

Tema 4: Procesamiento morfológico

4.1. Introducción. Elementos y terminología

4.2. Morfología para imágenes binarias

4.3. Morfología para imágenes en escala de grises

4.4. Morfología para imágenes en color

4.3. Morfología para imágenes en escala de grises

La morfología de imágenes en escala de grises (más de 2 niveles) considera una dimensión más que las imágenes binarias. Recordemos que una imagen en escala de grises se puede representar como un relieve topográfico (3D), donde la altura del relieve de cada píxel representa el nivel de intensidad correspondiente.

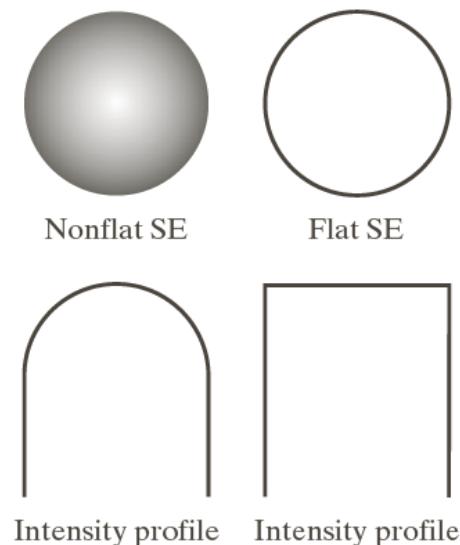


Figura tomada de *Digital Image Processing*, 3rd Ed- Gozález & Woods.

El papel del EE es el mismo que en el caso de imágenes binarias: se usan como “sondas” para examinar la imagen y determinar si se cumplen o no determinados criterios.

En morfología en escala de grises, el EE puede ser plano o no plano:

- EE plano (*flat SE*) \Rightarrow el EE tiene el mismo valor (“1” ó “0”) en todos los elementos. Se habla de Morfología Plana.
- EE no plano (*nonflat SE*) \Rightarrow caso contrario. Se habla de Morfología No Plana.

Conviene no olvidar que las implementaciones digitales se basan en aproximaciones.

4.3. Morfología para imágenes en escala de grises

Matlab hace uso del comando `strel` para crear los EE

Flat Structuring Elements	
'arbitrary'	'pair'
'diamond'	'periodicline'
'disk'	'rectangle'
'line'	'square'
'octagon'	

Nonflat Structuring Elements	
'arbitrary'	'ball'

`SE = strel('arbitrary', NHOOD, HEIGHT)` creates a nonflat structuring element, where `NHOOD` specifies the neighborhood. `HEIGHT` is a matrix the same size as `NHOOD` containing the height values associated with each nonzero element of `NHOOD`. You can also omit the '`arbitrary`' string and just use `strel(NHOOD,HEIGHT)`.

```
se = strel('line',5,0)
isflat(se) => 1
```

1 1 1 1 1

```
sel = strel([1 1 1 1 1], [1 1 1 1 1])
isflat(sel) => 0
```

```
se2 = strel([1 1 1 1 1], 2*[1 1 1 1 1])
isflat(se2) => 0
```

2 2 2

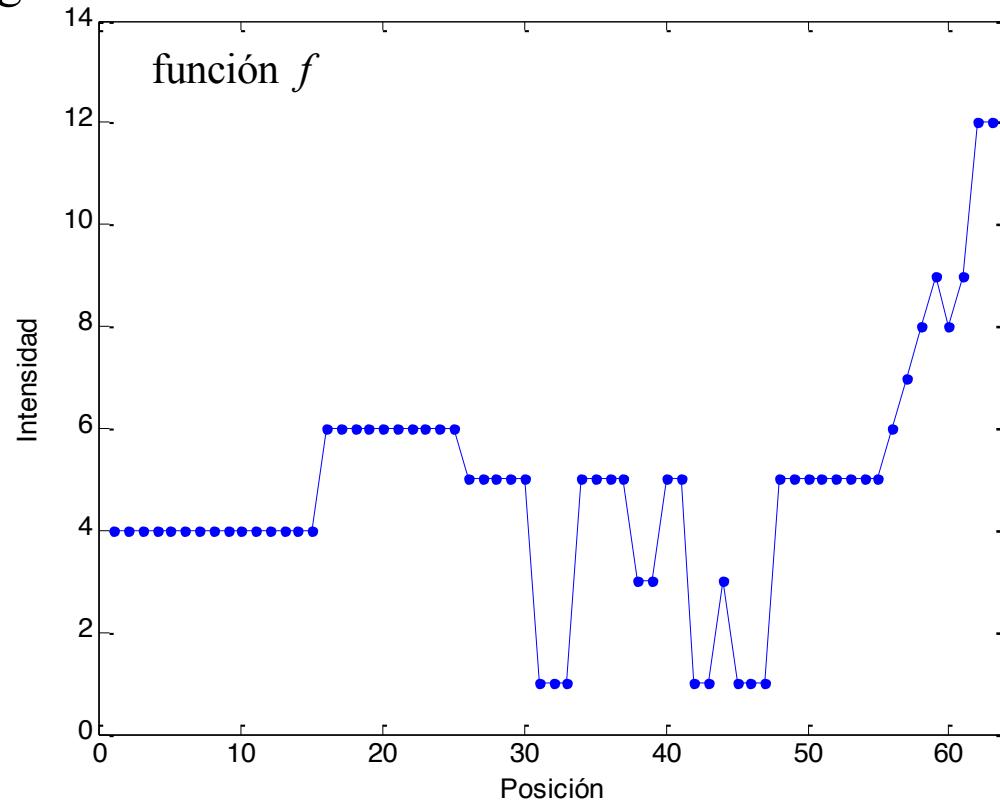
```
se3 = strel([1 1 1 1 1], [0 1 2 1 0])
isflat(se3) => 0
```

0 1 2

4.3. Morfología para imágenes en escala de grises

Por simplicidad en la interpretación, comenzamos con el caso en que el dominio es 1-D. Trabajaremos por tanto con funciones 1-D con valores reales (que denominaremos como f). La extensión a funciones 2-D (imágenes en escala de grises) es directa.

A no ser que se indique lo contrario, trabajaremos también con EE simétricos respecto al origen.

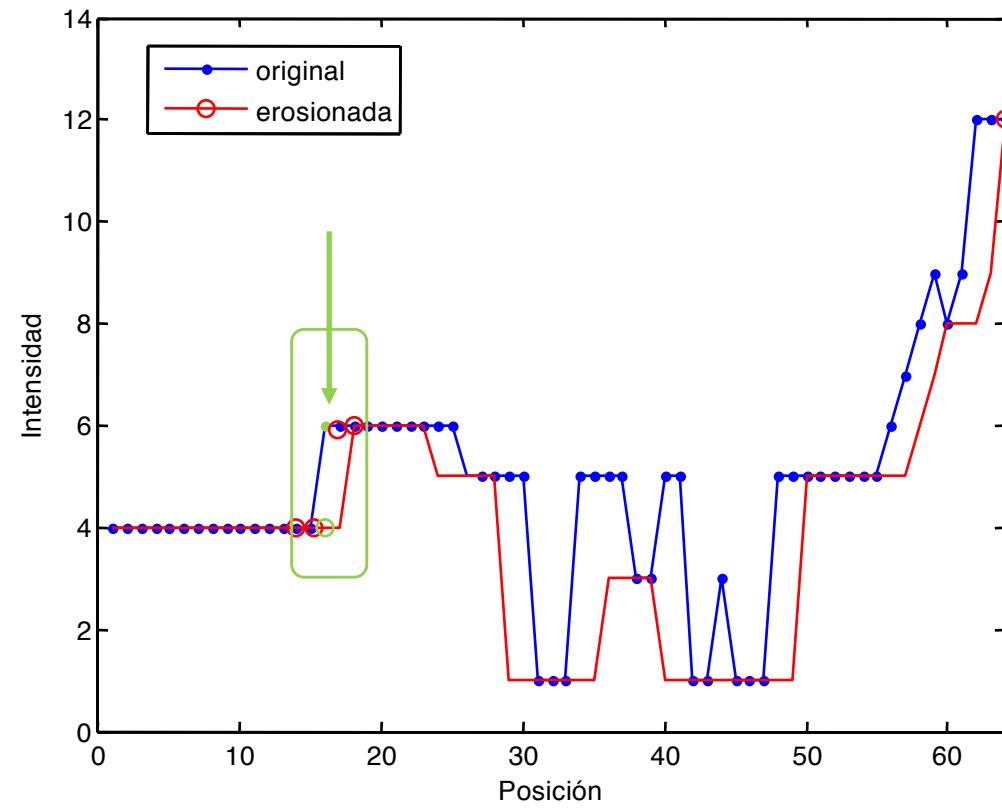


4.3. Erosión por un EE plano

$$(f \ominus b)(x,y) = \min_{(s,t) \in b} \{ f(x+s,y+t) \}$$

```
b = strel('line',5,0);
% EE plano
```

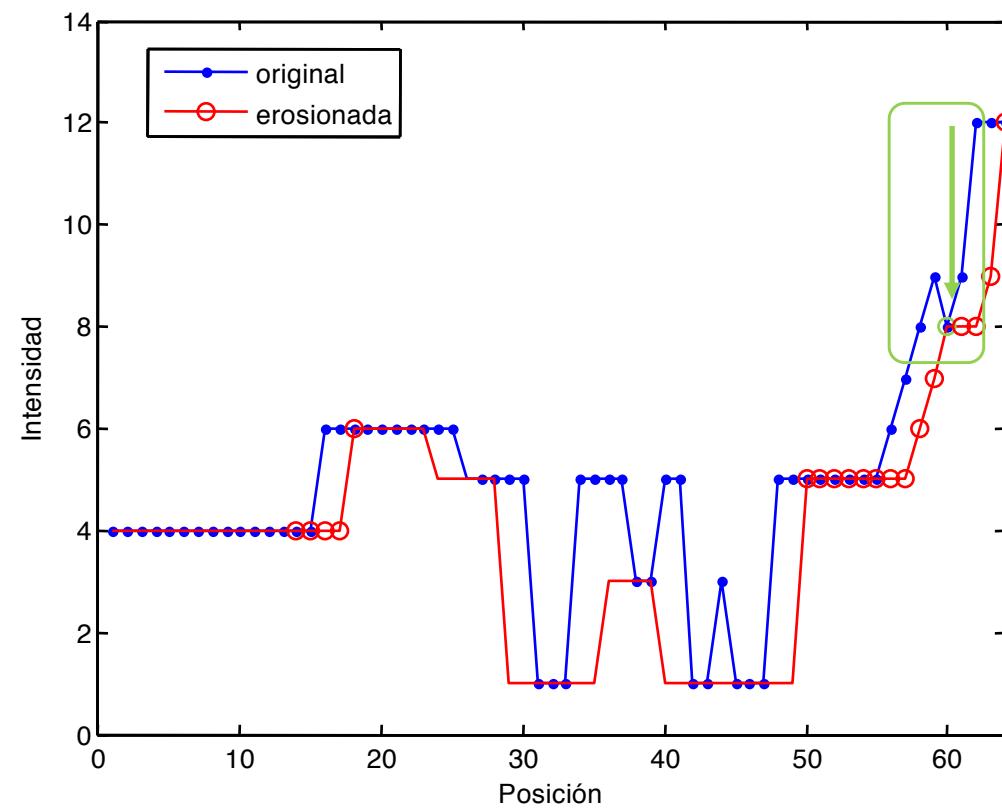
$F=[4,4,6,6,6,]$



4.3. Erosión por un EE plano

$$(f \ominus b)(x,y) = \min_{(s,t) \in b} \{ f(x+s,y+t) \}$$

```
b = strel('line',5,0);
% EE plano
```

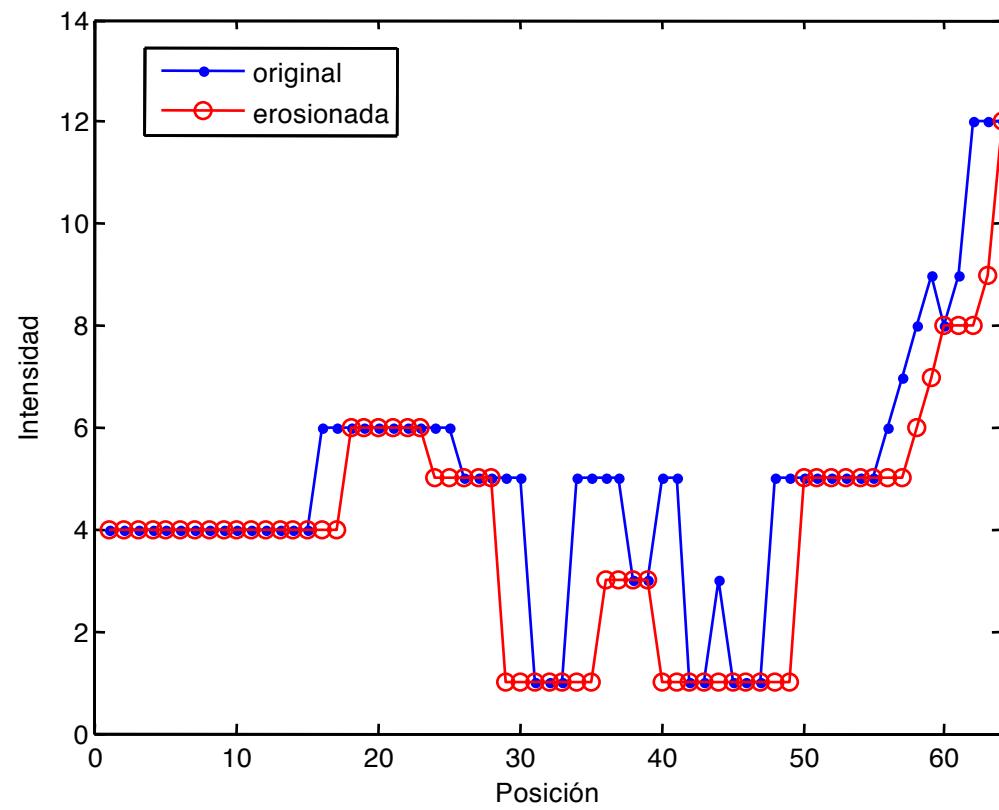


4.3. Erosión por un EE plano

La erosión de una función f por un EE plano b en un punto de coordenadas (x,y) se define como el mínimo valor de f en la región coincidente con b cuando el origen de b se sitúa en el punto de coordenadas (x,y)

$$(f \ominus b)(x,y) = \min_{(s,t) \in b} \{ f(x+s,y+t) \}$$

```
b = strel('line',5,0);
% EE plano
```

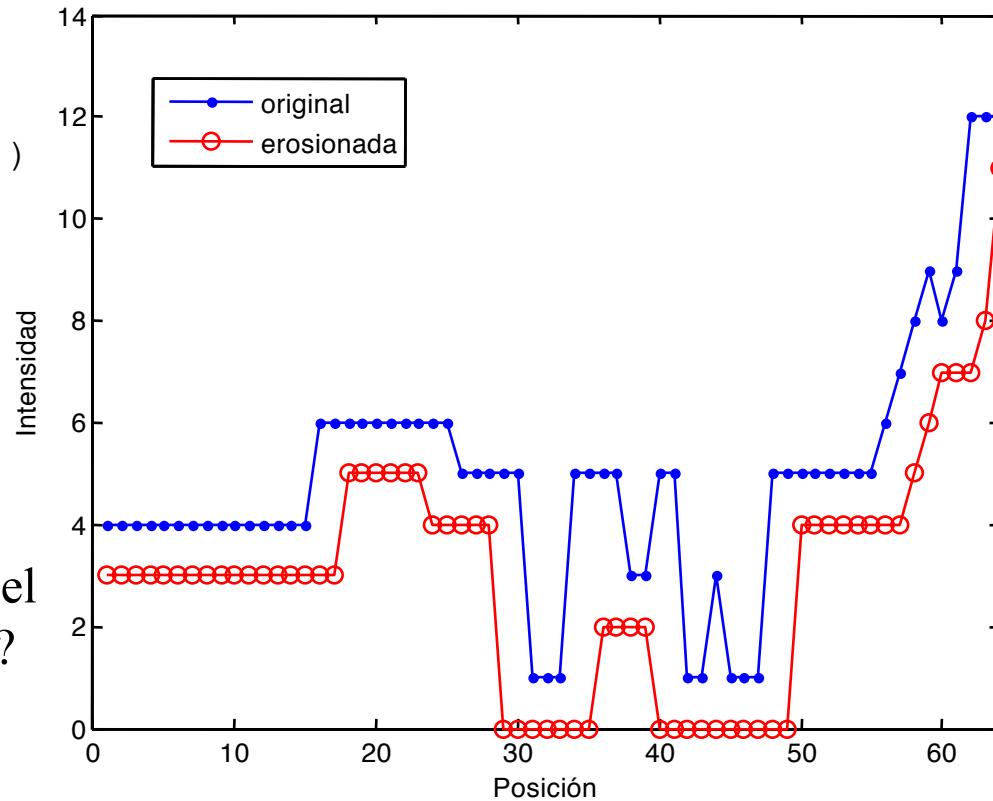


4.3. Erosión por un EE no plano

La erosión de una función f por un EE no plano b_N en un punto de coordenadas (x,y) se define como

$$(f \ominus b_N)(x,y) = \min_{(s,t) \in b_N} \{ f(x+s,y+t) - b_N(s,t) \}$$

```
bN=strel([1 1 1 1 1], [1 1 1 1 1])
% EE no plano
```



¿Qué relación hay entre este perfil y el obtenido en la transparencia anterior?

