PROCESAMIENTO AUDIOVISUAL

Programa de teoría

1. Adquisición y representación de imágenes.
2. Procesamiento global de imágenes.
3. **Filtros y transformaciones locales.**
4. Transformaciones geométricas.
5. Espacios de color y el dominio frecuencial.
6. Análisis de imágenes.
7. Vídeo y sonido digital.

Tema 3. Filtros y transformaciones locales.

3.1. Filtros y convoluciones.
3.2. Suavizado, perfilado y bordes.
3.3. Filtros no lineales.
3.4. Morfología matemática.
A.3. Filtros en OpenCV.

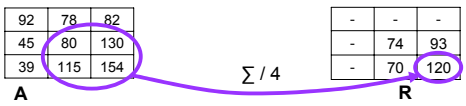
3.1. Filtros y convoluciones.

- **Recordatorio:** en las transformaciones **globales**, cada píxel de salida depende sólo de un píxel de entrada.

- No se tiene en cuenta la relación de **vecindad** entre píxeles. El resultado no varía si los píxeles son *permutados* aleatoriamente y después *reordenados*.
- **Transformación local:** el valor de un píxel depende de la vecindad local de ese píxel.

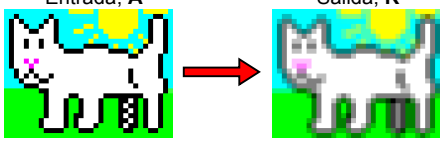
3.1. Filtros y convoluciones.

- **Transformación global:**
  R(x,y):= f(A(x,y)) ó R(x,y):= f(A(x,y), B(x,y))
- **Filtros y transformaciones locales:**
  R(x,y):= f(A(x-k,y-k), ..., A(x,y), ..., A(x+k,y+k))
- **Ejemplo.** Filtro de la media.
  R(x,y):= (A(x-1,y-1)+A(x,y-1)+A(x-1,y)+A(x,y))/4



3.1. Filtros y convoluciones.

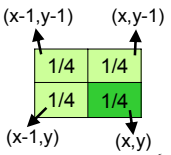
- **Ejemplo.** Entrada, **A** Salida, **R**



- **Resultado:** la imagen se *suaviza*, *difumina* o *emborrona*.
- Las transformaciones locales tienen sentido porque existe una relación de **vecindad** entre los píxeles.
- **Recordatorio:** un píxel representa una magnitud física en un punto de una escena → dos píxeles próximos corresponden a puntos cercanos de la escena → el mundo es "continuo" → los píxeles próximos tendrán valores parecidos.

3.1. Filtros y convoluciones.

- Un tipo interesante de transformaciones locales son las convoluciones discretas.
- **Convolución discreta:** transformación en la que el valor del píxel resultante es una **combinación lineal** de los valores de los píxeles vecinos en la imagen.
- **Ejemplo.** El filtro de la media es una convolución.
  R(x,y):= 1/4·A(x-1,y-1) + 1/4·A(x,y-1) + 1/4·A(x-1,y) + 1/4·A(x,y)
- **Otra forma de ver la convolución:**
  Matriz de coeficientes de la combinación lineal.



3.1. Filtros y convoluciones.

- La matriz de coeficientes es conocida como la **máscara o núcleo (*kernel*) de convolución**.
- **Idea intuitiva:** se pasa la máscara para todo píxel de la imagen, aplicando los coeficientes según donde caigan.

Máscara de convolución

·1/4	·1/4
·1/4	·1/4

¿Cuánto valen estos píxeles?

Imagen de entrada, **A**

92	78	82
45	80	130
39	115	154

Imagen de salida, **R**

$\sum$

3.1. Filtros y convoluciones.

- Sea **M** una máscara de convolución. Se puede definir como **array** [-k...k, -p...p] **de** real

En **X** la máscara va de -k a k, y en **Y** de -p a p. El punto central es (0,0)

- **Algoritmo.** Cálculo de una convolución. Denotamos la convolución como: R:= M⊗A
- **Entrada.** A: imagen de $\max_X$ x $\max_Y$
  M: array [-k...k, -p...p] de real
- **Salida.** R: imagen de $\max_X$ x $\max_Y$
- **Algoritmo:**
  para cada píxel (x, y) de la imagen A **hacer**

$$R(x, y) := \sum_{i=-k..k} \sum_{j=-p..p} M(i, j) \cdot A(x+i, y+j)$$

3.1. Filtros y convoluciones.

- **Ejemplos.** R:= M⊗A

Punto central o **ancla** (*anchor*)

