

Procesado de la imagen digital

- Contenidos:
 - Procesamiento en el dominio espacial.
 - Procesamiento puntual con una o varias imágenes.
 - **Procesamiento de vecindad.**

FSIV UNIVERSIDAD DE CORDOBA

Métodos en el domino espacial

- Procesamiento de vecindad:
 - Interpolación (Transformaciones geométricas).
 - Filtrado lineal.
 - Filtrado no lineal.

$$g(x,y) = T[f(x,y)]$$

125	10	123	167	52	21	128	203	50	252
216	223	58	186	62	13	251	254	123	87
26	249	87	86	93	218	153	121	26	215
152	203	184	35	53	215	148	64	189	132
60	23	196	216	183	193	221	27	51	94
91	97	65	104	239	22	222	138	207	184
162	255	249	198	111	13	132	13	115	170
33	191	75	97	56	121	4	83	47	81
70	183	200	207	127	2	48	80	73	241
30	103	17	239	25	183	13	170	226	223

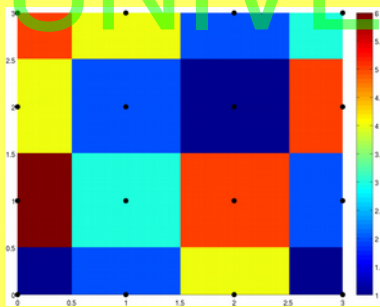
207	110	89	152	223	109	173	180	12	194
130	16	95	222	147	118	7	171	101	31
74	40	67	168	173	11	100	207	124	239
242	100	97	43	100	244	69	137	223	233
145	144	88	214	123	89	185	120	147	166
55	116	160	249	189	189	87	226	185	143
182	36	6	120	169	144	131	214	38	183
146	188	104	146	82	170	69	224	98	131
127	182	64	63	207	46	211	124	251	231
248	149	74	161	142	149	2	158	227	162

$$g(x,y) = T[f(x-1,y-1),f(x,y-1),f(x+1,y-1),f(x-1,y),f(x,y),f(x+1,y),f(x-1,y+1),f(x,y+1),f(x+1,y+1)]$$

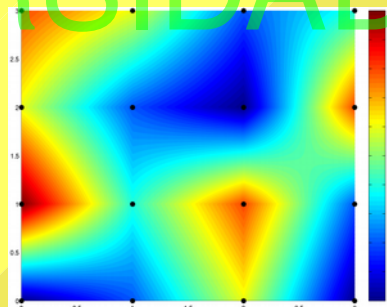
Métodos en el dominio espacial

• Interpolación

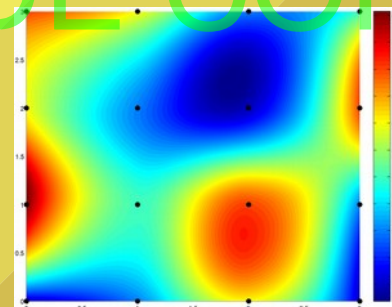
- **Objetivo:** En una imagen digital, ¿cuál sería el valor del pixel $x=3.25$, $y=25.333$?
- **Aplicaciones:** transformaciones geométricas y métodos con precisión sub-píxel.
- **Métodos:** vecino más cercano (NN), bilineal y bicúbica.



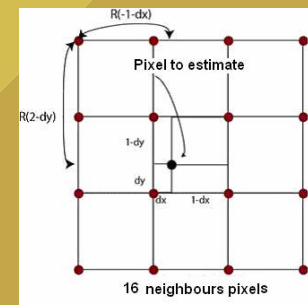
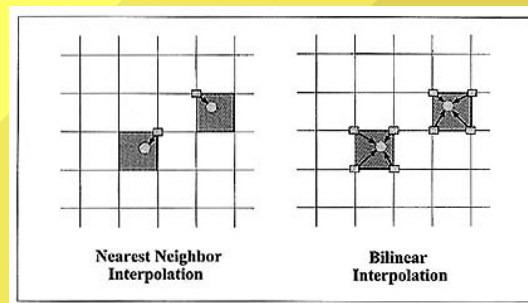
NN



bilineal



bicúbica



Métodos en el domino espacial

- Interpolación: transformaciones geométricas:
 - **Tipos:** Afín y de perspectiva:
 - **Proceso general:** aplicar la transformación inversa e interpolar.

Transformaciones
afines

Escalar

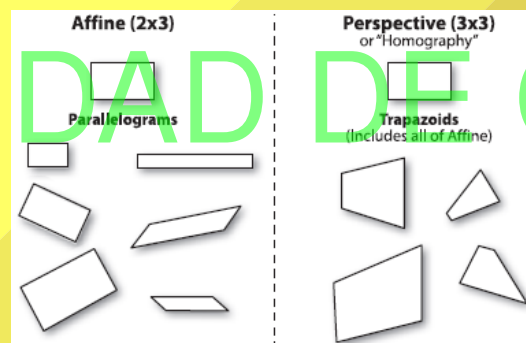
$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Trasladar

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

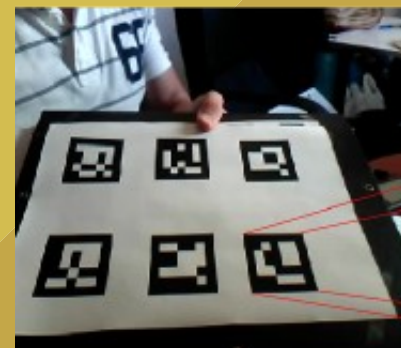
Rotar

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$



Perspectiva

$$\begin{bmatrix} x'/z' \\ y'/z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$