Al contrario de lo que sucede con los EE planos, en general la erosión usando un EE no plano no está limitada por los valores de f .

4.3. Erosión por un EE no plano

La erosión de una función f por un EE no plano b_N en un punto de coordenadas (x,y) se define como

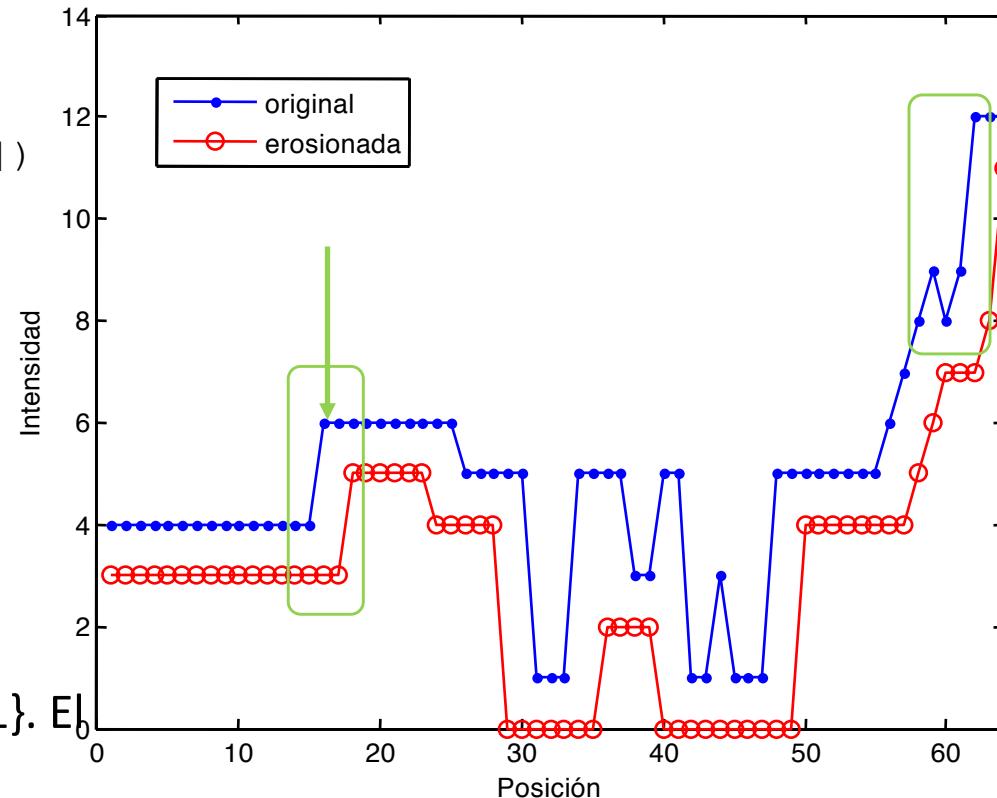
$$(f \ominus b_N)(x,y) = \min_{(s,t) \in b_N} \{ f(x+s,y+t) - b_N(s,t) \}$$

```
bN=strel([1 1 1 1 1], [1 1 1 1 1])
```

% EE no plano

{4-1,4-1, 6-1, 6-1, 6-1}

{8-1, 9-1, 8-1, 9-1,12-1} = {7,8,7,8,11}. El mínimo sería 7



4.3. Erosión por un EE no plano

Considerando otros EE no planos ...

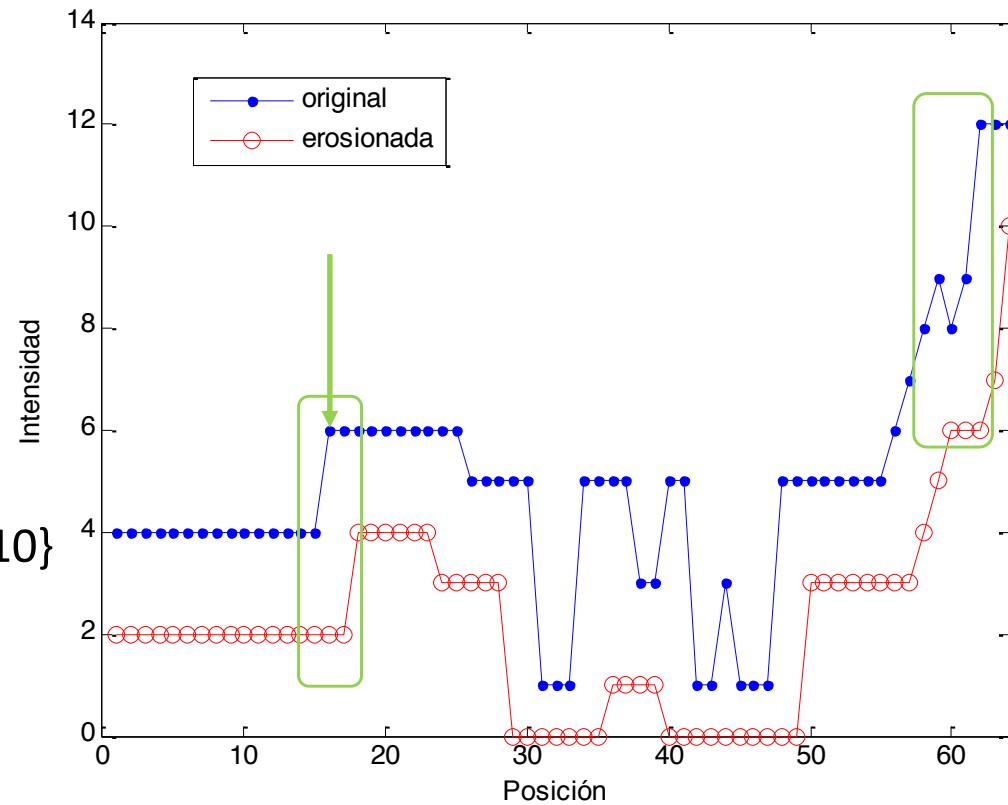
```
bN=strel([1 1 1 1 1],[2 2 2 2 2])
```

% EE no plano

```
f ero de_bN = imerode(f,bN);
```

{2,2,4,4,5}.

{8-2, 9-2, 8-2, 9-2, 12-2} = {6,7,6,7,10}



Si las funciones origen y destino son de tipo `uint8`, no pueden tomar valores negativos y saturan en cero \Rightarrow eso modifica la estructura geométrica resultante.

4.3. Erosión por un EE no plano

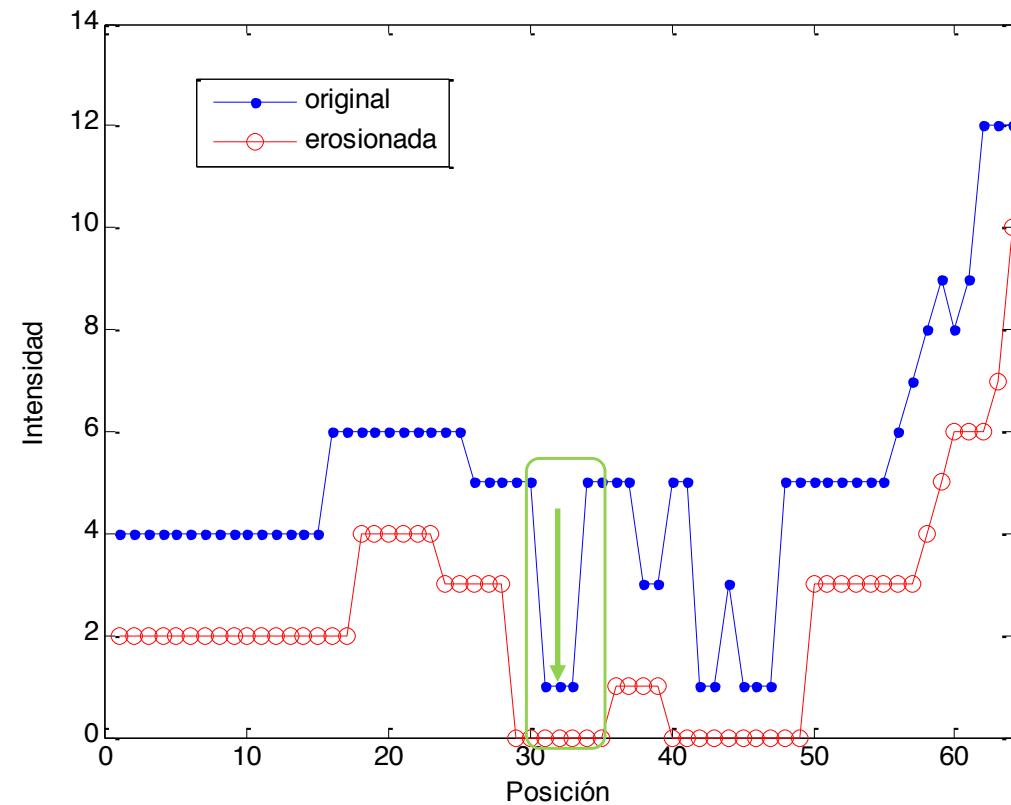
Considerando otros EE no planos ...

```
bN=strel([1 1 1 1 1], [2 2 2 2 2])
```

% EE no plano

```
ferode_bN = imerode(f,bN);
```

{5-2,1-2, 1-2, 1-2, 5-2},



Si las funciones origen y destino son de tipo `uint8`, no pueden tomar valores negativos y saturan en cero \Rightarrow eso modifica la estructura geométrica resultante.

4.3. Erosión por un EE no plano

Considerando otros EE no planos ...

```
bN=strel([1 1 1 1 1], [0 1 2 1 0])
```

% EE no plano

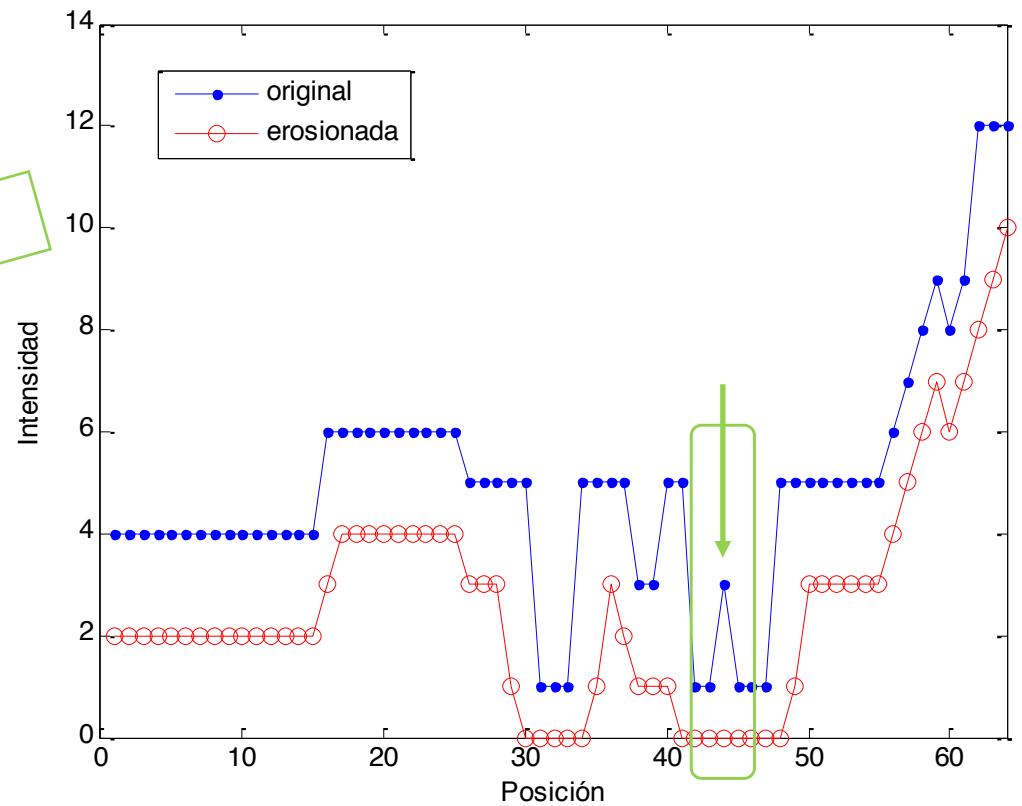
```
f eroode_bN = imerode(f, bN);
```

$$F = [1 \ 1 \ 3 \ 1 \ 1]$$

$$bN=[0 \ 1 \ 2 \ 1 \ 0]$$

$$(f - b_N)(x,y) = \min \{ f(x+s,y+t) - b_N(s,t) \}$$

$[1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0] \Rightarrow$ mínimo, sale 0



4.3. Erosión por un EE no plano

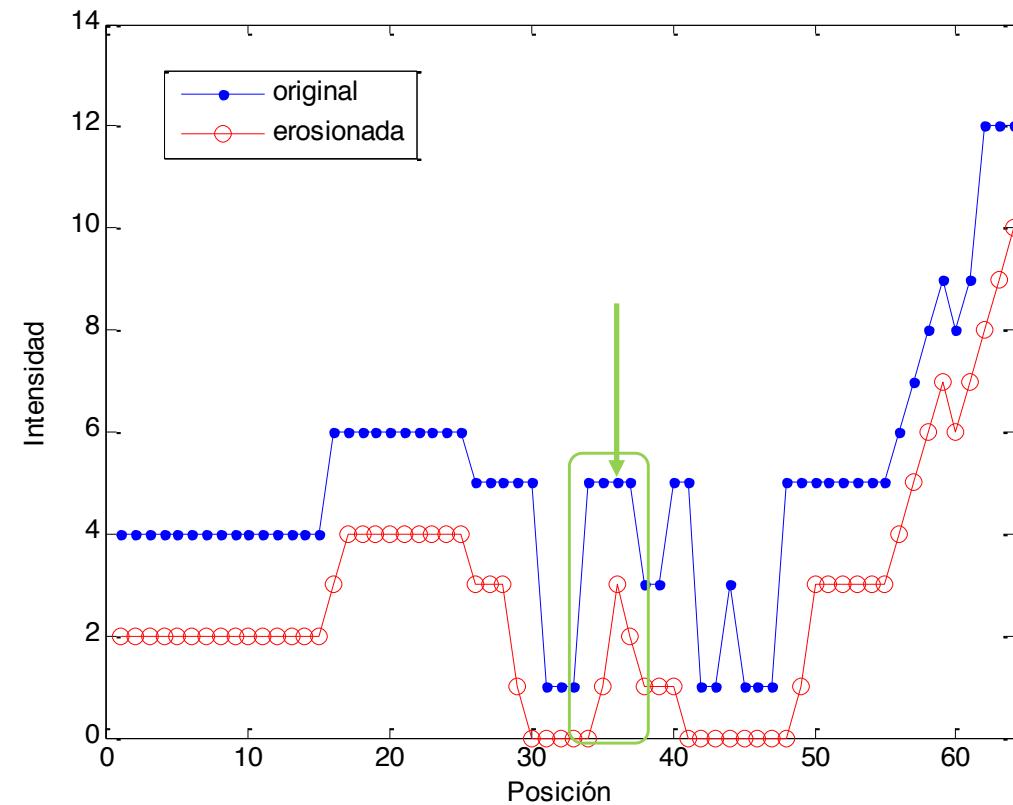
Considerando otros EE no planos ...

```
bN=strel([1 1 1 1 1], [0 1 2 1 0])
```

% EE no plano

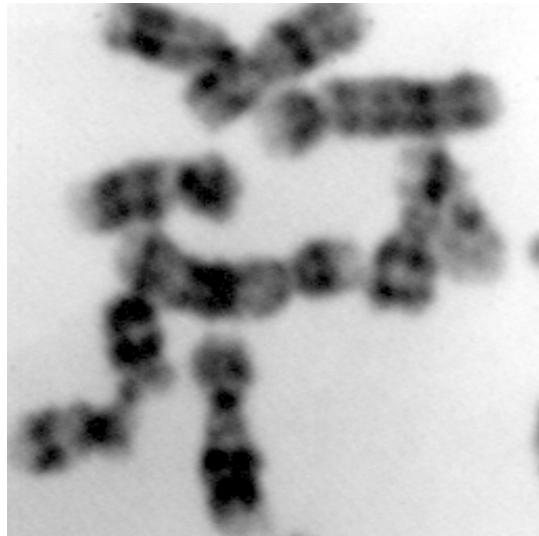
```
f ero de _ bN = imerode(f, bN);
```

¿Puede estar la función erosionada “por encima” de la original?