M

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

M

1/9·

1	1	1
1	1	1
1	1	1

N

-1	1

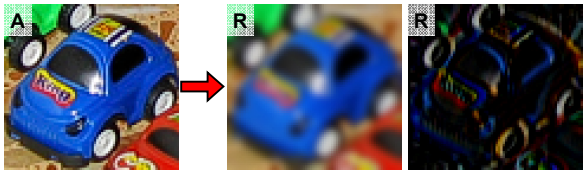
El valor de un píxel es la media de los 9 píxeles circundantes

Igual que antes, pero factorizamos el múltiplo común (suma total = 1)

Restar al píxel el valor del píxel de la izquierda

3.1. Filtros y convoluciones.

- Sobre una imagen se pueden aplicar **sucesivas operaciones** de convolución: ...M3⊗(M2⊗(M1⊗A)))



Máscara de media aplicada 4 veces

Máscara de media + máscara de resta

- **Ojo:** la **combinación de convoluciones** es equivalente a una sola convolución:

$$M2 \otimes (M1 \otimes A) = M \otimes A$$

3.1. Filtros y convoluciones.

- ¿Cómo calcular el resultado de la combinación?
- **Respuesta:** comprobar el efecto sobre una imagen sólo con el píxel central a UNO ("señal impulso").

-1	1	⊗ 1/9·	1	1	1	⊗	0	0	0	0	0	=	Máscara equivalente
			1	1	1		0	0	0	0	0		
			1	1	1		0	0	1	0	0		
							0	0	0	0	0		
							0	0	0	0	0		

-1	1	⊗ 1/9·	0	0	0	0	0	= 1/9·	0	0	0	0	0	
			0	1	1	1	0		0	1	0	0	-1	
			0	1	1	1	0		0	1	0	0	-1	
			0	1	1	1	0		0	1	0	0	-1	
			0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	

3.1. Filtros y convoluciones.

- Análogamente, algunas convoluciones se pueden obtener combinando otras más simples: **núcleos separables**.
- **Ejemplo.**

	1													
1/3·	1	⊗ 1/3·	1	1	1	⊗A =	1/9·	1	1	1	⊗A			
	1							1	1	1				
								1	1	1				

- **Resultado:** el filtro de la media es separable.
  - En lugar de aplicar una máscara de 3x3 se pueden aplicar dos máscaras de 1x3 y 3x1 (**máscaras unidimensionales**).
  - Puede ser útil para hacer los cálculos más **eficientes**.

3.1. Filtros y convoluciones.

- ¿Qué hacer con los píxeles de los bordes?

·1/4	·1/4	⊗	9	4	8
·1/4	·1/4		7	8	4
			3	2	2

- **Posibilidades:**

1. Asignar un 0 en el resultado a los píxeles donde no cabe la máscara.

0	**0**	**0**
0	7	6
0	5	4

2. Suponer que los píxeles que se salen tienen valor 0 (u otra constante).

2	**3**	**3**
4	7	6
2	5	4

3. Modificar la operación en los píxeles que no caben (variar el multiplicador).

9	**6**	**6**
8	7	6
5	5	4

4. Suponer que la imagen se extiende por los extremos (p.ej. como un espejo).

5	**4**	**4**
7	7	6
8	5	4

3.1. Filtros y convoluciones.

- Las convoluciones son una discretización de la idea de convolución usada en señales. (Repasar teoría de señales...)
- **Diferencias:** las convoluciones usadas aquí son discretas y bidimensionales.
- **Idea:** las máscaras de convolución son matrices de números → se pueden considerar, a su vez, como imágenes.
- **Propiedades:**
  - **Asociativa:** M2⊗(M1⊗A) = (M2⊗M1)⊗A
  - **Conmutativa:** M2⊗M1⊗A = M1⊗M2⊗A
  - **Ojo:** al aplicar una convolución puede ocurrir **saturación** de píxeles. Si ocurre esto, el orden sí que puede ser importante.

3.2. Suavizado, perfilado y bordes.

- Aplicando distintos operadores de convolución es posible obtener **diferentes efectos**:
  - **Suavizado**: o difuminación de la imagen, reducir contrastes abruptos en la imagen.
  - **Perfilado**: resaltar los contrastes, lo contrario al suavizado.
  - **Bordes**: detectar zonas de variación en la imagen.
  - **Detección** de cierto tipo de características, como esquinas, segmentos, etc.
- Suavizado y perfilado son más habituales en **restauración y mejora** de imágenes.
- Bordes y detección de características suelen usarse más en **análisis de imágenes**.