Métodos en el dominio espacial

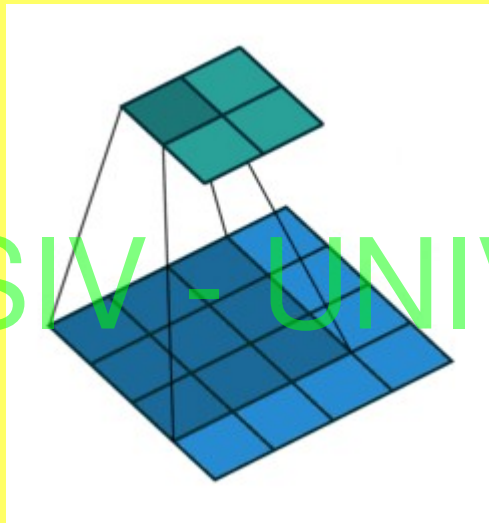
- Transformaciones geométricas: corrección de la distorsión de la lente.
 - Corrección de las distorsiones geométricas de la óptica.
 - **Proceso general:** Calcular mapa inverso e interpolar.

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= \dot{x} \left(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 \right) + 2 * p_1 \dot{x} \dot{y} + p_2 (r^2 + 2 \dot{x}^2) \\ \ddot{y} &= \dot{y} \left(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 \right) + 2 * p_2 \dot{x} \dot{y} + p_1 (r^2 + 2 \dot{y}^2) \\ r &= \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}\end{aligned}$$

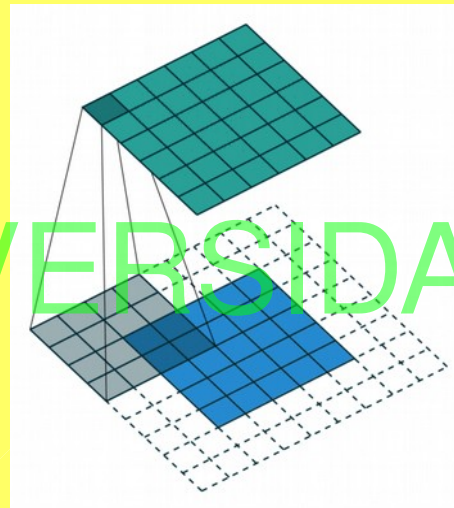


Métodos en el dominio espacial

- Filtrado lineal: Convolución / Correlación.



No Padding.



Padding.

Correlación digital

Convolución digital

FSIV - UNIVERSIDAD DE CORDOBA

Diagram illustrating the steps of 2D convolution:

(a) Initial position for w

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

(b) Padded f

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(c) Full correlation result

1	2	3	0	0	0	0	0	0	0
4	5	6	0	0	0	0	0	0	0
7	8	9	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(d) Cropped correlation result

0	0	0	0	0
0	9	8	7	0
0	6	5	4	0
0	3	2	1	0
0	0	0	0	0

(e) Rotated w

9	8	7	0	0	0	0	0	0	0
6	5	4	0	0	0	0	0	0	0
3	2	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(f) Full convolution result

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	2	3	0	0	0
0	0	0	0	4	5	6	0	0	0
0	0	0	0	7	8	9	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(g) Cropped convolution result

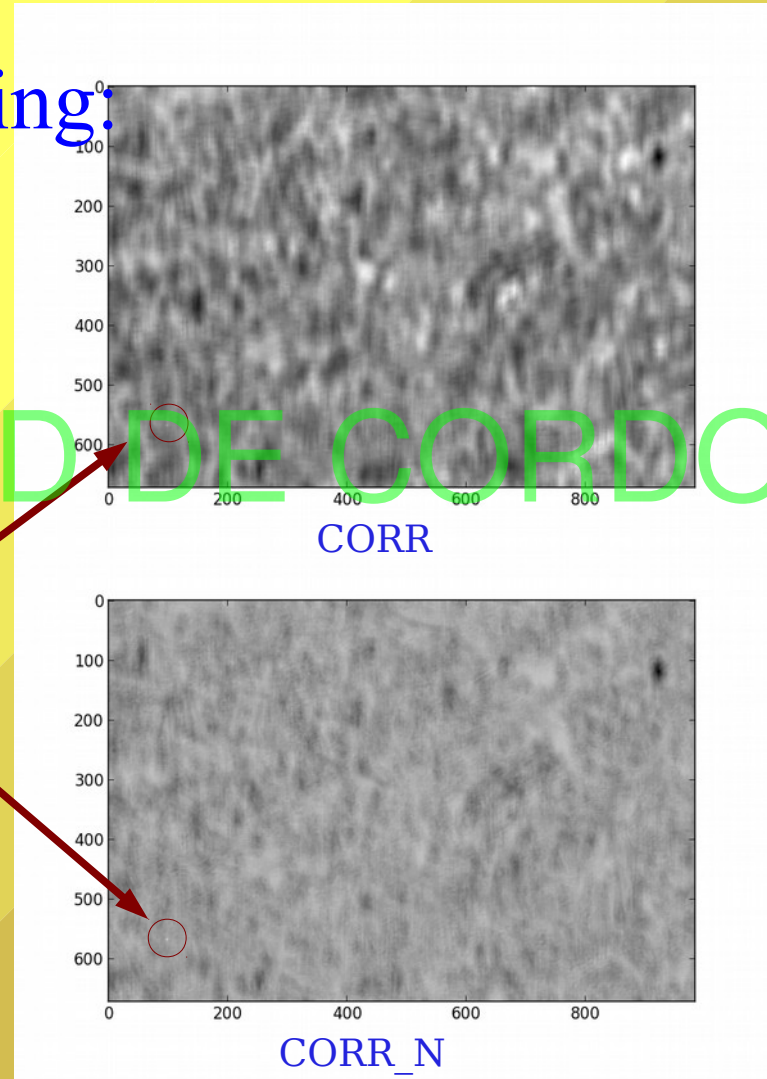
0	0	0	0	0
0	1	2	3	0
0	4	5	6	0
0	7	8	9	0
0	0	0	0	0

Métodos en el dominio espacial

- Correlación: template matching:



¿?