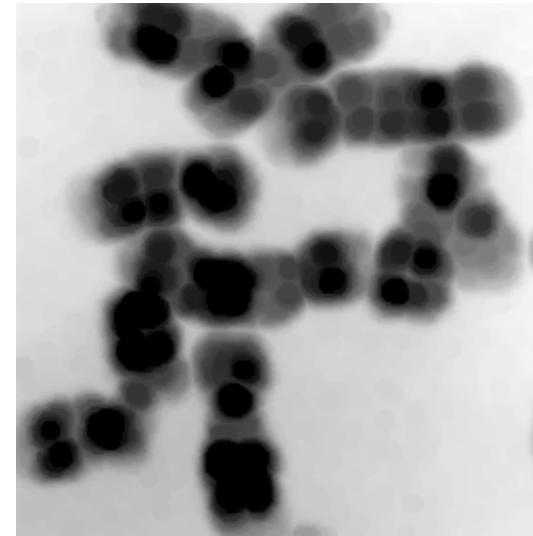


4.3. Erosión de una imagen de grises

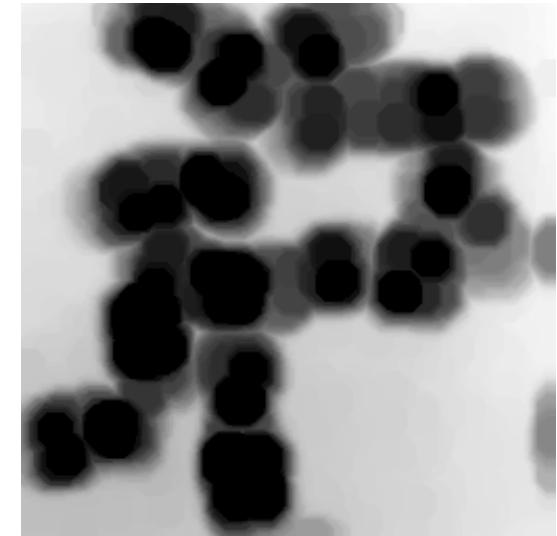
Imagen I



`se=strel('disk',5)`



`se_bis=strel('disk',9)`

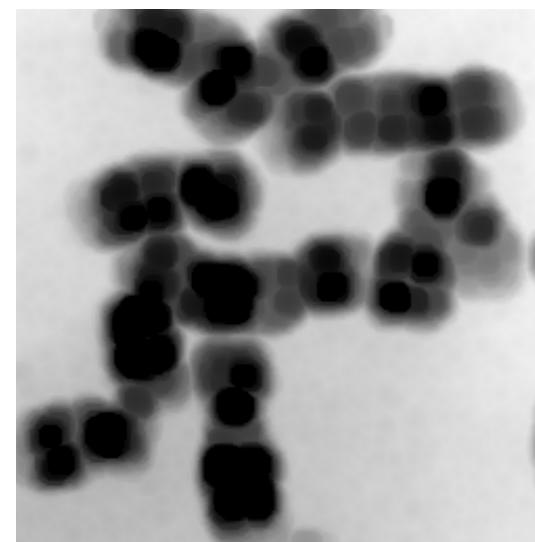


En general: `imerode(I,se...)`

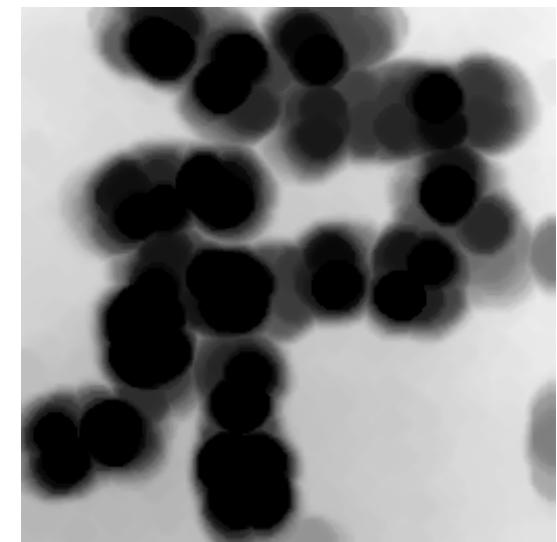
- la imagen erosionada tiene menor intensidad (es más oscura) que la imagen original
- el tamaño de las características brillantes se reduce
- el tamaño de las características oscuras aumenta

Máximos valores: `244`,
`247`, `252` y `253`

`se1=strel('ball',5,11)`



`se1_bis=strel('ball',9,11)`

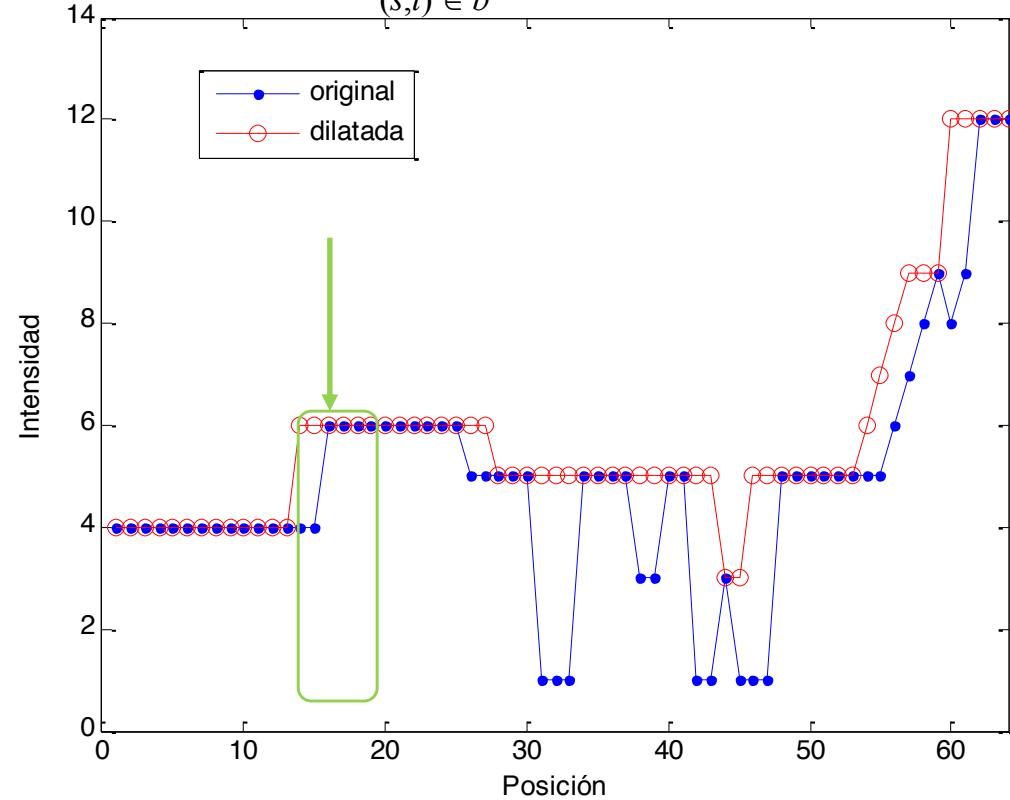


4.3. Dilatación por un EE plano

La dilatación de una función f por un EE plano b en un punto de coordenadas (x,y) se define como el máximo valor de f en la región coincidente con \hat{b} cuando el origen de \hat{b} se sitúa en el punto de coordenadas (x,y)

```
b = strel('line',5,0);
% EE plano
```

$$(f \oplus b)(x,y) = \max_{(s,t) \in b} \{ f(x-s,y-t) \}$$



Para encontrar la dilatación de f por b se sitúa el origen del EE reflejado en cada punto de f y se determina el máximo valor de f en la región coincidente con \hat{b} .

4.3. Dilatación por un EE no plano

La dilatación de una función f por un EE no plano b_N en un punto de coordenadas (x,y) se define como

$$(f \oplus b_N)(x,y) = \max_{(s,t) \in b_N} \{ f(x-s,y-t) + b_N(s,t) \}$$

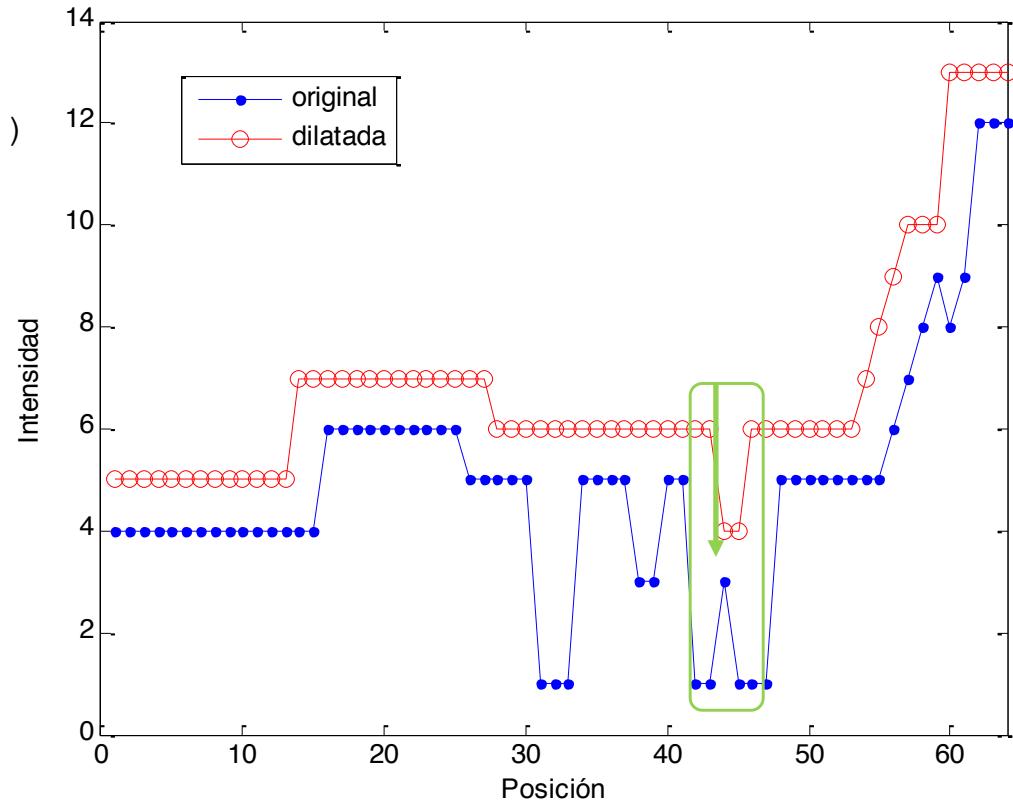
```
bN=strel([1 1 1 1 1], [1 1 1 1 1])
```

% EE no plano

F = [1 1 3 1 1]

bN=[1 1 1 1 1]

[2 2 4 2 2]



Al contrario de lo que sucede con los EE planos, en general la dilatación usando un EE no plano no está limitada por los valores de f .

4.3. Dilatación por un EE no plano

Considerando otros EE no planos ...

```
bN=strel([1 1 1 1 1], [2 2 2 2 2])
```

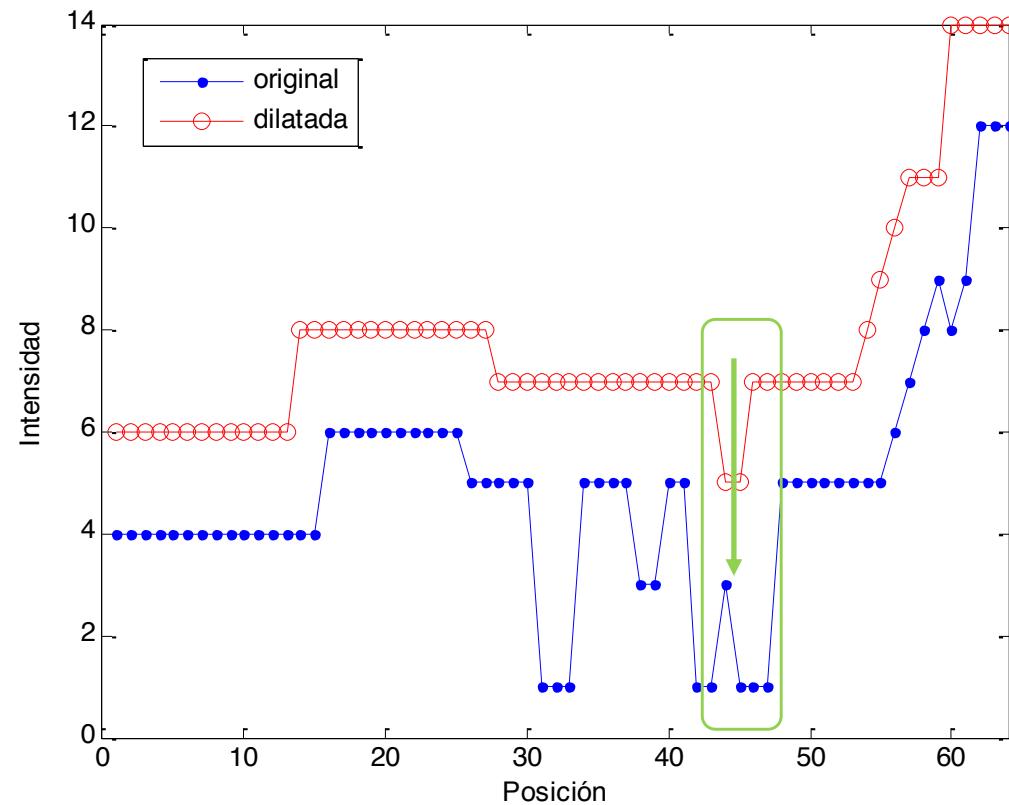
% EE no plano

```
f_dilate_bN = imdilate(f, bN);
```

$$F = [1 \ 1 \ 3 \ 1 \ 1]$$

$$bN=[2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2]$$

$$[3 \ 3 \ 5 \ 3 \ 3]$$



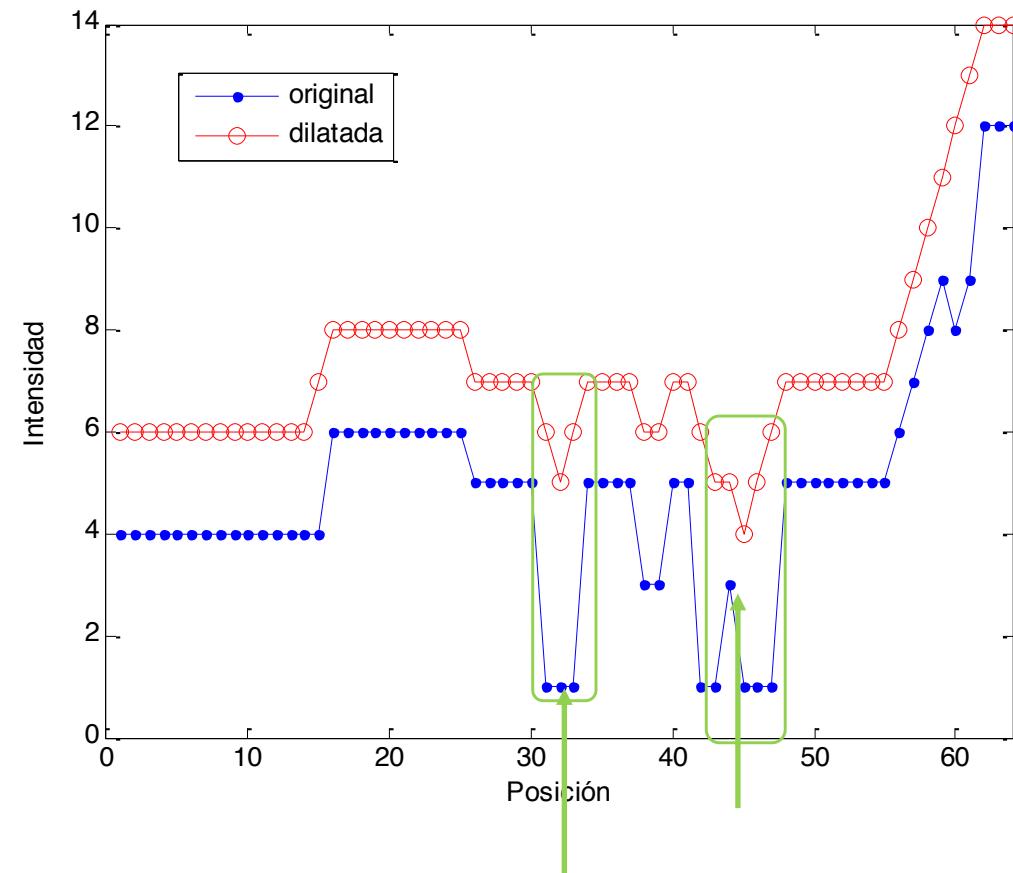
4.3. Dilatación por un EE no plano

Considerando otros EE no planos ...

```
bN=strel([1 1 1 1 1], [0 1 2 1 0])
```

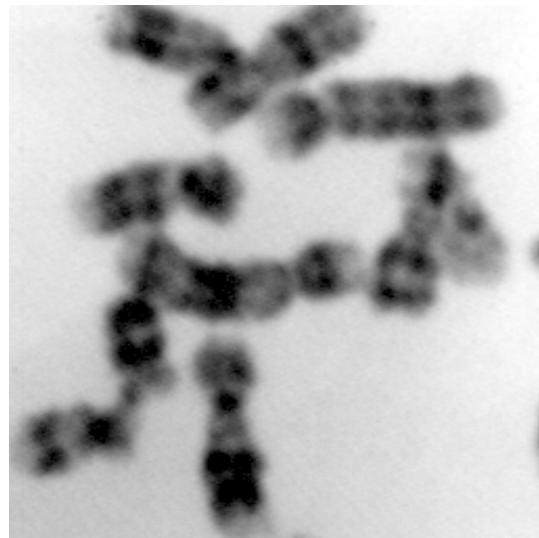
```
% EE no plano
```

```
f_dilate_bN = imdilate(f, bN);
```