3.2.1. Operadores de suavizado.

- El operador de suavizado más simple es la **convolución de media** (media aritmética).
- **Parámetros** del operador:
  - Ancho y alto de la región en la que se aplica: *w* x *h*.
  - Posición del ancla.
- Normalmente, *w* y *h* son impares y el ancla es el píxel central.
- La máscara es un simple array de unos de tamaño *wxh*.

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Máscara de media de 3x3

1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

Media de 5x5

3.2.1. Operadores de suavizado.

- Cuanto mayor es la máscara, mayor es el efecto de **difuminación** de la imagen.

3.2.1. Operadores de suavizado.

- **Ventajas** (respecto a otros suavizados):
  - Sencillo y rápido de aplicar.
  - Fácil definir un comportamiento para los **píxeles de los bordes**: tomar la media de los píxeles que quepan.
  - Recordatorio: el operador de media es **separable**.

1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

↔

1	1	1	1	1	⊗	1
						1
						1
						1
						1

Media de 5x5
Total: 25 sumas →$o(n^2)$

Media de 5x1 y de 1x5
Total: 10 sumas →$o(2n)$

3.2.1. Operadores de suavizado.

- En algunos casos puede ser interesante aplicar **suavizados direccionales**: horizontales, verticales o en cualquier dirección.

1	1	1	1	1

Media horizontal 5 píxeles

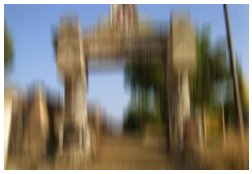
1
1
1

Media vertical 3p

0	0	1
0	1	0
1	0	0

Media diagonal 3p

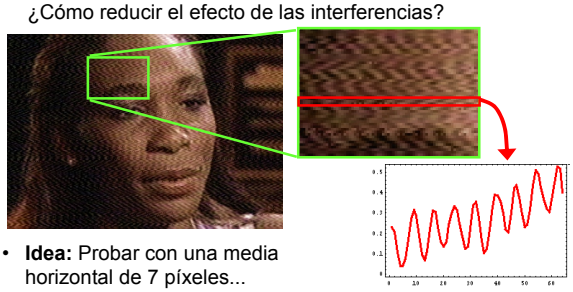
Media horiz. 31p



Media vert. 31p

3.2.1. Operadores de suavizado.

- **Ejemplo 1.** En una aplicación trabajamos con imágenes capturadas de TV. El canal tiene muchas interferencias, que provocan una oscilación cada 7 píxeles horizontales.
  ¿Cómo reducir el efecto de las interferencias?

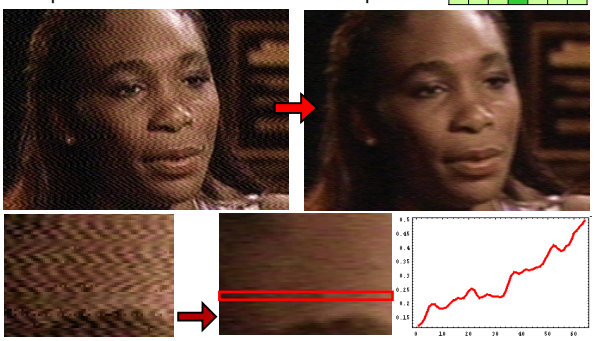


- **Idea:** Probar con una media horizontal de 7 píxeles...

3.2.1. Operadores de suavizado.

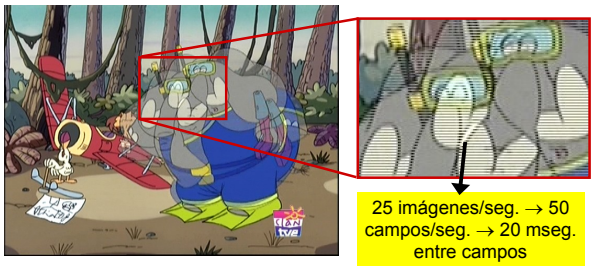
- Aplicación de media horizontal de 7 píxeles.

1	1	1	1	1	1	1



3.2.1. Operadores de suavizado.

- **Ejemplo 2. Entrelazado de vídeo:** para aumentar la frecuencia de refresco del vídeo se separan las líneas pares y las impares (1 **campo** (*field*)=1/2 imagen). Al capturar una imagen, se mezclan los campos produciendo efectos raros.



25 imágenes/seg. → 50 campos/seg. → 20 mseg. entre campos

3.2.1. Operadores de suavizado.

- Duplicar las filas pares (o las impares) y luego aplicar una media vertical de 2 píxeles (para interpolar).