CORR

CORR_N

$$R(x, y) = \sum_{x', y'} (T(x', y') \cdot I(x + x', y + y'))$$

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} (T(x', y') \cdot I(x + x', y + y'))}{\sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2 \cdot \sum_{x', y'} I(x + x', y + y')^2}}$$

Métodos en el dominio espacial

- Filtrado lineal: reducción del ruido (suavizado)
 - Box Filter.

$$\frac{1}{9} \times$$

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Box Filter



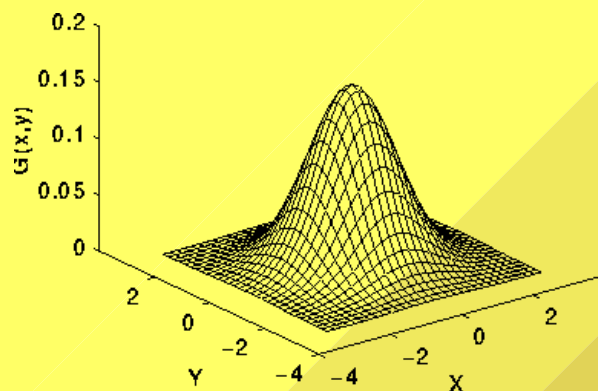
Kernel: 11x11

Métodos en el dominio espacial

- Filtrado lineal: reducción del ruido (suavizado)
 - Gaussian Filter.

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

$$w(x, y) \approx \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(\frac{-x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

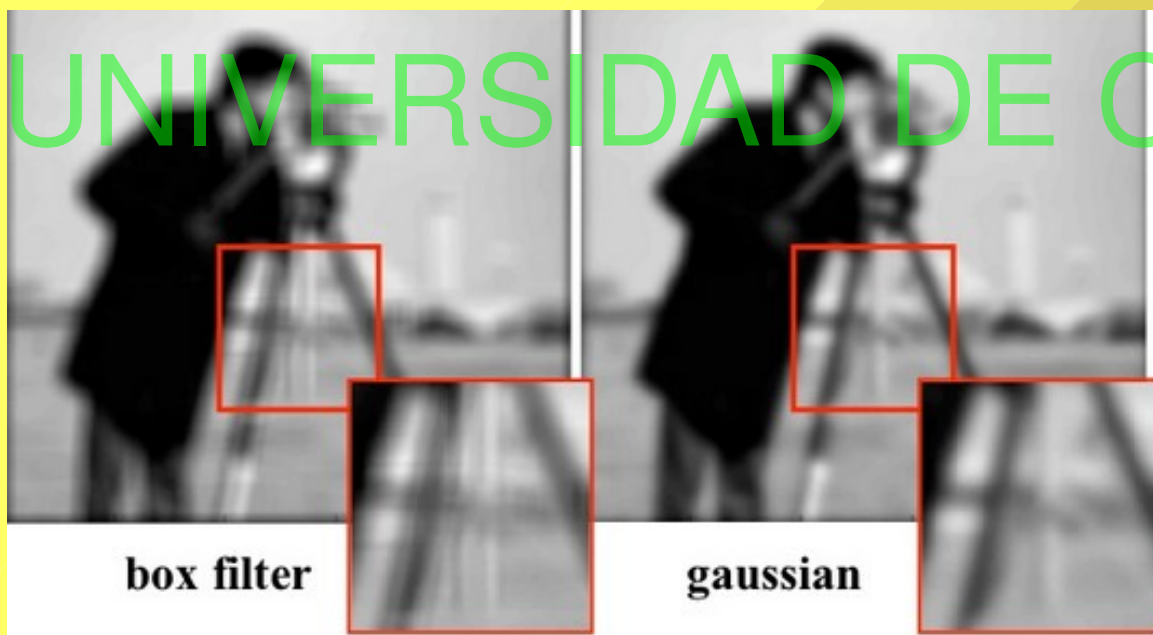


sigma = 3

¿Cuál es la extensión?