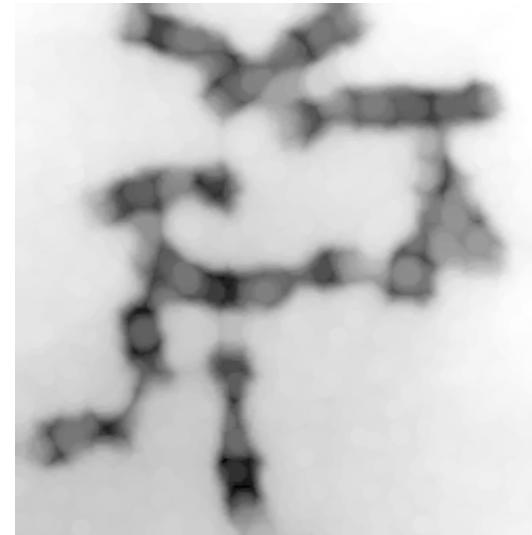
4.3. Dilatación de una imagen de grises

Imagen I

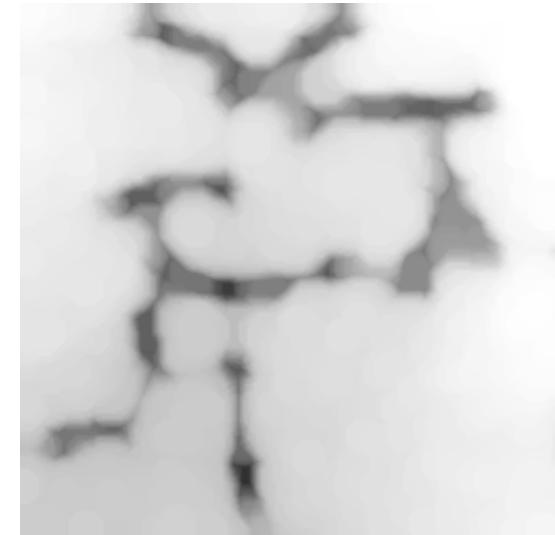


```
imdilate(I,se...)
```

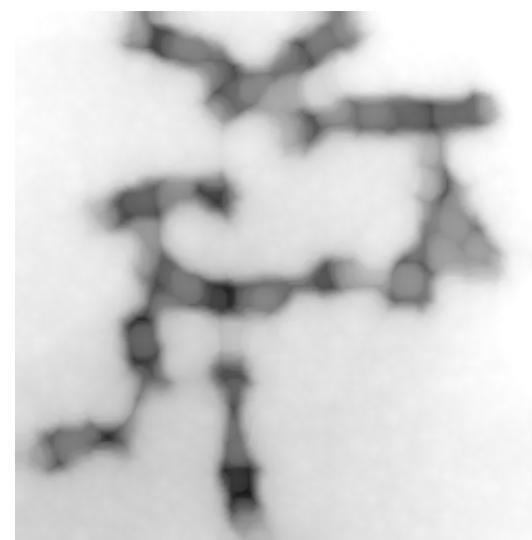
```
se=strel('disk',5)
```



```
se_bis=strel('disk',9)
```



```
se1=strel('ball',5,11)
```



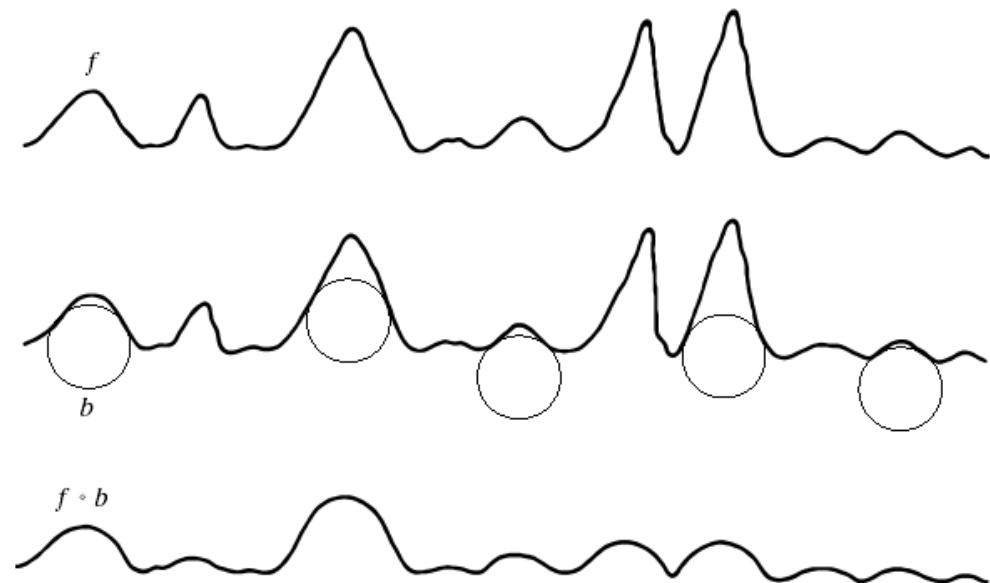
```
se1_bis=strel('ball',9,11)
```



4.3. Apertura con un EE plano

Las definiciones de apertura y cierre se realizan a partir de la composición de la erosión y dilatación (al igual que en el caso binario).

Interpretación geométrica



Apertura (*Opening*)



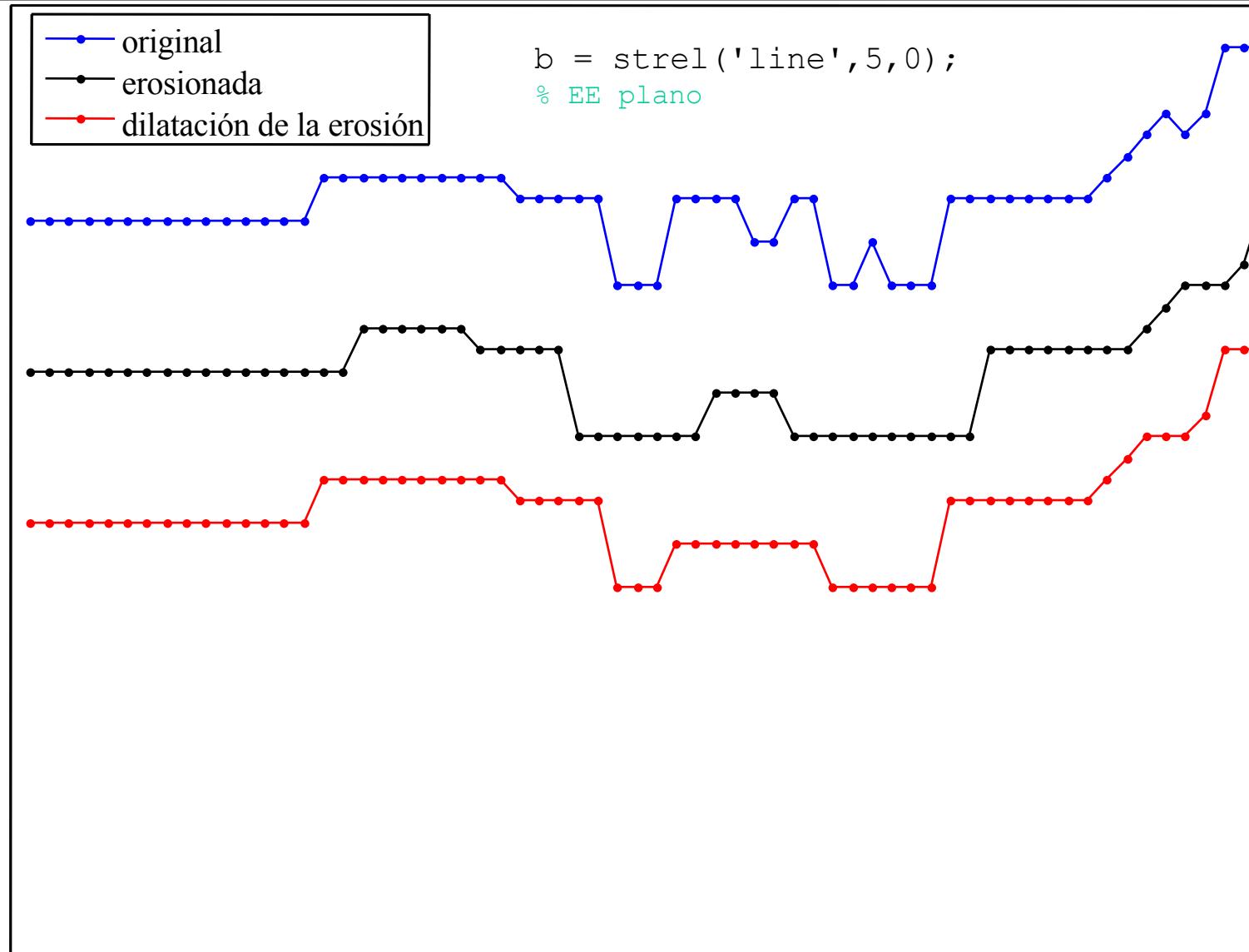
Erosión seguida de una dilatación

La apertura elimina *picos positivos* más estrechos que el EE.

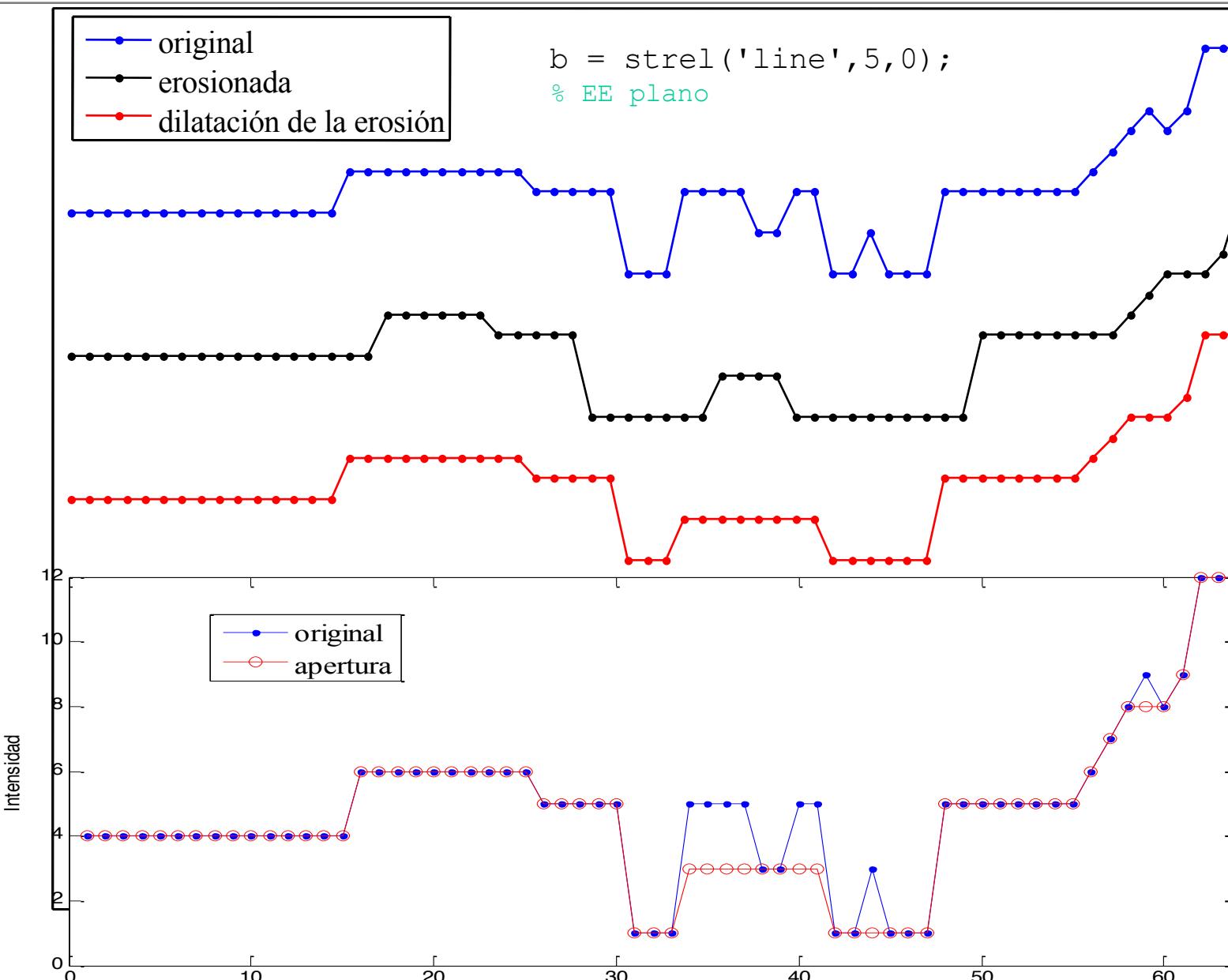
En general, la apertura se usa para eliminar detalles pequeños y brillantes.

Figura tomada de *Digital Image Processing*, 3rd Ed- Gozález & Woods.

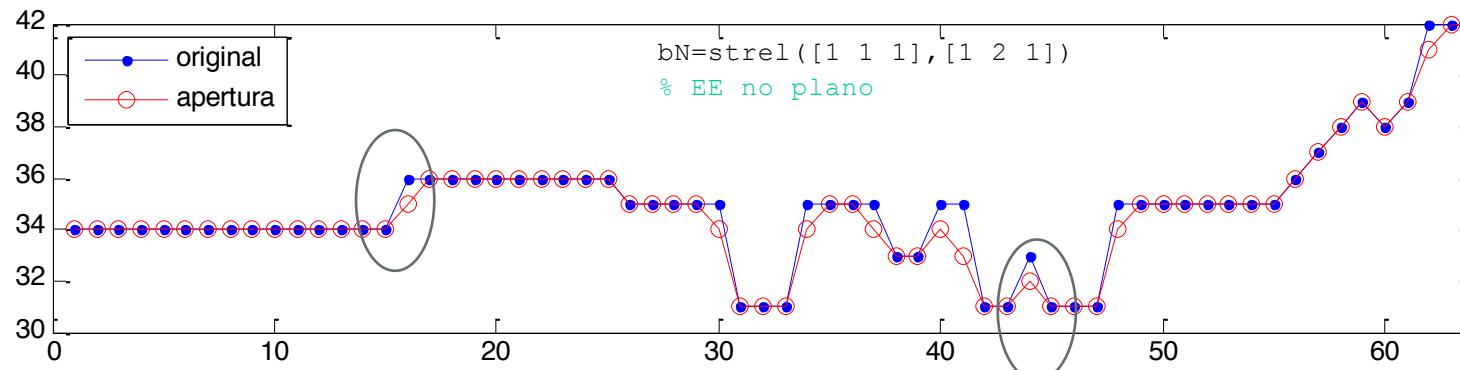
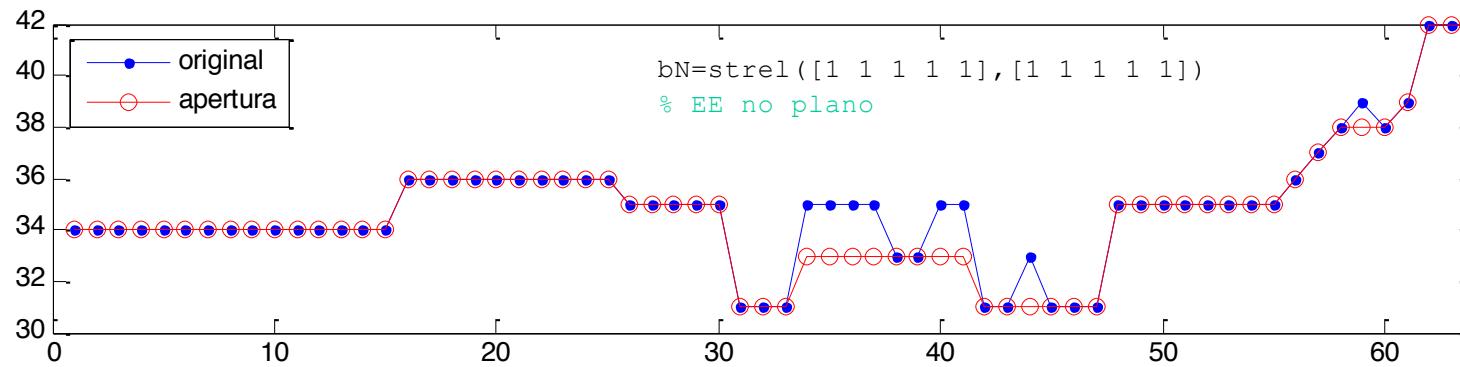
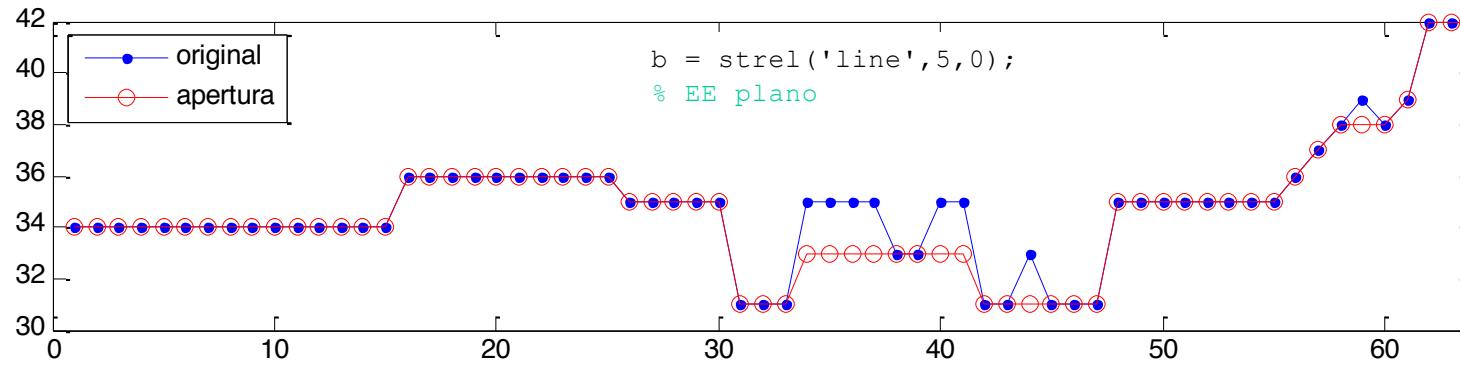
4.3. Apertura con un EE plano