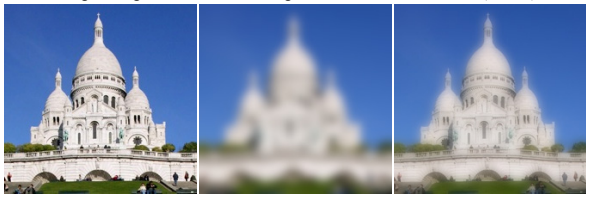
1
1

Imagen entrelazada | Duplicadas filas pares | Suavizado vertical (interp.)

3.2.1. Operadores de suavizado.

- **Ejemplo 3. Efecto de niebla.** Dada una imagen bien definida, queremos simular una niebla (objetivo *empañado*).
- **Idea:** calcular una media ponderada entre la imagen original y un suavizado gaussiano de la imagen.

A. Imagen original | **B**. Suaviz. gauss. 40x40 | Suma: 0,3**A**+0,7**B**



- Se puede conseguir el mismo resultado con una sola convolución. ¿Cuál sería la máscara equivalente?

3.2.1. Operadores de suavizado.

- Cuando se aplica la media con tamaños grandes se obtienen resultados **artificiosos** (a menudo **indeseados**).

- **Motivo:** la media se calcula en una región cuadrada.
- Sería mejor aplicarla a una **región "redonda"**.
- O, mejor, usar suavizado gaussiano...

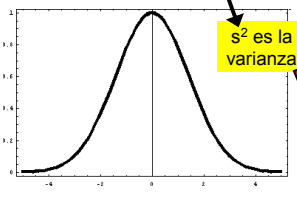
3.2.1. Operadores de suavizado.

- **Suavizado gaussiano:** media ponderada, donde los pesos toman la forma de una campana de Gauss.
- **Ejemplo.** Suavizado gaussiano horizontal.

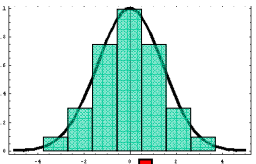
Campana de Gauss

$f(x) = e^{-x^2/s^2}$

s^2 es la varianza



Campana discreta



1/64· | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | 1 |

3.2.1. Operadores de suavizado.

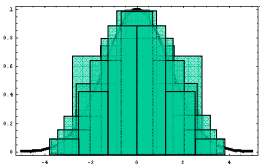
- La **varianza**, s^2, indica el nivel de suavizado.
  - **Varianza grande:** campana más ancha, más suavizado.
  - **Varianza pequeña:** campana más estrecha, menos suavizado.
  - Se mide en píxeles.
- **Cálculo de la máscara gaussiana (1D):** calcular la función, discretizar en el rango, discretizar en el valor y calcular el multiplicador...
- ¿No existe una forma más rápida?
- **Idea:** el triángulo de Pascal.

1
1 1
1 2 1
1 3 3 1
1 4 6 4 1
1 5 10 10 5 1

3.2.1. Operadores de suavizado.

- **¡Magia!** Las filas del triángulo de Pascal forman discretizaciones de la campana de Gauss.

1/2· | 1 | 1 |
1/4· | 1 | 2 | 1 |
1/8· | 1 | 3 | 3 | 1 |
1/16· | 1 | 4 | 6 | 4 | 1 |
1/32· | 1 | 5 | 10 | 10 | 5 | 1 |
1/64· | 1 | 6 | 15 | 20 | 15 | 6 | 1 |



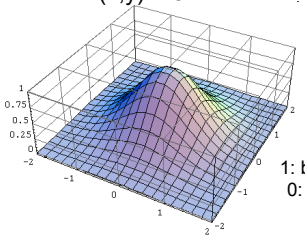
¿Por qué ocurre así? Recordar el **teorema central del límite**...

3.2.1. Operadores de suavizado.

- Normalmente, el suavizado gaussiano se aplica en dos dimensiones. Los pesos de la máscara dependen de la **distancia al píxel central**.

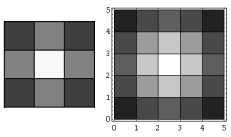
Campana de Gauss 2D

$f(x,y) = e^{-(x^2+y^2)/s^2}$



Máscara gaussiana de 3x3

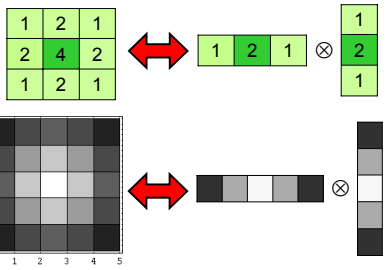
1/16· | 1 | 2 | 1 |
| 2 | 4 | 2 |
| 1 | 2 | 1 |



1: blanco
0: negro

3.2.1. Operadores de suavizado.

- **Propiedad interesante:** el filtro gaussiano es separable.
- **Resultado:** se puede obtener un suavizado 2D aplicando dos máscaras gaussianas bidimensionales, una horizontal y otra vertical.