Métodos en el dominio espacial

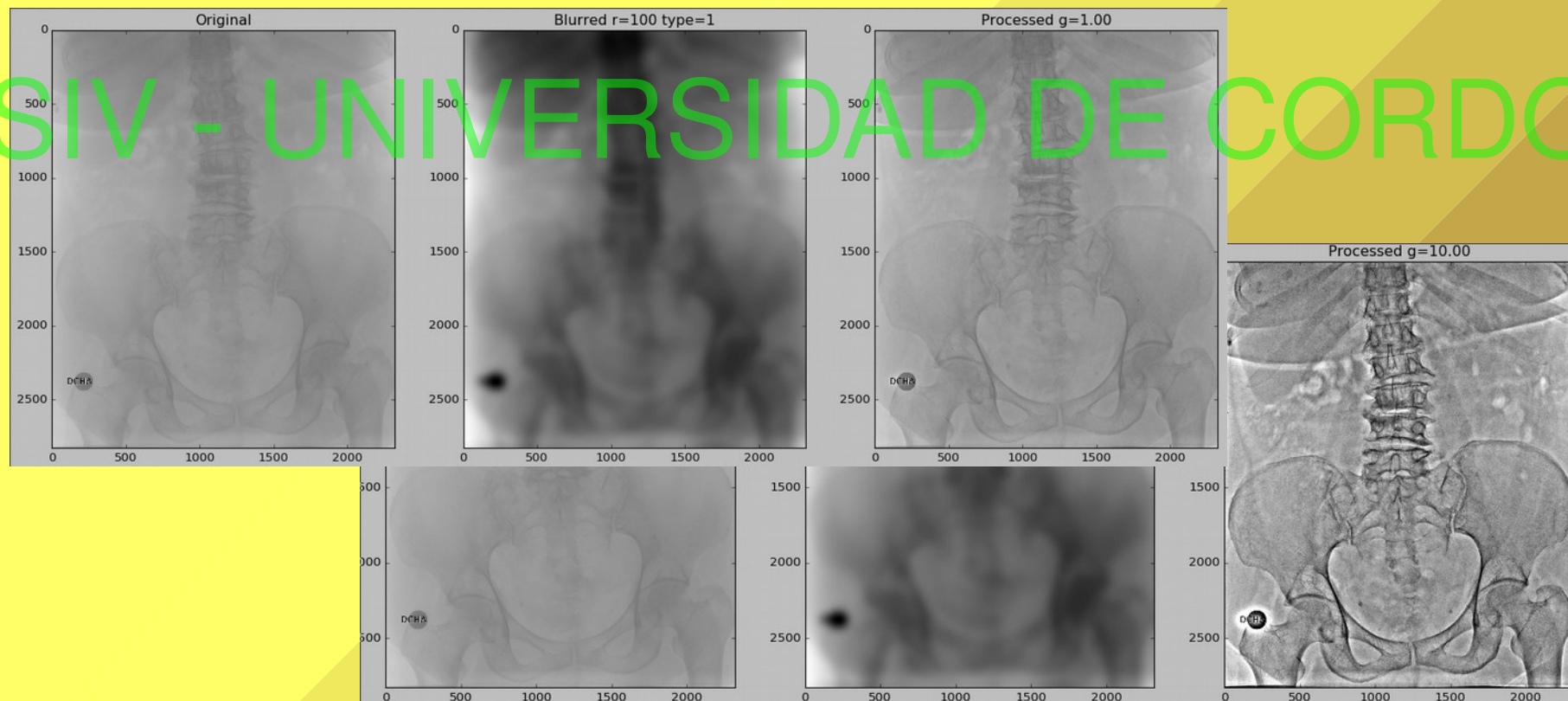
- Filtrado lineal: reducción del ruido (suavizado)
 - Comparación Box vs. Gaussian.



Métodos en el dominio espacial

- Filtrado lineal: realce “unsharp mask”.

Proceso: $G = (1+g)I - gI_L$ (Si $g>1$ se denomina high-boost filtering.)



Métodos en el domino espacial

• Filtrado lineal: derivadas

Propiedades 1a derivada:

- cero en zonas constantes
- no cero en escalón o comienzo/fin de rampas.
- no cero a lo largo de una rampa.

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = f(x+1,y) - f(x,y)$$

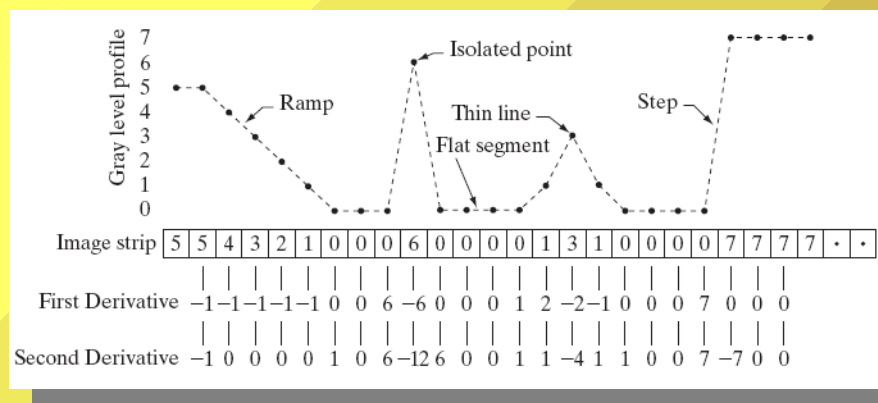
Propiedades 2da. Derivada:

- cero en zonas constantes.
- no cero en escalones o comienzo/fin de rampas.
- cero a lo largo de una rampa de pendiente constante.

$$\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial^2 x} = f(x-1,y) + f(x+1,y) - 2f(x,y)$$

[-1,1]

[1,-2,1]



Métodos en el dominio espacial

- Filtrado lineal: derivadas (Filtro de sobel)



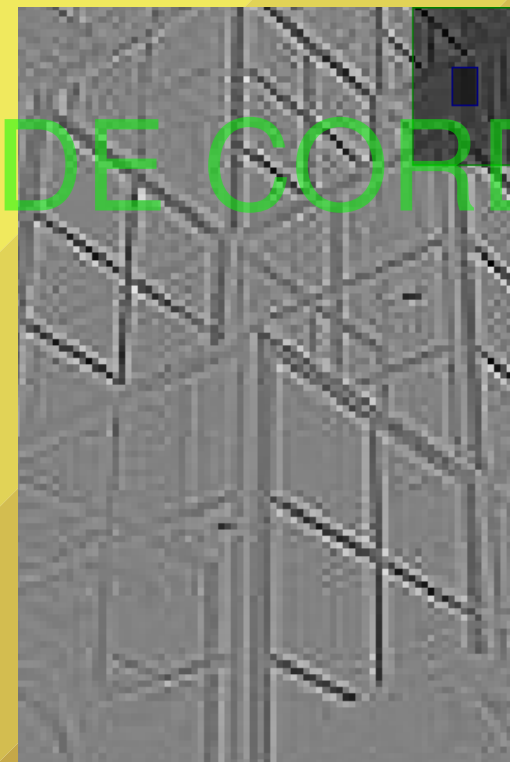
dx:
[-1, 0, 1;
-2, 0, 2;
-1, 0, 2]

dy:
[-1, -2, -1;
0, 0, 0;
1, 2, 1]

gradiente =
 $\sqrt{dx^2 + dy^2}$

Métodos en el dominio espacial

- Filtrado lineal: Segunda derivada (Operador Laplaciano)



$$\begin{aligned} & d^2x + d^2y: \\ & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Métodos en el domino espacial

- Filtrado lineal: realce con “sharp mask”.