4.3. Apertura con un EE plano

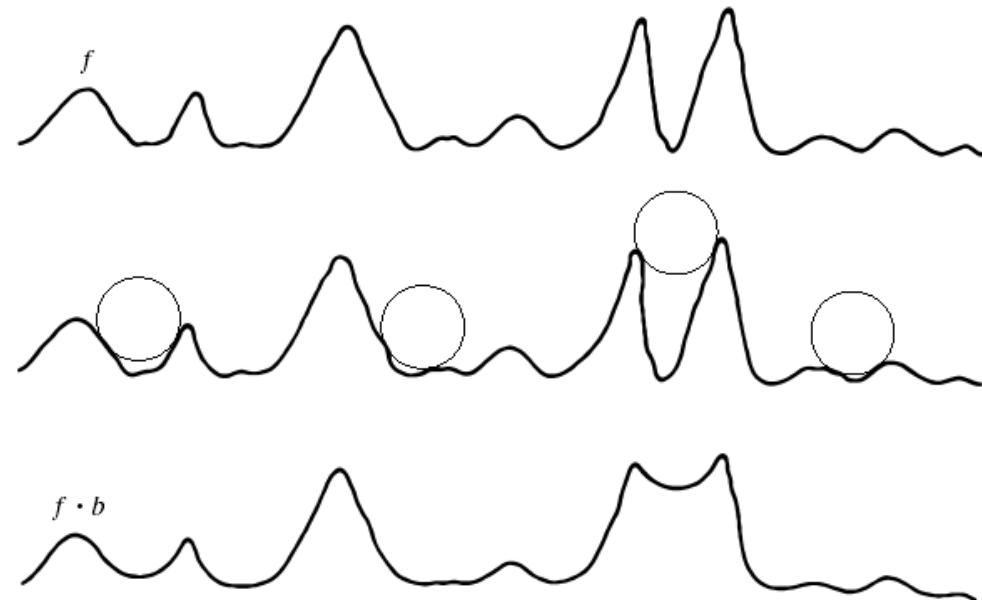


4.3. Comparativa de aperturas con EE no plano/plano



4.3. Cierre con un EE plano

Interpretación geométrica



Cierre (*Closing*)



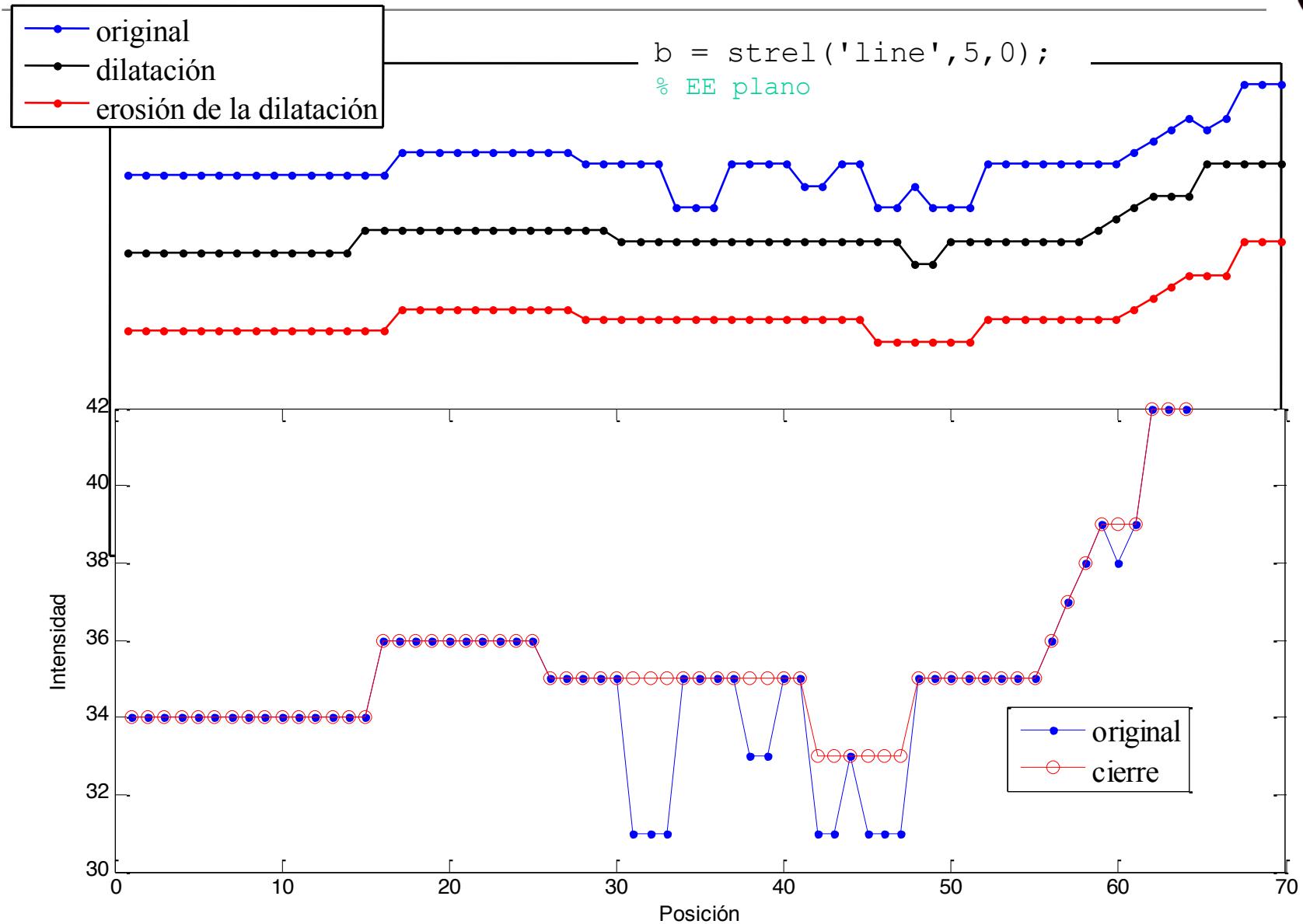
Dilatación seguida de una erosión

El cierre elimina (rellenando) los *picos negativos* por donde el EE “no puede pasar”.

Figura tomada de *Digital Image Processing*, 3rd Ed- Gozález & Woods.

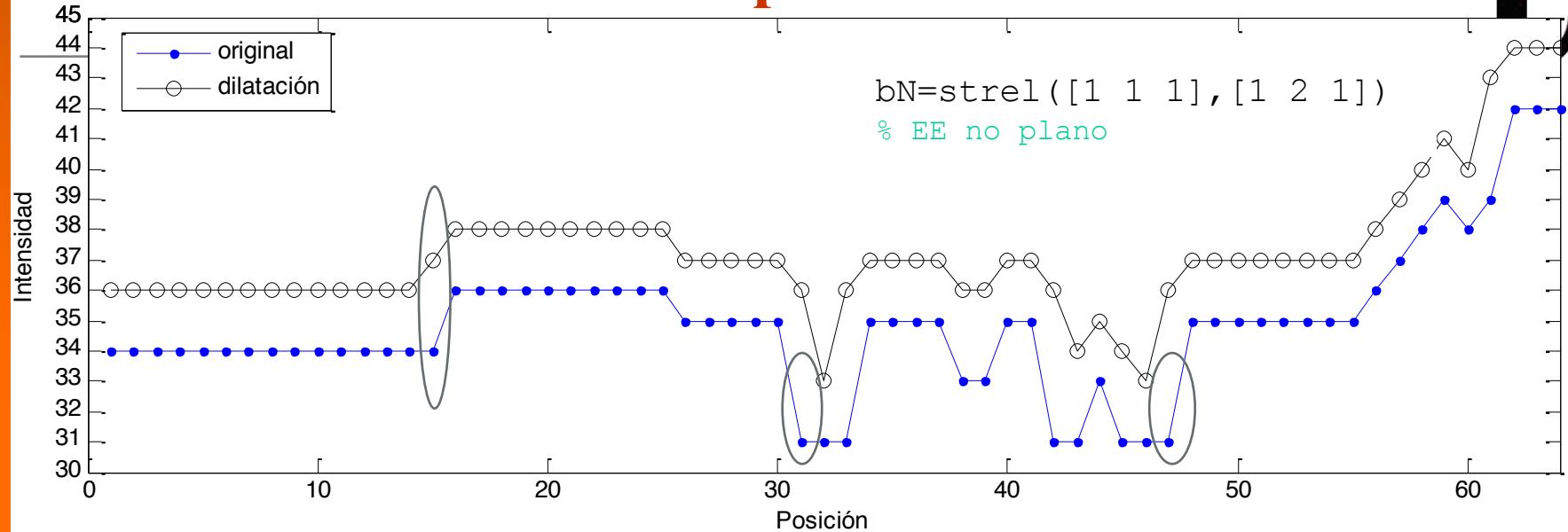
Apertura y cierre simplifican las imágenes (equivalentes a un filtro paso bajo no lineal), tanto en imágenes binarias como en escala de grises.

4.3. Cierre con un EE plano

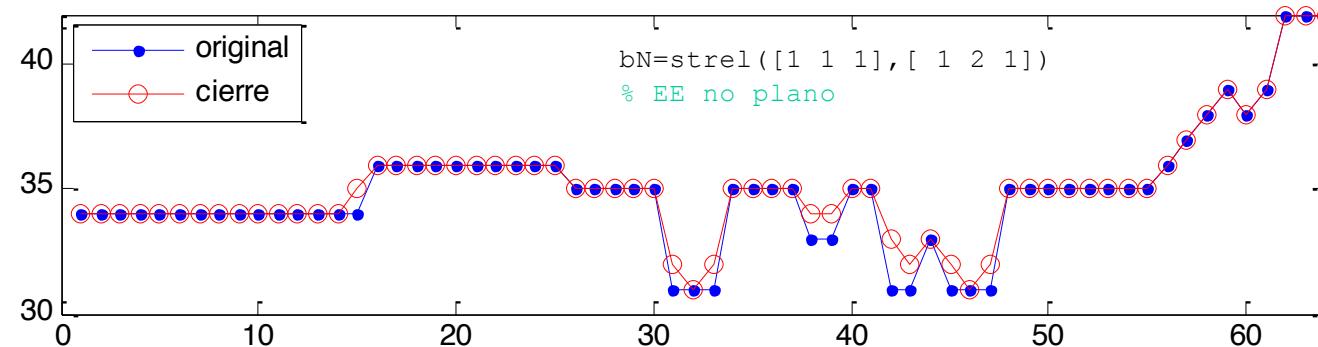
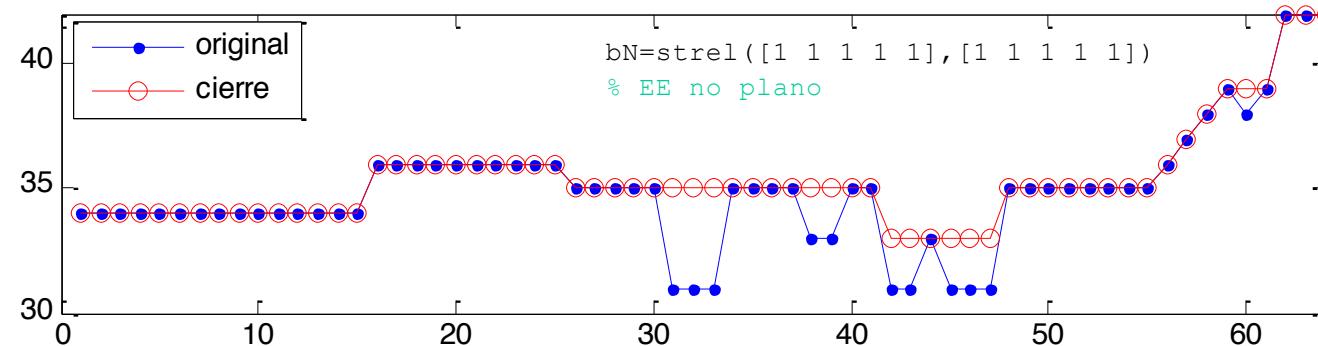
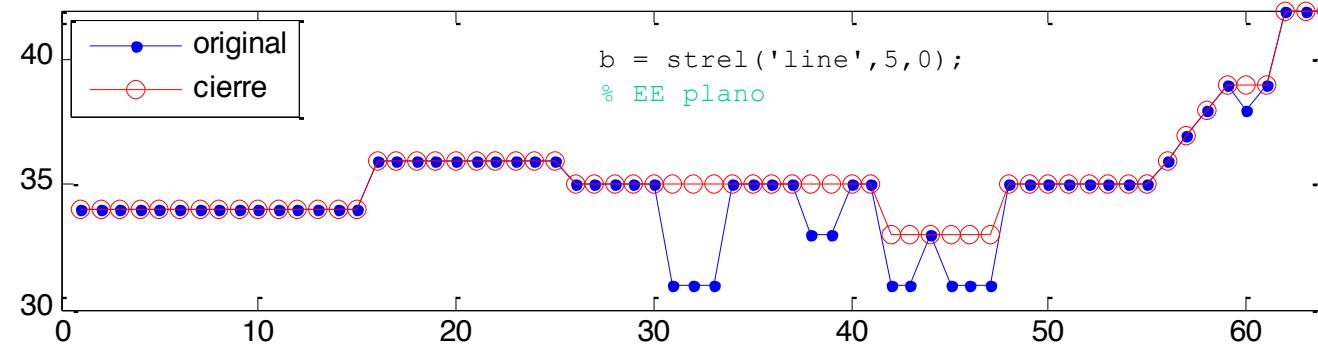




4.3. Cierre con un EE no plano



4.3. Comparativa de cierres con EE plano/no plano

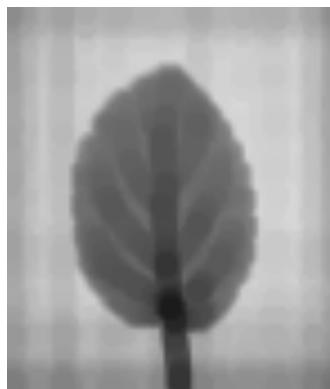


4.3. Morfología plana con EE disco de radio 5

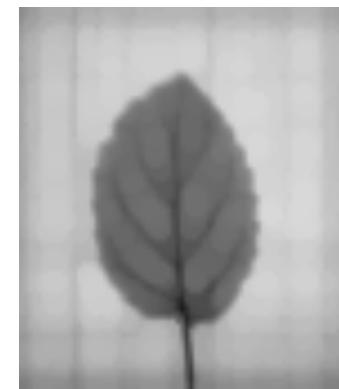
Ejercicio: Indicar qué imagen corresponde a erosión, dilatación, apertura y cierre. Se ha utilizado un EE plano (disco de radio 5)



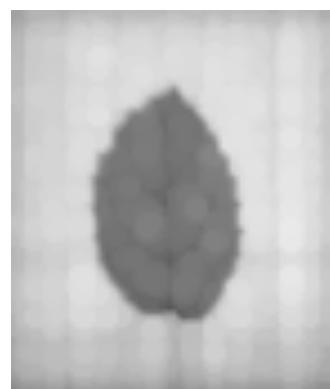
original



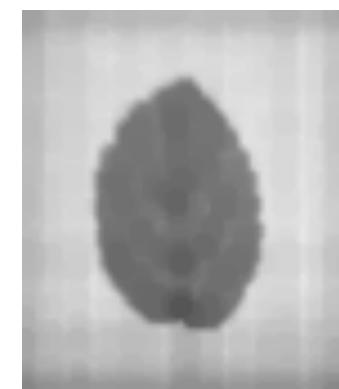
1



2



3



4

4.3. Morfología plana con EE disco de radio 5

Ejercicio: Indicar qué imagen corresponde a erosión, dilatación, apertura y cierre. Se ha utilizado un EE plano (disco de radio 5)



