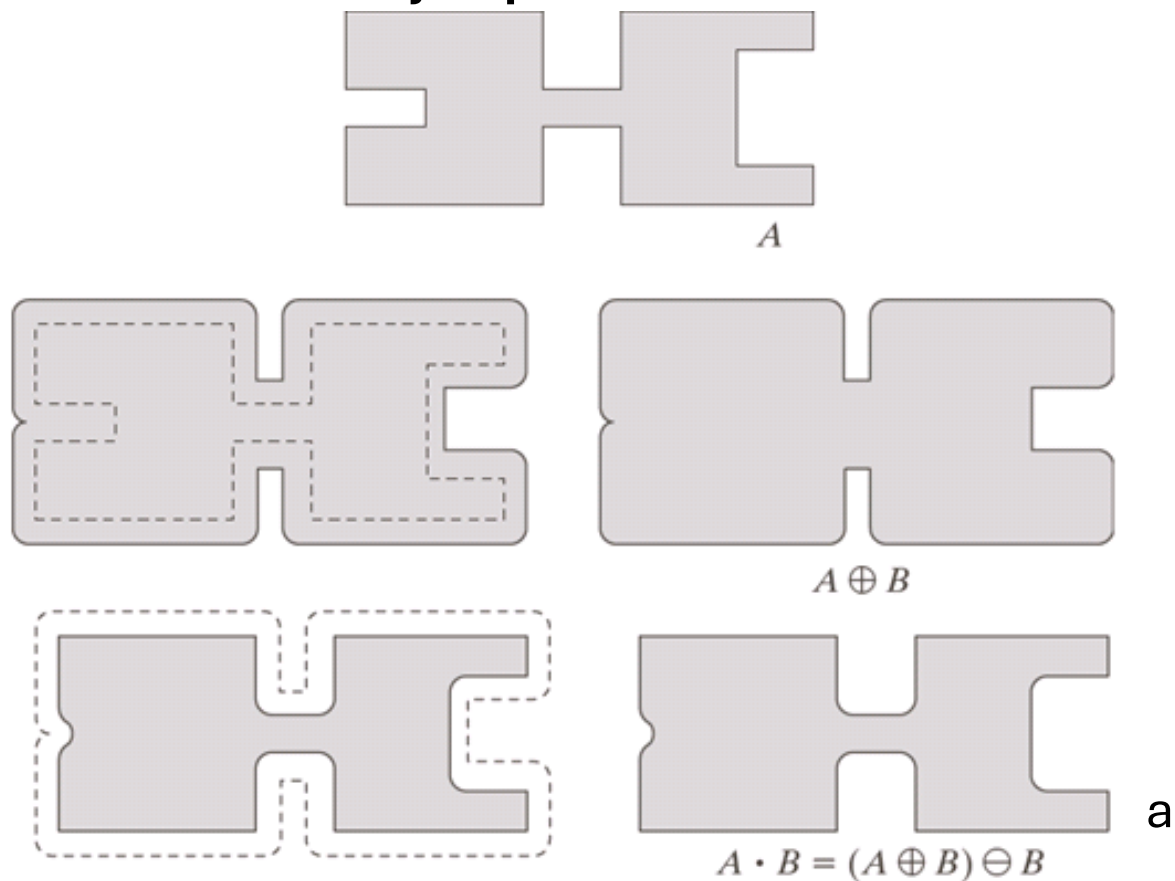
Morfología Binaria

■ APERTURA Y CLAUSURA: Ejemplo



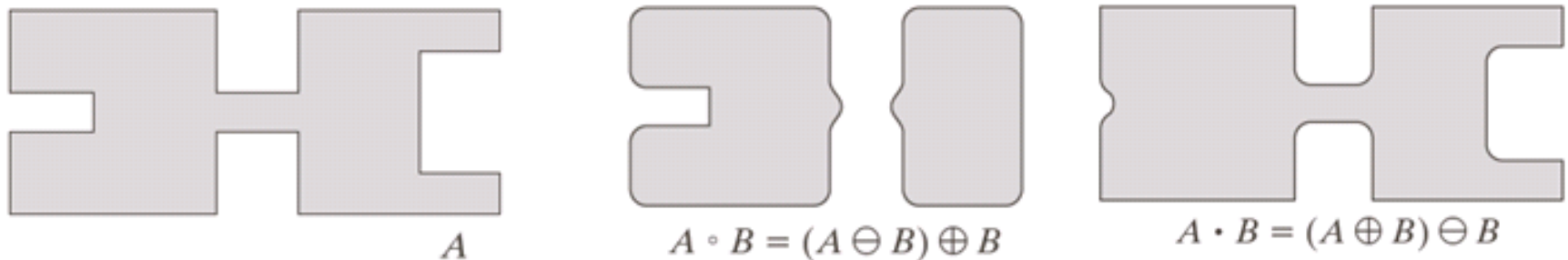
Morfología Binaria

■ APERTURA Y CLAUSURA: Ejemplo



Morfología Binaria

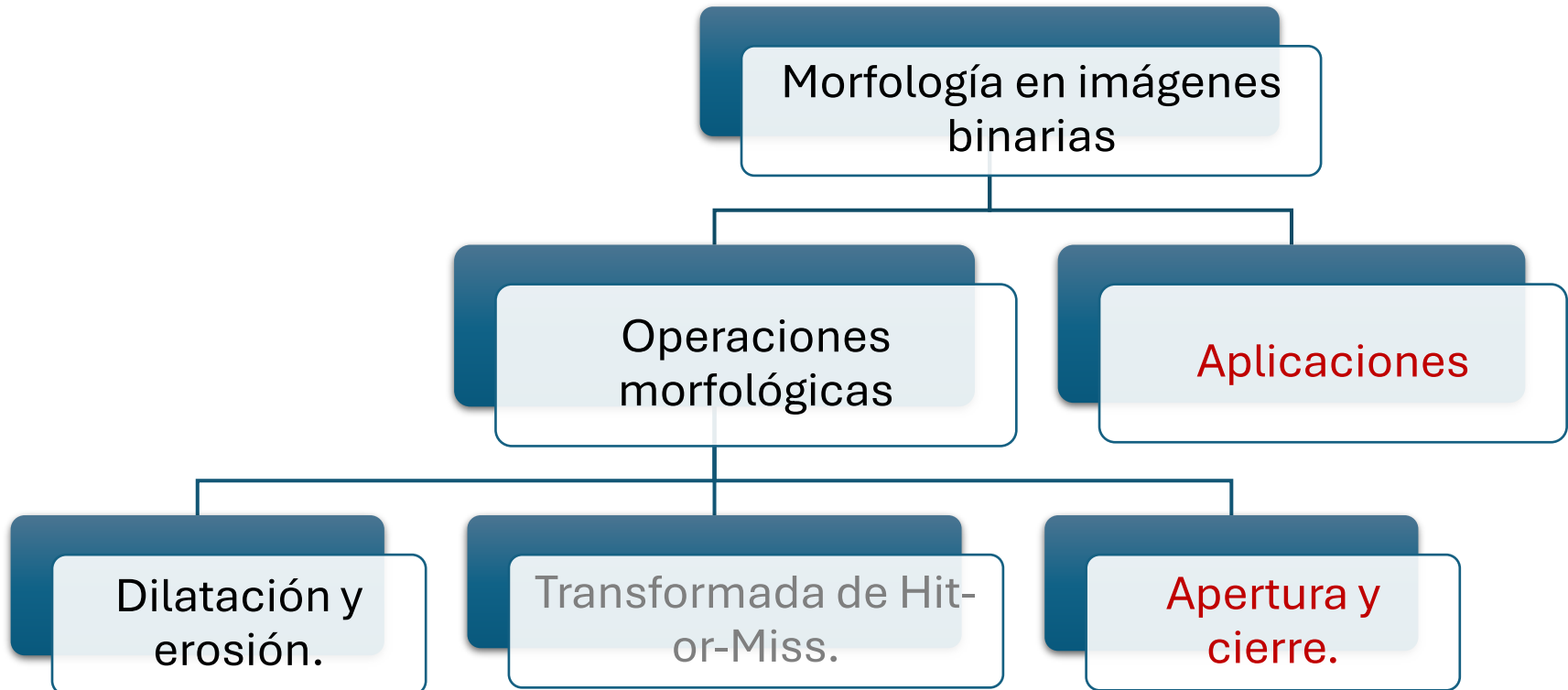
■ APERTURA Y CLAUSURA: Ejemplo



La apertura suaviza los contornos, rompe uniones estrechas entre partes de conjuntos y elimina salientes estrechos.

La clausura tiende a suavizar las secciones de contornos pero en sentido inverso: une separaciones estrechas, elimina golfos estrechos y elimina huecos.

Morfología Binaria



Morfología Binaria

■ Aplicación: FILTRO MORFOLÓGICO

- Filtro morfológico para la eliminación de ruido sal y pimienta:

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

- El elemento de estructural B debe ser físicamente mayor que todos los elementos de ruido.

Morfología Binaria



a b
d c
e f

FIGURE 9.11

(a) Noisy image.
(b) Structuring element.
(c) Eroded image.
(d) Opening of A .
(e) Dilation of the opening.
(f) Closing of the opening.
(Original image courtesy of the National Institute of Standards and Technology.)

Morfología Binaria



(+) El ruido del fondo se ha eliminado completamente al erosionar.

(-) El ruido contenido en las huella dactilar (puntos negros) aumenta de tamaño al erosionar.

Morfología Binaria



(+) Reducimos o incluso eliminamos el ruido de la huella aplicando una dilatación a la imagen erosionada (apertura).

(-) Nuevas separaciones en las huellas dactilares han sido creadas.

Morfología Binaria



(+) Los cortes de las huellas se han restaurado.

(-) Engrosamiento.

Morfología Binaria



(+) Adelgazamos la huella con la erosión de la dilatación (clausura).

Morfología Binaria



A



$(A \circ B) \cdot B$

Morfología Binaria

- **Bibliografía básica:**

R.C. González, R.E. Woods, Digital Image Processing, Pearson, 2018

Tutorial OpenCV. Operaciones morfológicas.

https://docs.opencv.org/4.x/d9/d61/tutorial_py_morphological_ops.html

Documentación de Matlab sobre Operaciones morfológicas

<https://es.mathworks.com/help/images/morphological-dilation-and-erosion.html>