Operador Laplaciano

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 f}{\partial^2 y}$$

Operación de realce:

$$g(x, y) = f(x, y) + f_s(x, y)$$

$$f_s(x, y) = -\nabla^2 f(x, y)$$

$$\nabla^2 f = [f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1)] - 4f(x, y)$$

0	1	0	1	1	1
1	4	1	1	-8	1
0	1	0	1	1	1

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

$$f(x, y) - \nabla^2 f = f(x, y) - [f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1)] + 4f(x, y)$$

0	-1	0	-1	-1	-1
-1	A + 4	-1	-1	A + 8	-1
0	-1	0	-1	-1	-1

Usar $A > 1$
para
obtener un
High-Boost.

Métodos en el dominio espacial

- Filtrado lineal: realce con “sharp mask”.



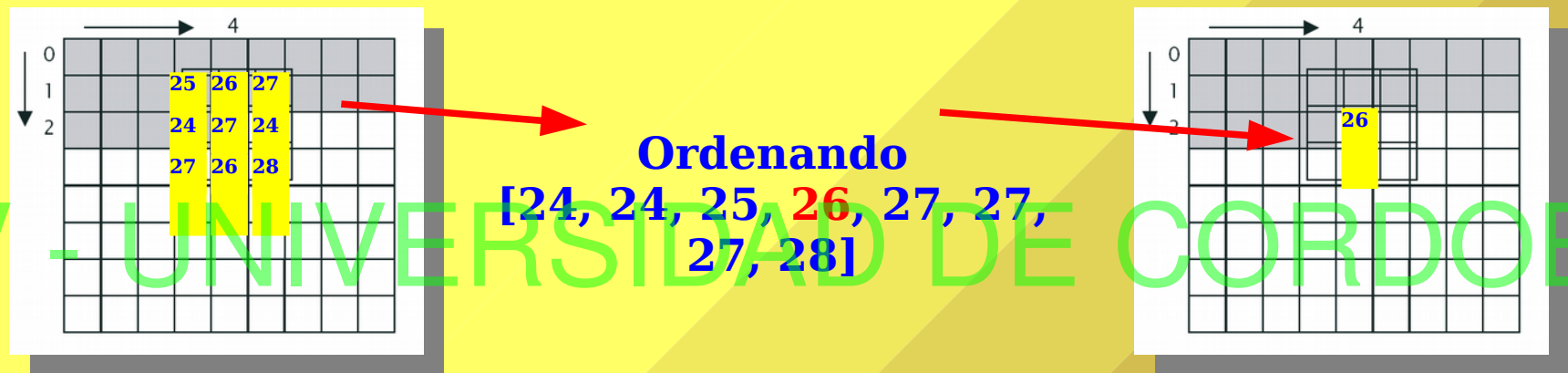
Laplaciano.

Laplaciano
escalado.

Img. realzada.