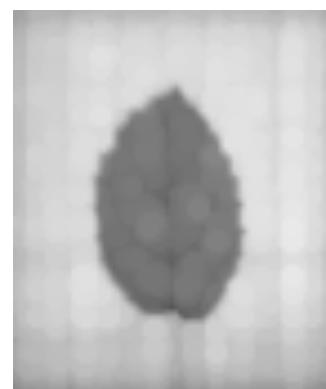
original



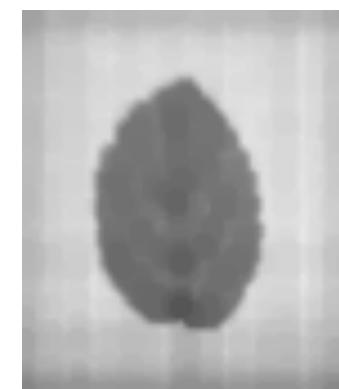
erosión



apertura



dilatación



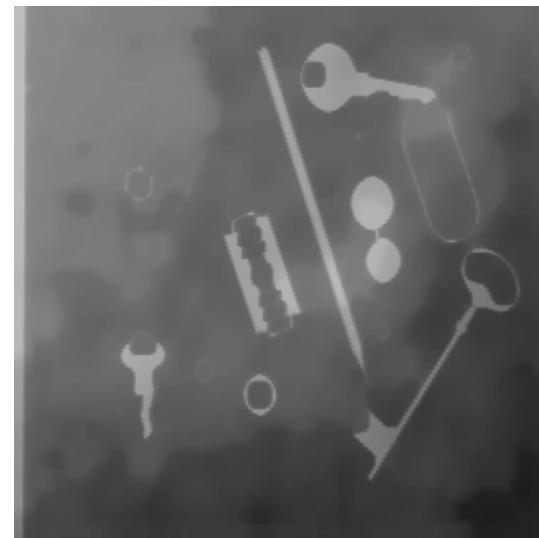
cierre

4.3. Morfología plana

```
se_disk=strel('disk',2);  
se_line=strel('line',5,0);  
se_square=strel('square',5);
```

Ejercicio: Indicar qué imagen corresponde a la **erosión** con distintos EE planos.

original



4.3. Morfología plana

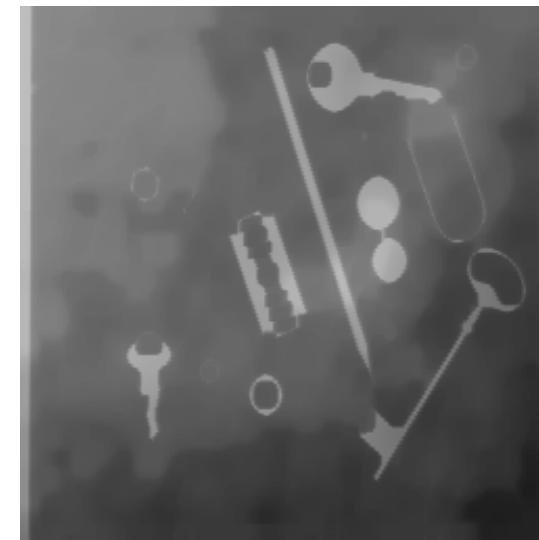
```
se_disk=strel('disk',2);  
se_line=strel('line',5,0);  
se_square=strel('square',5);
```

Ejercicio: Indicar qué imagen corresponde a la **erosión** con distintos EE planos.

original



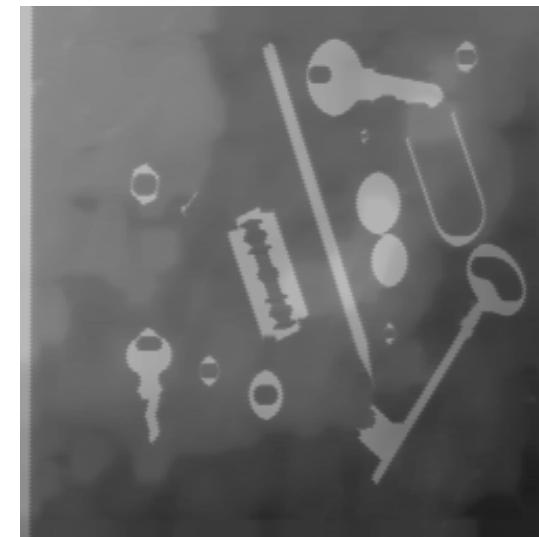
square



disk



line



4.3. Morfología plana

```
se_disk=strel('disk',2);  
se_line=strel('line',5,0);  
se_square=strel('square',5);
```

Ejercicio: Indicar qué imagen corresponde a la dilatación con distintos EE planos.

original



4.3. Morfología plana

```
se_disk=strel('disk',2);  
se_line=strel('line',5,0);  
se_square=strel('square',5);
```

Ejercicio: Indicar qué imagen corresponde a la **dilatación** con distintos EE planos.

original



disk



line



square

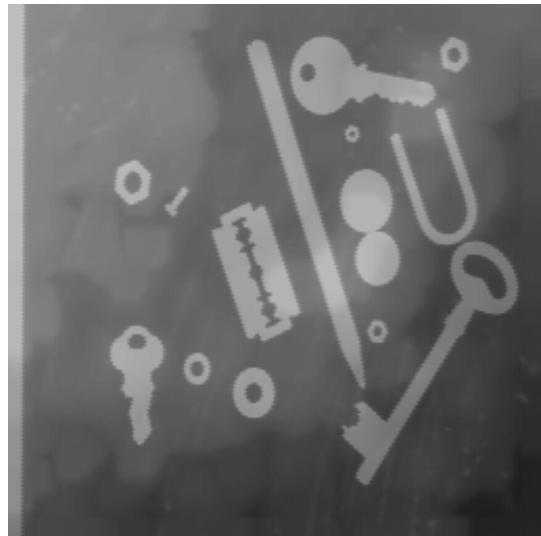


4.3. Morfología plana

```
se_disk=strel('disk',2);  
se_line=strel('line',5,0);  
se_square=strel('square',5);
```

Ejercicio: Indicar qué imagen corresponde a la apertura con distintos EE planos.

original



4.3. Morfología plana

```
se_disk=strel('disk',2);  
se_line=strel('line',5,0);  
se_square=strel('square',5);
```

Ejercicio: Indicar qué imagen corresponde a la apertura con distintos EE planos.

original



square



line



disk



4.3. Morfología plana

```
se_disk=strel('disk',2);  
se_line=strel('line',5,0);  
se_square=strel('square',5);
```

Ejercicio: Indicar qué imagen corresponde al cierre con distintos EE planos.

original



4.3. Morfología plana

```
se_disk=strel('disk',2);  
se_line=strel('line',5,0);  
se_square=strel('square',5);
```

Ejercicio: Indicar qué imagen corresponde al cierre con distintos EE planos.

original



line



square



disk



4.3. Morfología plana



```
se_disk=strel('disk',15);  
se_line=strel('line',15,0);  
se_square=strel('square',15);
```

Erosión, dilatación, apertura, cierre

4.3. Morfología plana



Original



Erosión con se_disk



Erosión con se_line

4.3. Morfología plana



```
se_disk=strel('disk',5);  
se_line=strel('line',5,0);  
se_square=strel('square',5);
```

Erosión, dilatación, apertura, cierre



Cierre con se_disk



Original



Dilate con se_square



Cierre con se_line



Apertura con se_square

4.3. Gradiente morfológico

Dilatación y erosión también se usan para calcular el gradiente morfológico de una imagen de grises, lo que permite resaltar transiciones de niveles de intensidad. Frente a los gradientes estudiados al aplicar filtrado lineal, los gradientes morfológicos con EE simétrico dependen menos de la direccionalidad de los bordes.

Utilizando un EE correspondiente a un disco de radio 2 ...



Original



Dilatación



Erosión

Las regiones homogéneas no se ven afectadas por la erosión y la dilatación \Rightarrow la resta tiende a “poner a cero” esas regiones.

4.3. Gradiente morfológico



Original



Gradientes morfológicos

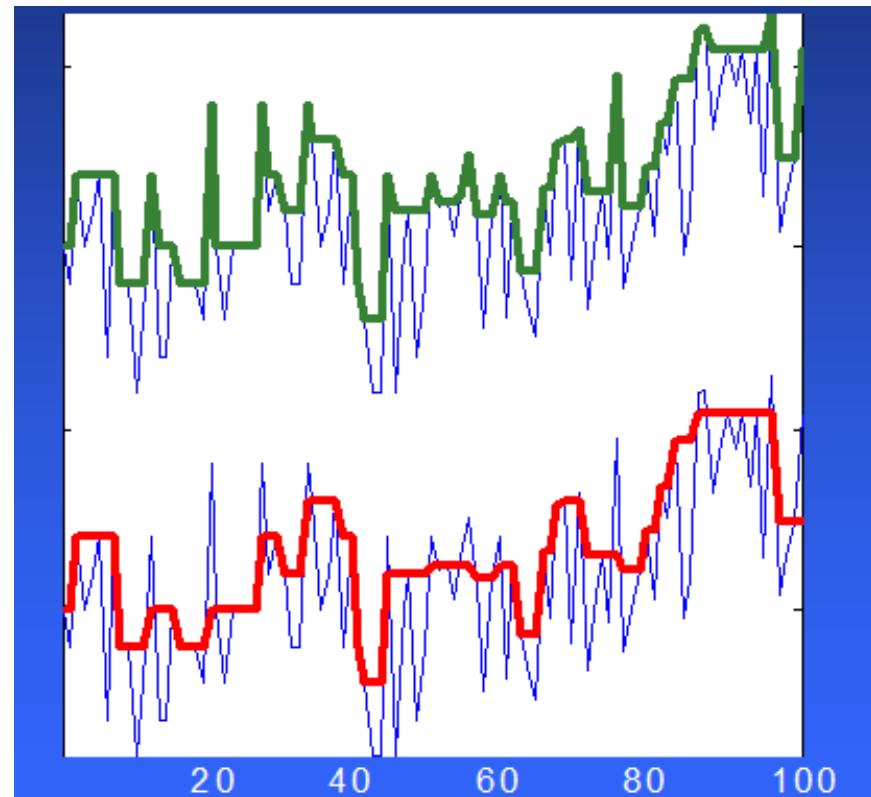
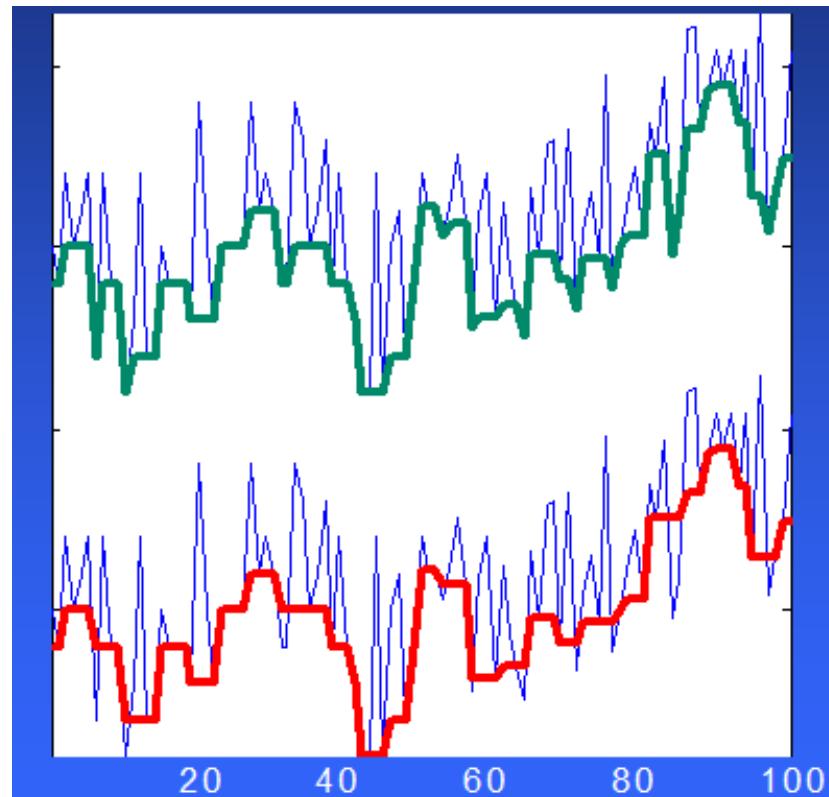


Utilizando un EE
correspondiente a un
disco de radio 1 ...

Utilizando un EE
correspondiente a un
disco de radio 2 ...

4.3. Filtro alternado

Una forma de reducir el “ruido” de una imagen es suavizarla realizando una apertura seguida de un cierre (o al contrario) con el mismo EE (forma y tamaño).

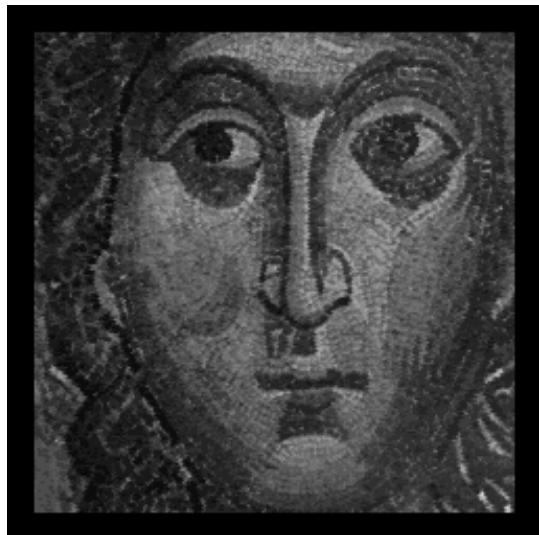


¿Qué señal es más oscura?

4.3. Filtro alternado

Al igual que con señales 1-D, la aplicación del filtro alternado a una imagen (señal 2-D) suprime o atenúa elementos extraños muy brillantes u oscuros.

```
strel('disk',1)
```



```
strel('disk',3)
```

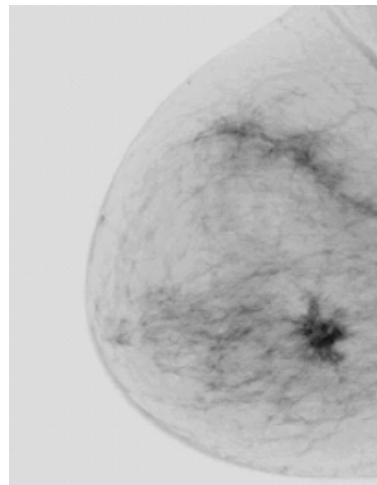
Open-Close disk



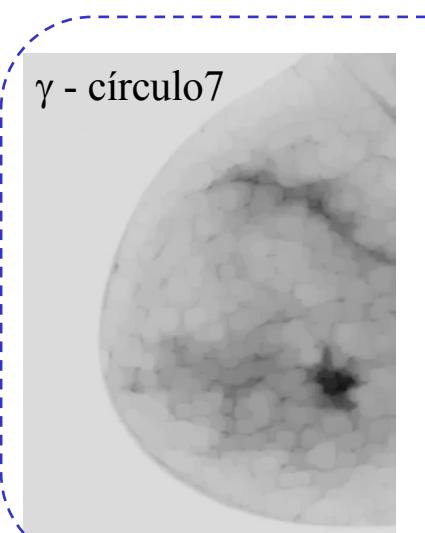
Close-Open disk



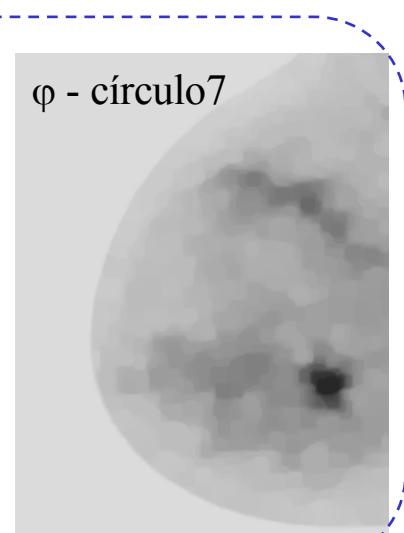
4.3. Ejemplo de aplicación del filtro alternado 2D



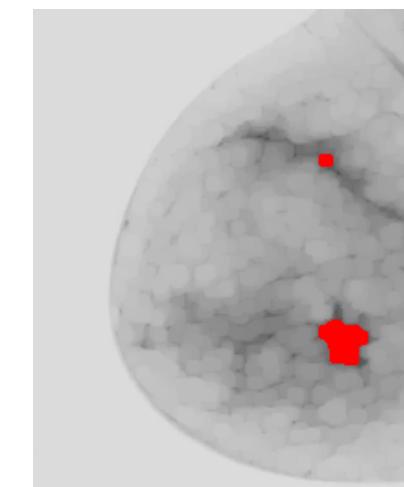
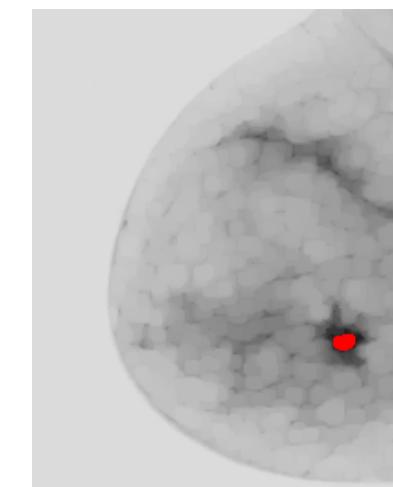
Umbral 106



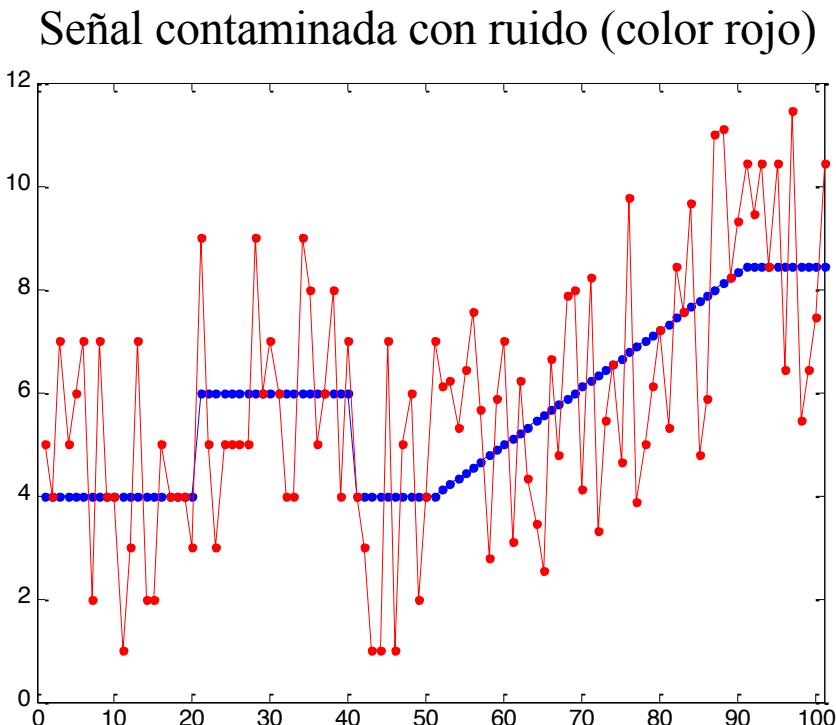
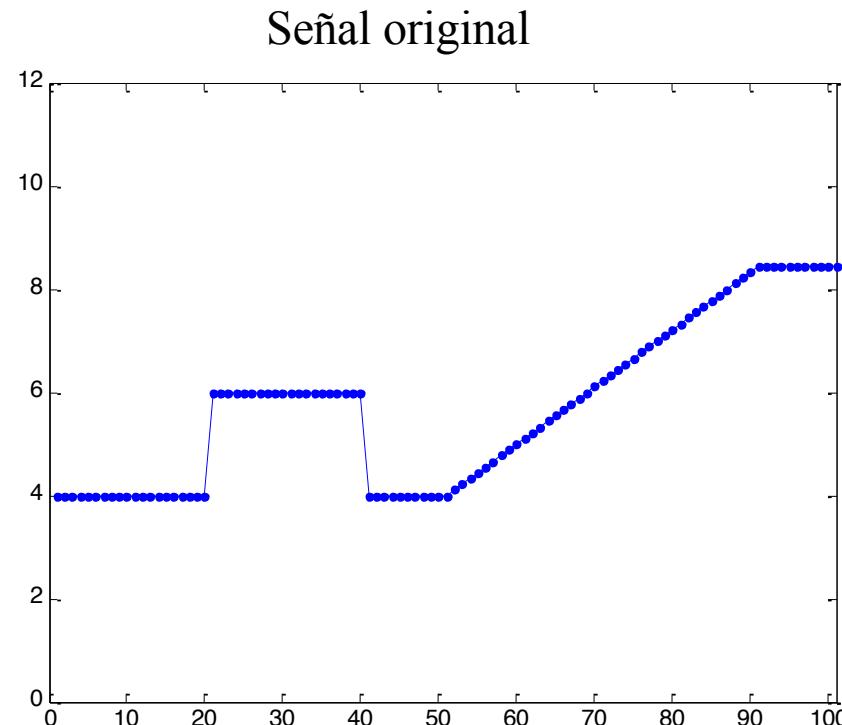
Umbral 107



Umbral 40

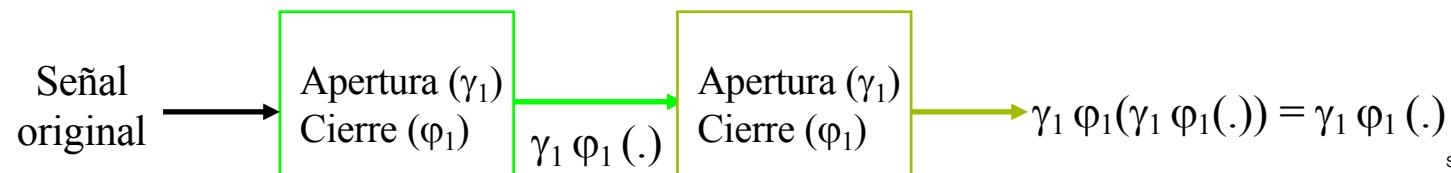
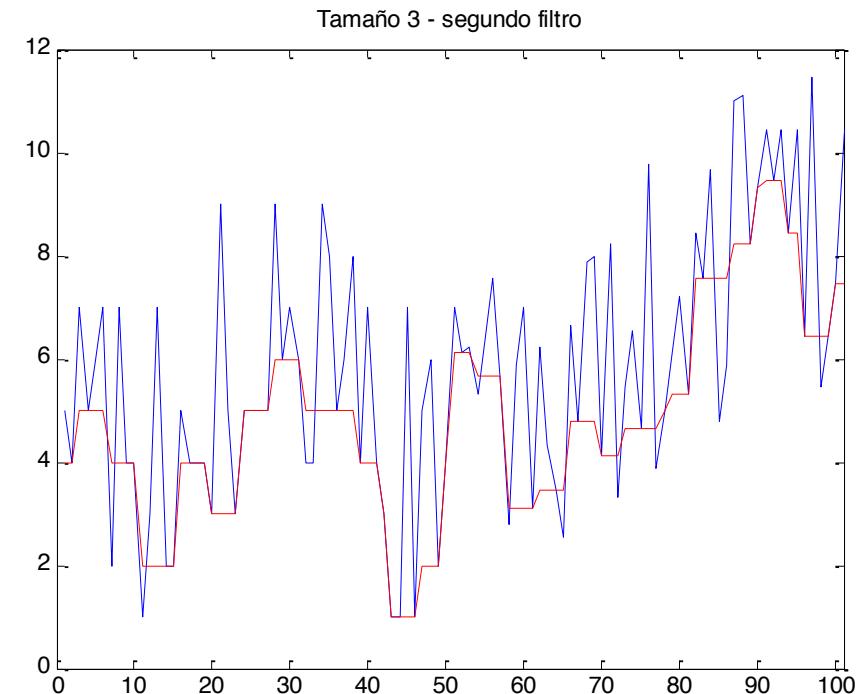
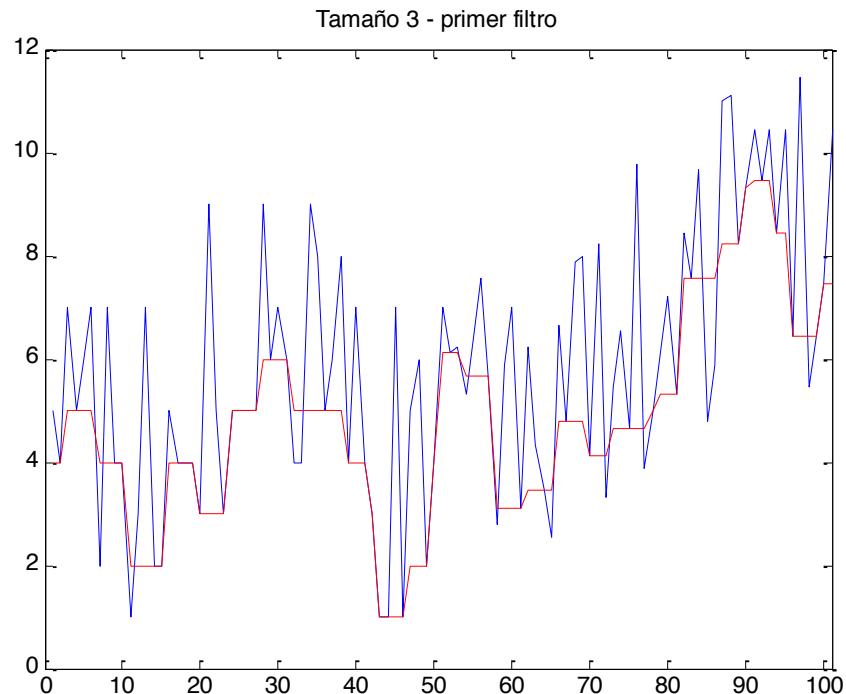


4.3. Filtros alternados

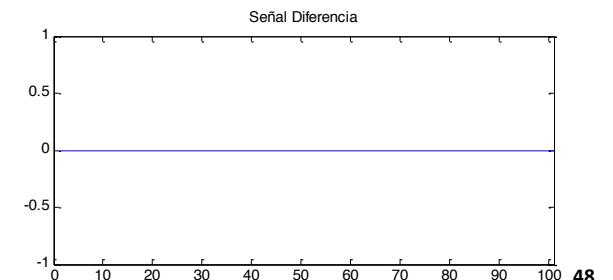


En los ejemplos de estas transparencias se asume que los operadores morfológicos permiten valores reales (no sólo enteros)

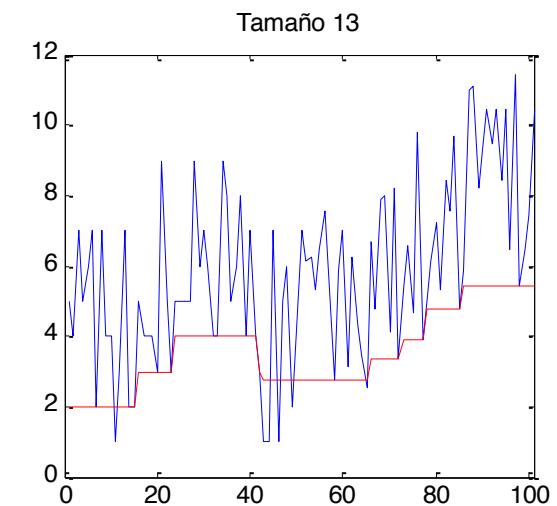
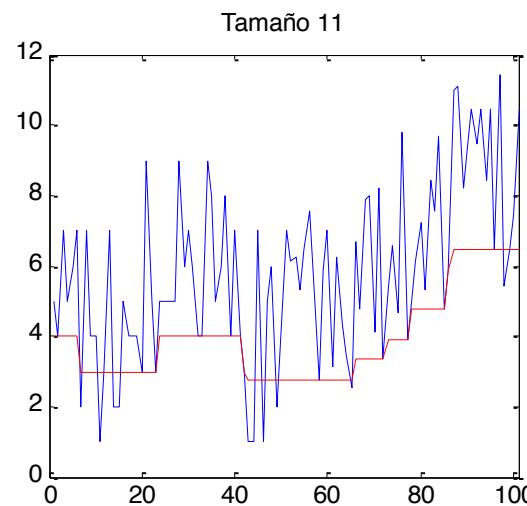
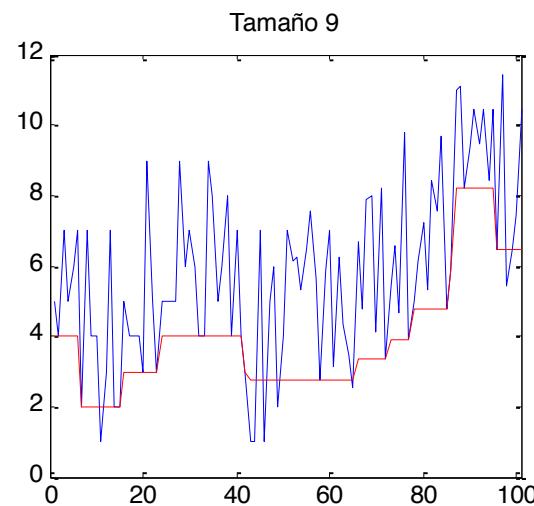
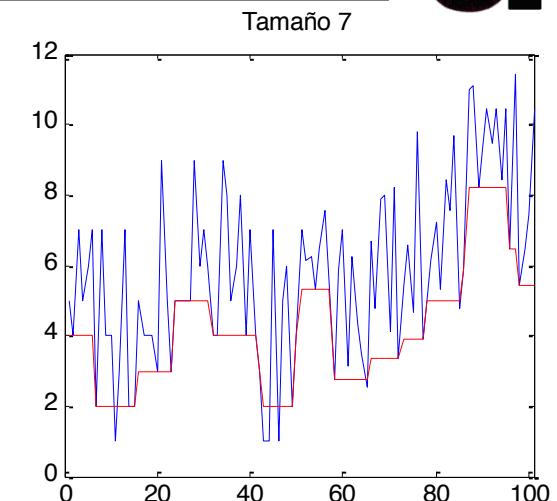
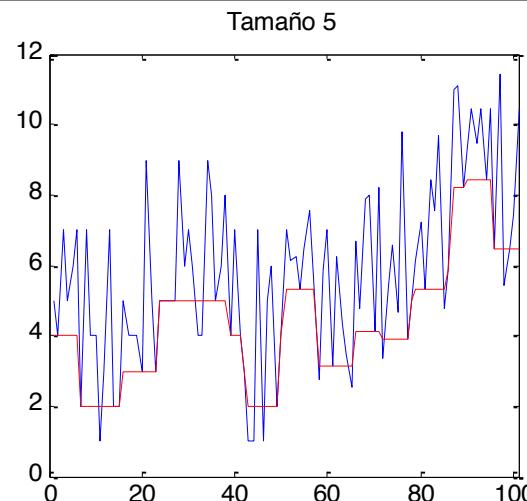
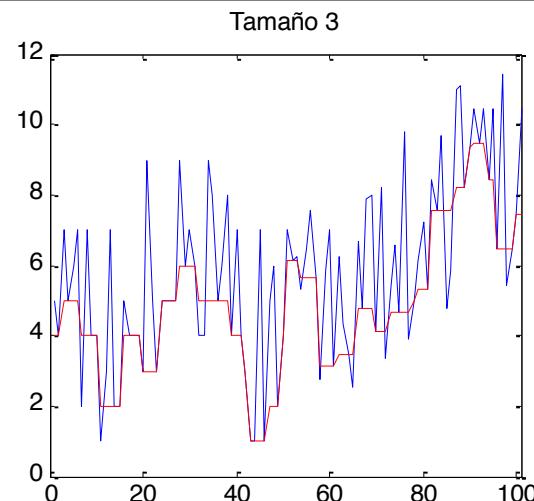
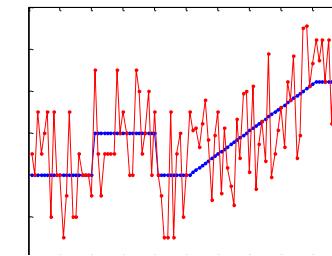
4.3. Filtros alternados