Métodos en el domino espacial

- Procesamiento de vecindad: filtrado no lineal

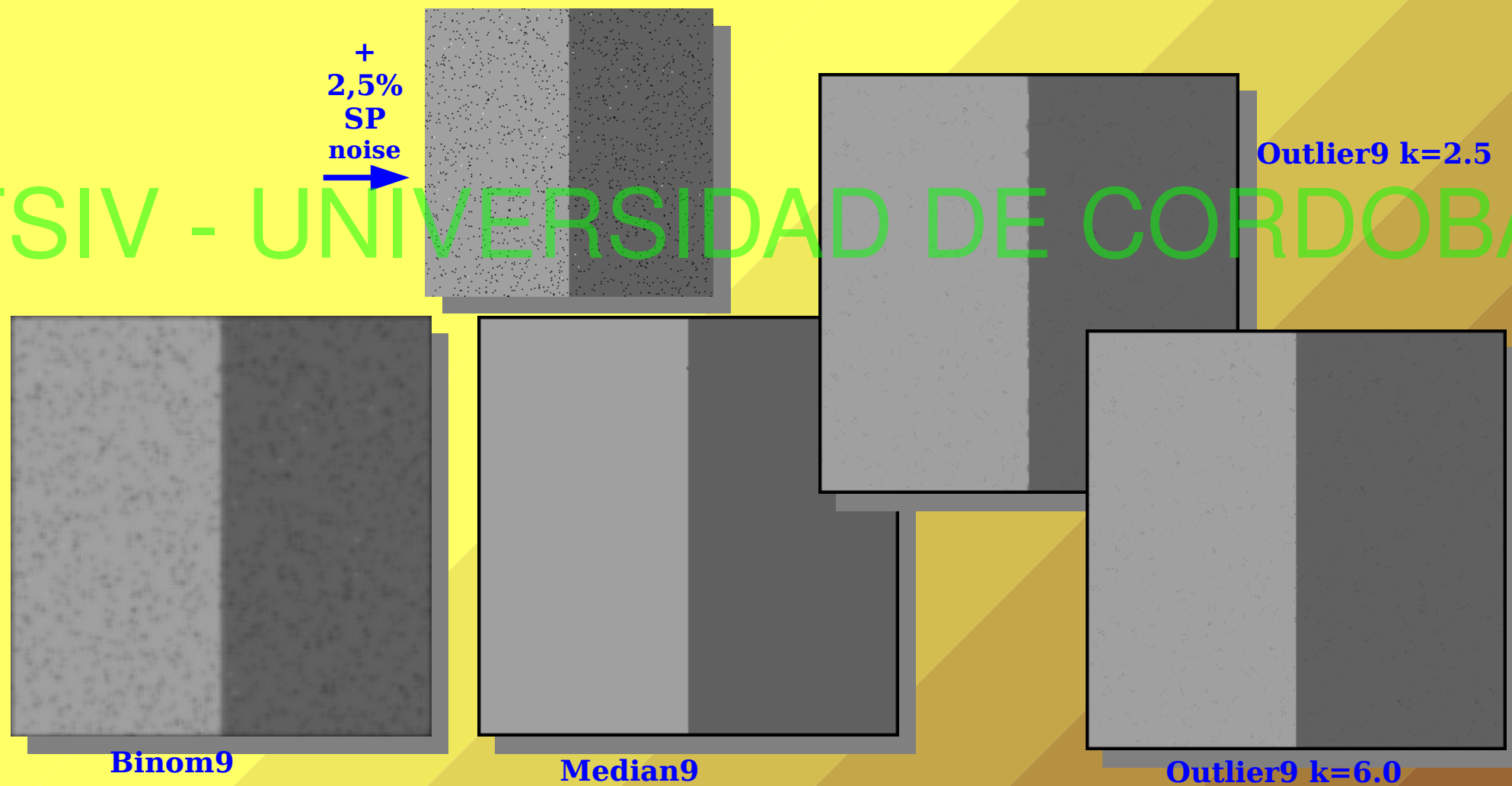


Ejemplos:

- Mediana:** Sustituir por la mediana de los valores.
- Outlier:** Si el valor supera en una cantidad la media, devolver la media.

Métodos en el dominio espacial

- Filtrado no lineal: Reducción de ruido impulsivo.



Métodos en el dominio espacial

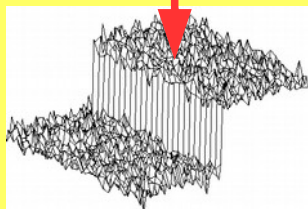
- Filtrado lineal/no lineal: filtro bilateral.

- Problema:** promediar suaviza las discontinuidades.
- Solución:** al promediar tener en cuenta además de la proximidad espacial la proximidad en similitud de la medida.
- Cómo:** combinar dos filtros: filtro de proximidad **P** y un filtro de similitud **S**.

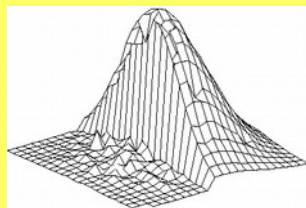
$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b P(s, t) S(s, t) f(x+s, y+t)$$

x,y

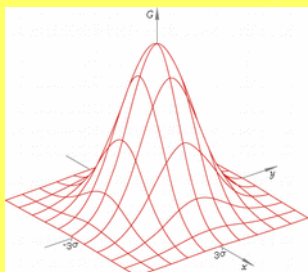
F



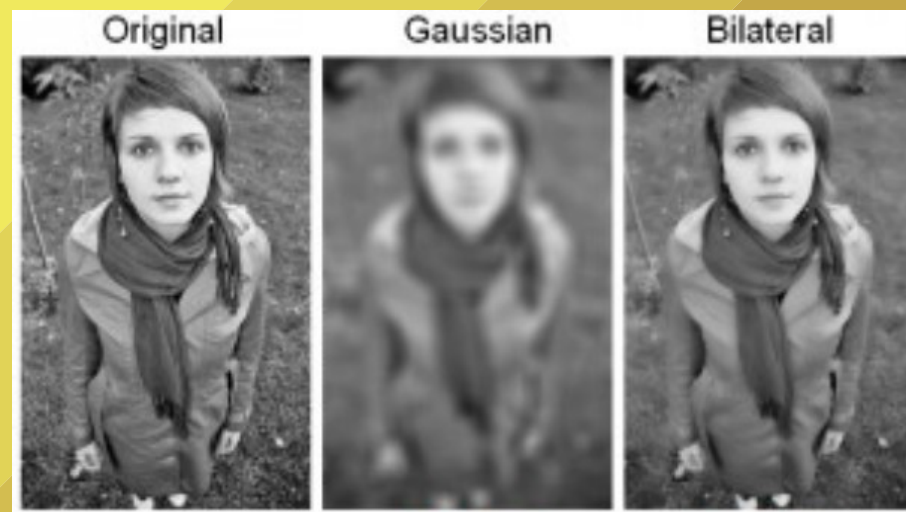
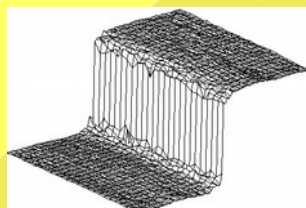
S



P



G



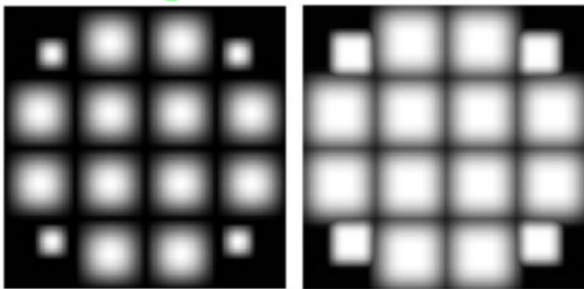
Métodos en el dominio espacial

- Filtrado no lineal: Morfolofogía.