$\gamma_1 \varphi_1(\cdot)$ es un filtro idempotente



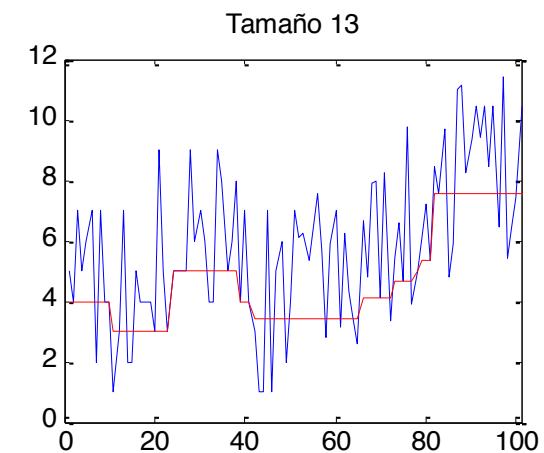
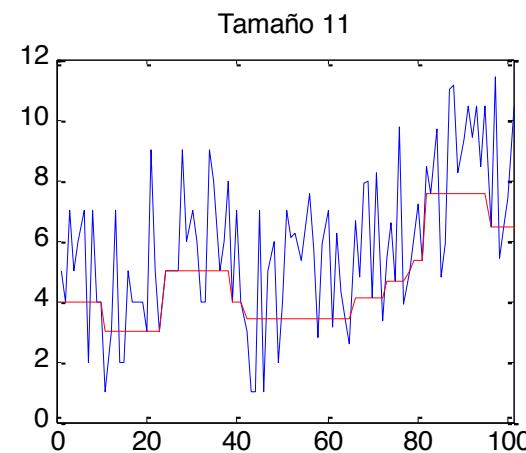
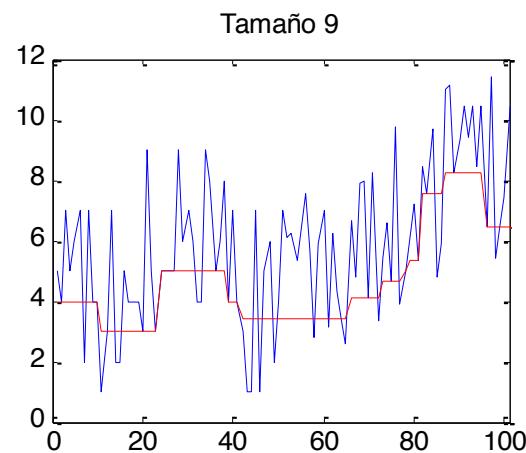
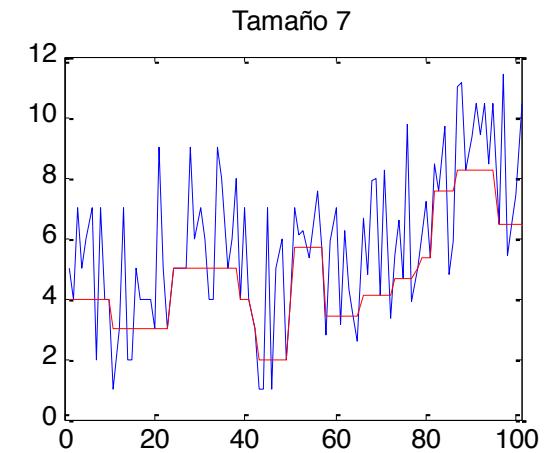
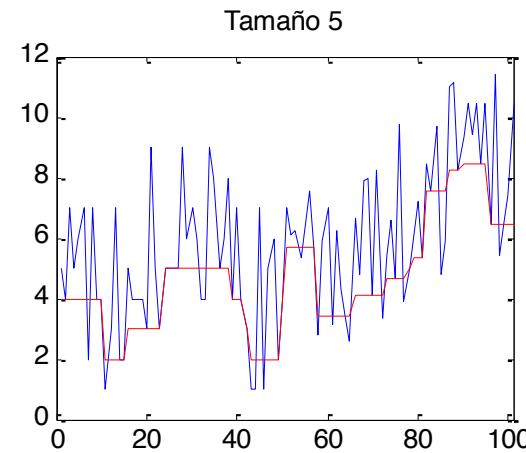
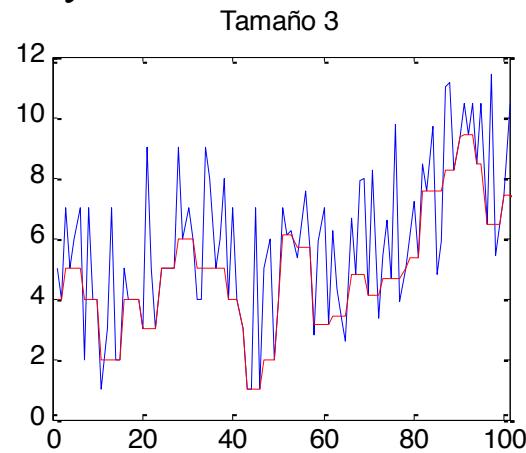
4.3. Filtros alternados



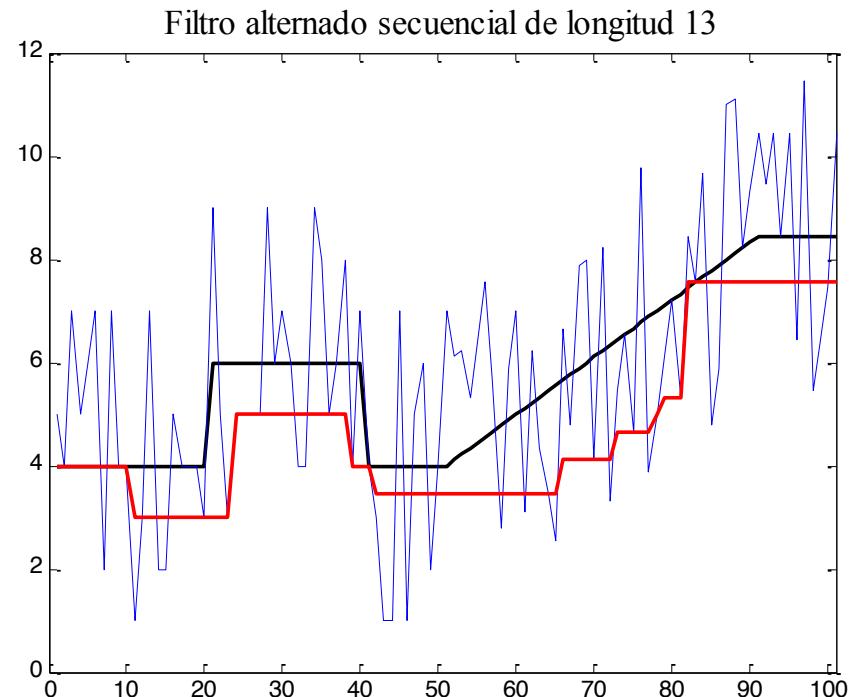
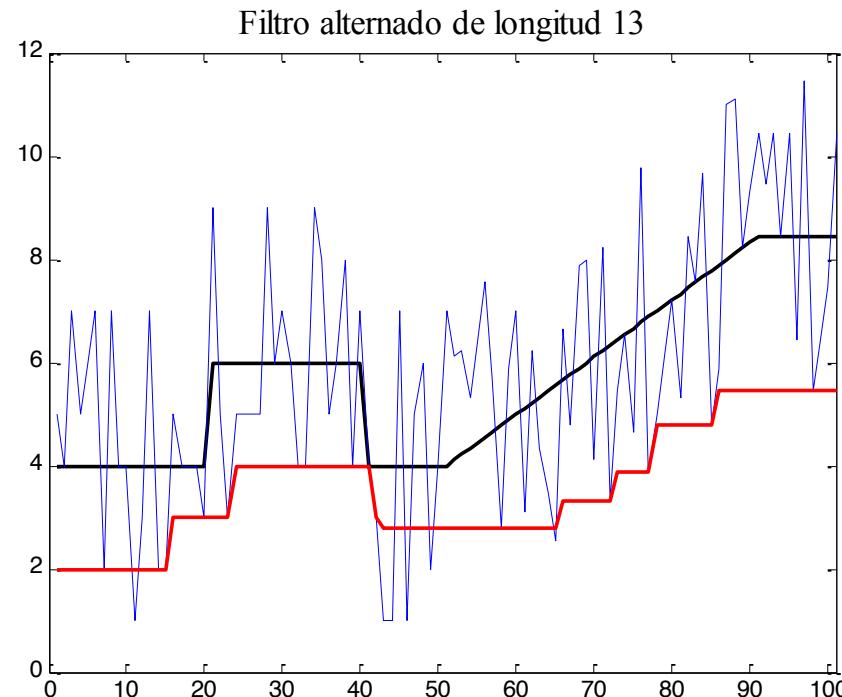
Ejemplo donde se aplican distintos filtros alternados sobre la señal original. La señal filtrada se simplifica demasiado a medida que aumenta el tamaño del EE \Rightarrow el resultado no se parece a la señal original.

4.3. Filtro alternado secuencial

Una alternativa es utilizar filtros alternados secuenciales \Rightarrow sucesión del filtros apertura-cierre (o cierre-apertura) comenzando con un EE muy pequeño y luego procediendo con EE cada vez mayores.



4.3. Comparación filtro alternado y filtro alternado secuencial



Negro: señal original

Azul: señal original contaminada con ruido aditivo

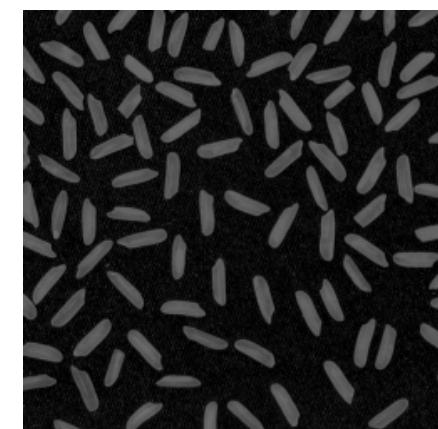
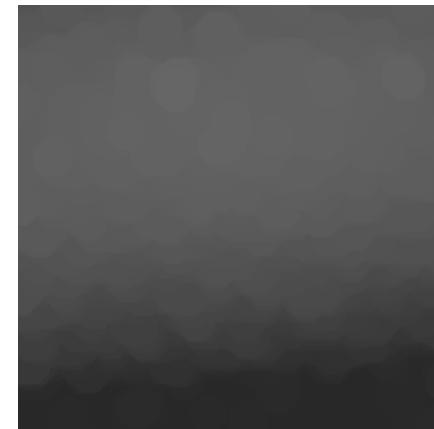
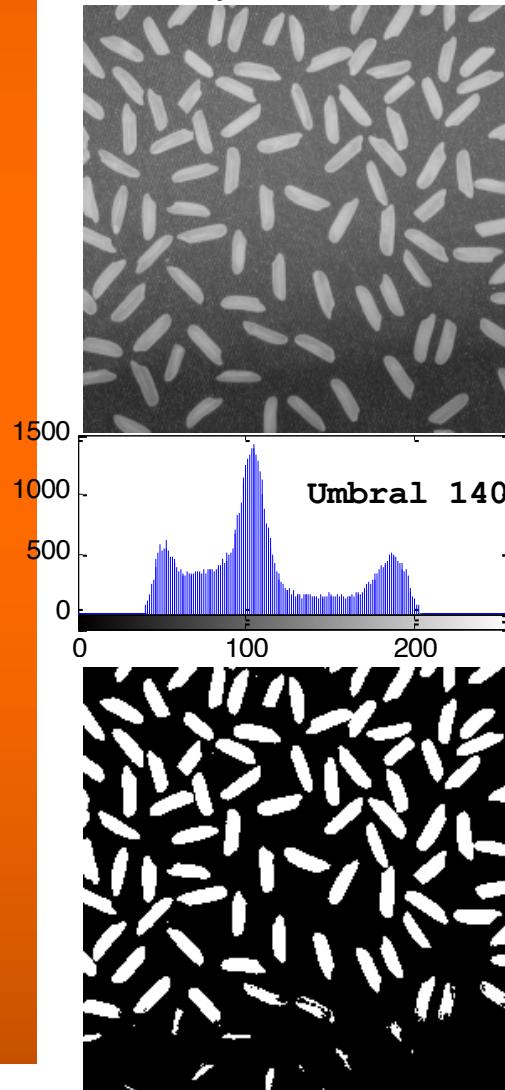
Rojo: filtrado de la señal contaminada con ruido

Los filtros alternado secuenciales son más robustos al ruido.

4.3. Operador Top-hat

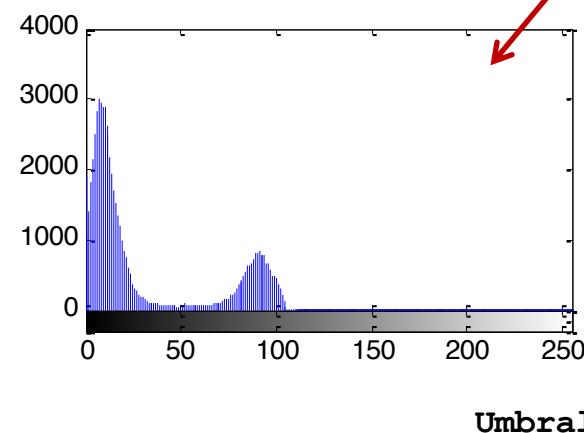
Operador Top-hat: residuo entre la im. original y la apertura. Como en el caso de imágenes binarias, se trata de un operador idempotente que proporciona las regiones claras más pequeñas que el EE.

Objetivo: extraer los granos de arroz. Fondo con iluminación no uniforme



```
se = strel('disk',12);
imopen(imagen,se);
```

```
imtophat(imagen,se);
```



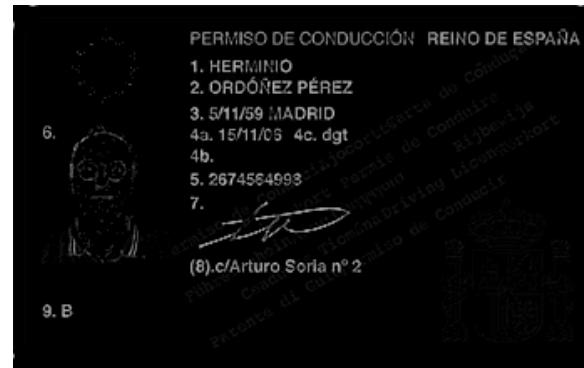
4.3. Operador Bot-hat (BH)

Existe el dual del operador *top-hat*: operador *bot-hat*. Corresponde al residuo entre la imagen resultante del cierre y la original, y proporciona las regiones oscuras más pequeñas que el EE.

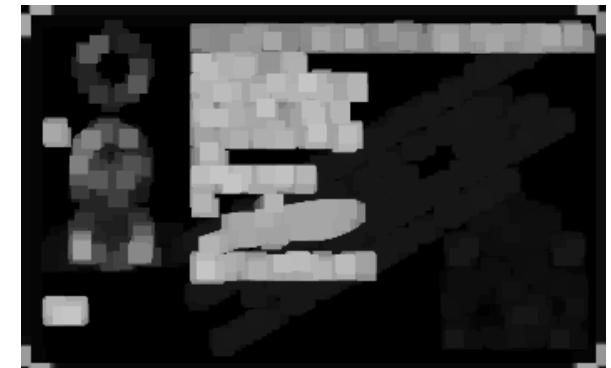
Objetivo: extraer los datos del propietario del carnet, junto con su firma



Imagen I



BH(I) con EE sq lado 3



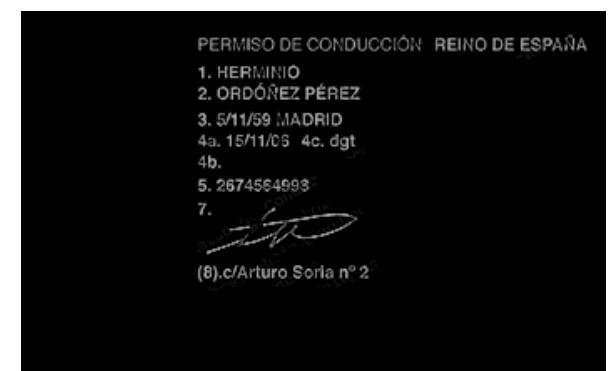
Dilatación de BH con EE sq lado 11



Umbralización de la imagen dilatada con umbral 100



Segmentación y filtrado del objeto más grande

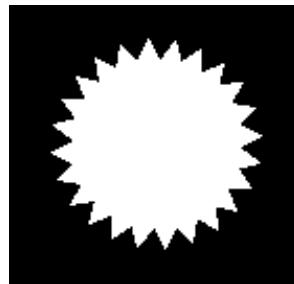


AND de BH con la imagen anterior

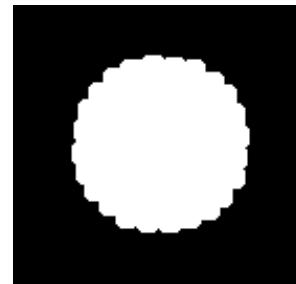
Operadores Top-hat y Bot-hat

Operador Top-hat: residuo entre la imagen original y la apertura.

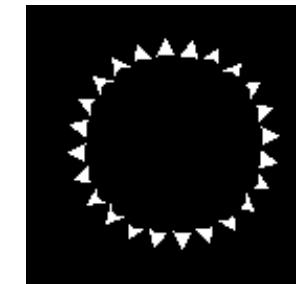
En imágenes binarias, proporciona los “picos” (salientes) más estrechos que el EE.



c



```
se = strel('disk', 6);
c_open = imopen(c, se);
```



```
c_residuo = c & ~c_open;
c_tophat = imtophat(c, se);
```

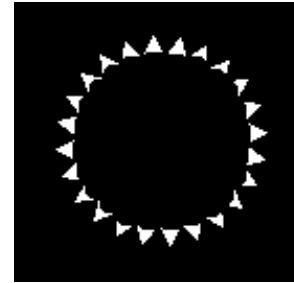
¿Es idempotente?

¿A qué es igual la apertura del top-hat?

Existe el dual del operador *top-hat*: operador *Bot-hat* (en Matlab, `imbothat`).

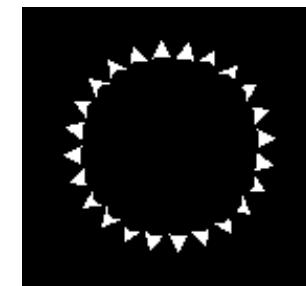
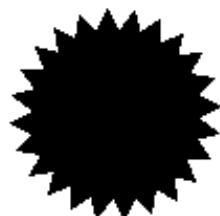
Corresponde al residuo entre la imagen resultante del cierre y la imagen original.

Operadores Top-hat y Bot-hat



```
c_tophat = imtophat(c,se);
```

¿Y con el operador bot-hat?, ¿qué proceso deberíamos haber seguido?



```
c_neg=~c;
```

```
c_neg_cl= imclose(c_neg,se); c_residuo = c_neg_cl&~c_neg;
```

```
c_bophat = imbothat(c_neg,se);
```