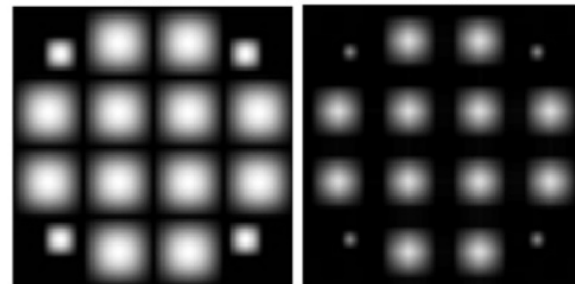
$$\text{Dilatación}(x,y) = \max \{f(x+x',y+y')\}, \\ (x',y') \text{ in } B$$

$$\text{Erosión}(x,y) = \min \{f(x+x',y+y')\}, \\ (x',y') \text{ in } B$$

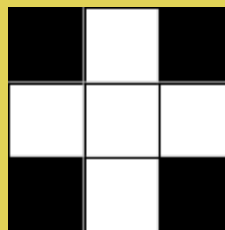
Dilatación de imágenes escala de grises



Erosión de imágenes escala de grises



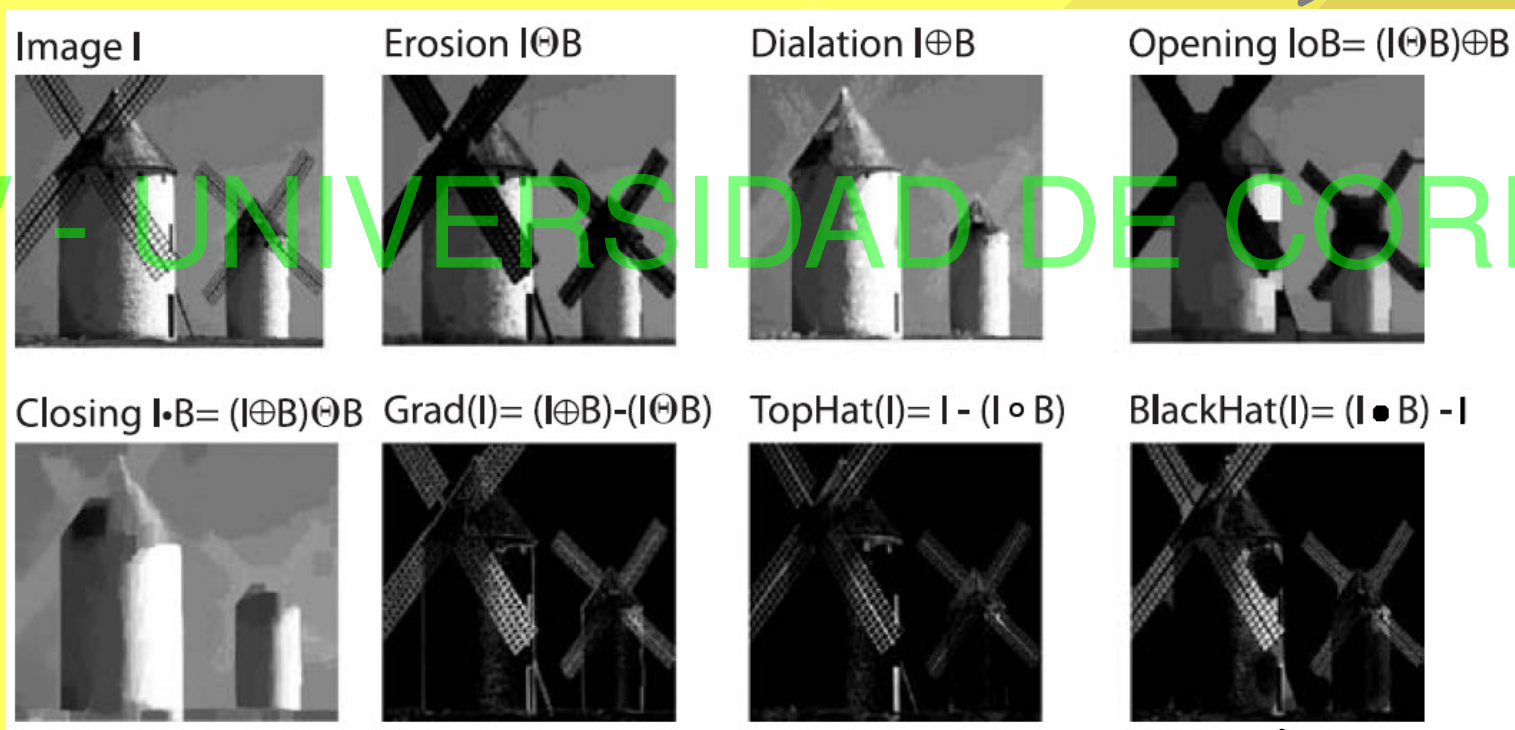
Elemento
Estructural



Métodos en el dominio espacial

- Morfología: Operaciones.

Quitar claro



Quitar oscuro

Resalta transiciones

Aísla objetos claros en fondo oscuro

Aísla objetos oscuros en fondo claro

Métodos en el domino espacial

- Morfolofogía: nivelación del fondo.

luz. El médico cogió la mano de la mujer, luego preguntó, Hay todavía alguien empeñado en descubrir quién mató a aquél, o estamos de acuerdo en que la mano que degolló a ese hombre era la mano de todos nosotros, más exactamente, la mano de cada uno de nosotros. Nadie respondió. La mujer del médico dijo, Démosles un plazo, esperemos hasta mañana, si los soldados no traen comida, entonces avanzamos. Se levantaron, se dividieron, unos para el lado derecho, otros para el lado izquierdo, imprudentemente no pensaron que podía haber estado escuchando algún ciego de la sala de los malvados, por fortuna el diablo no siempre está detrás de la puerta, este proverbio viene muy a cuento ahora. Fuera de tiempo habló el altavoz, últimamente unos días hablaba y otros no, pero siempre a la misma hora, como había prometido, seguro que había en el transmisor un sistema de relojería que en el momento preciso hacía entrar en movimiento la cinta grabada, la razón por la que falló algunas veces no la conoceremos, son cosas del mundo exterior, en todo caso bastante serias, porque el resultado fue un lío de calendario, la llamada cuenta de los días, que algunos ciegos, maníacos por naturaleza, o amantes del orden, que es una forma moderada de manía, intentaban llevar escrupulosamente haciendo nudos en un cordel, aquellos que no se fiaban de su memoria, como quien va escribiendo un diario. Ahora sonaba fuera de tiempo, debía de haberse averiado el mecanismo, un eje torcido, una soldadura suelta, ojalá

Otsu
165

luz. El médico cogió la mano de la mujer, luego preguntó, Hay todavía alguien empeñado en descubrir quién mató a aquél, o estamos de acuerdo en que la mano que degolló a ese hombre era la mano de todos nosotros, más exactamente, la mano de cada uno de nosotros. Nadie respondió. La mujer del médico dijo, Démosles un plazo, esperemos hasta mañana, si los soldados no traen comida, entonces avanzamos. Se levantaron, se dividieron, unos para el lado derecho, otros para el lado izquierdo, imprudentemente no pensaron que podía haber estado escuchando algún ciego de la sala de los malvados, por fortuna el diablo no siempre está detrás de la puerta, este proverbio viene muy a cuento ahora. Fuera de tiempo habló el altavoz, últimamente unos días hablaba y otros no, pero siempre a la misma hora, como había prometido, seguro que había en el transmisor un sistema de relojería que en el momento preciso hacía entrar en movimiento la cinta grabada, la razón por la que falló algunas veces no la conoceremos, son cosas del mundo exterior, en todo caso bastante serias, porque el resultado fue un lío de calendario, la llamada cuenta de los días, que algunos ciegos, maníacos por naturaleza, o amantes del orden, que es una forma moderada de manía, intentaban llevar escrupulosamente haciendo nudos en un cordel, aquellos que no se fiaban de su memoria, como quien va escribiendo un diario. Ahora sonaba fuera de tiempo, debía de haberse averiado el mecanismo, un eje torcido, una soldadura suelta, ojalá

luz. El médico cogió la mano de la mujer, luego preguntó, Hay todavía alguien empeñado en descubrir quién mató a aquél, o estamos de acuerdo en que la mano que degolló a ese hombre era la mano de todos nosotros, más exactamente, la mano de cada uno de nosotros. Nadie respondió. La mujer del médico dijo, Démosles un plazo, esperemos hasta mañana, si los soldados no traen comida, entonces avanzamos. Se levantaron, se dividieron, unos para el lado derecho, otros para el lado izquierdo, imprudentemente no pensaron que podía haber estado escuchando algún ciego de la sala de los malvados, por fortuna el diablo no siempre está detrás de la puerta, este proverbio viene muy a cuento ahora. Fuera de tiempo habló el altavoz, últimamente unos días hablaba y otros no, pero siempre a la misma hora, como había prometido, seguro que había en el transmisor un sistema de relojería que en el momento preciso hacía entrar en movimiento la cinta grabada, la razón por la que falló algunas veces no la conoceremos, son cosas del mundo exterior, en todo caso bastante serias, porque el resultado fue un lío de calendario, la llamada cuenta de los días, que algunos ciegos, maníacos por naturaleza, o amantes del orden, que es una forma moderada de manía, intentaban llevar escrupulosamente haciendo nudos en un cordel, aquellos que no se fiaban de su memoria, como quien va escribiendo un diario. Ahora sonaba fuera de tiempo, debía de haberse averiado el mecanismo, un eje torcido, una soldadura suelta, ojalá

Otsu
145

luz. El médico cogió la mano de la mujer, luego preguntó, Hay todavía alguien empeñado en descubrir quién mató a aquél, o estamos de acuerdo en que la mano que degolló a ese hombre era la mano de todos nosotros, más exactamente, la mano de cada uno de nosotros. Nadie respondió. La mujer del médico dijo, Démosles un plazo, esperemos hasta mañana, si los soldados no traen comida, entonces avanzamos. Se levantaron, se dividieron, unos para el lado derecho, otros para el lado izquierdo, imprudentemente no pensaron que podía haber estado escuchando algún ciego de la sala de los malvados, por fortuna el diablo no siempre está detrás de la puerta, este proverbio viene muy a cuento ahora. Fuera de tiempo habló el altavoz, últimamente unos días hablaba y otros no, pero siempre a la misma hora, como había prometido, seguro que había en el transmisor un sistema de relojería que en el momento preciso hacía entrar en movimiento la cinta grabada, la razón por la que falló algunas veces no la conoceremos, son cosas del mundo exterior, en todo caso bastante serias, porque el resultado fue un lío de calendario, la llamada cuenta de los días, que algunos ciegos, maníacos por naturaleza, o amantes del orden, que es una forma moderada de manía, intentaban llevar escrupulosamente haciendo nudos en un cordel, aquellos que no se fiaban de su memoria, como quien va escribiendo un diario. Ahora sonaba fuera de tiempo, debía de haberse averiado el mecanismo, un eje torcido, una soldadura suelta, ojalá

Referencias

- “Tratamiento digital de imágenes”, González R.C y otros. Addison-Wesley.

FSIV - UNIVERSIDAD DE CORDOBA