3.2.1. Operadores de suavizado.

- **Comparación:** media y suavizado gaussiano, 2D.

3.2.1. Operadores de suavizado.

- **Comparación:** media y suavizado gaussiano, 1D.

3.2.1. Operadores de suavizado.

- **Resultados** de la comparación:
  - Para conseguir un mismo "**grado de suavizado**" la máscara gaussiana debe ser de mayor tamaño.
    → Se puede tomar como medida la **varianza** de la máscara correspondiente.
  - El efecto del suavizado gaussiano es más **natural** (más similar a un desenfoque) que la media.
    → Suele ser más habitual en procesamiento y análisis de imágenes.
  - Ambos filtros son **separables.**
    → Si la máscara es de nxn, pasamos de $o(n^2)$ a $o(2n)$.

3.2.1. Operadores de suavizado.

- **Ejemplo 1.** Protección de testigos.

Se aplica un suavizado pero sólo en cierta región de interés (**ROI**), en este caso elíptica.

- **Ejemplo 2.** Resaltar objetos de interés.

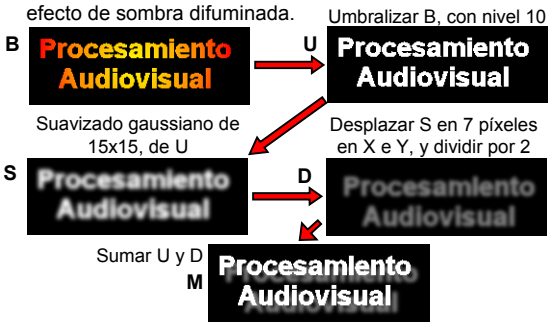
3.2.1. Operadores de suavizado.

- **Ejemplo 2b.** Simulación de efecto *tilt-shift*.

La imagen parece enfocada en una zona pequeña, simulando un efecto de **miniatura**.

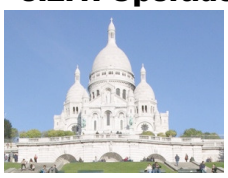
3.2.1. Operadores de suavizado.

- **Ejemplo 3.** Sombra difusa.
  Añadir a una imagen **A** una etiqueta de texto **B**, con un efecto de sombra difuminada.



3.2.1. Operadores de suavizado.

A



B

M

Multiplicar A por M, en posición (x_0, y_0)

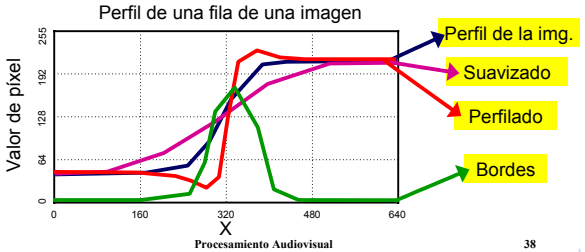
Sumar T y B, en posición (x_0, y_0)

T

R

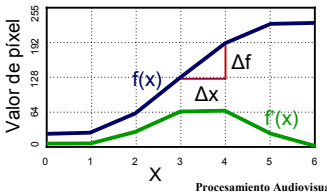
3.2.2. Operadores de bordes.

- **Perfilado** y **detección de bordes** están relacionados con el suavizado:
  - **Suavizado**: reducir las variaciones en la imagen.
  - **Perfilado**: aumentar las variaciones en la imagen.
  - **Bordes**: encontrar las zonas de variación.



3.2.2. Operadores de bordes.

- Matemáticamente, la variación de una función **f(x)** cualquiera viene dada por la **derivada** de esa función:
  - f'(x) > 0 : función creciente en X
  - f'(x) < 0 : función decreciente en X
  - f'(x) = 0 : función uniforme en X
- En nuestro caso, tenemos **funciones discretas**. La **"derivada discreta"** se obtiene calculando diferencias.



$$f'(x) = \Delta f/\Delta x$$

$$\underbrace{\Delta f = f(x)-f(x-1) \qquad \Delta x = 1}$$

$$f'(x) = f(x) - f(x-1)$$

- **Conclusión**: la derivada se calculará con máscaras del tipo:

-1	1

3.2.2. Operadores de bordes.

Máscara de derivada en X (M):

-1	1

Derivada en Y:

-1
1

Derivadas en diagonales:

-1	0
0	1

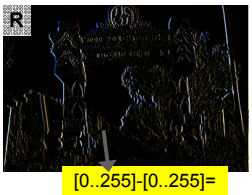
0	-1
1	0

- **Ejemplo. Derivada en X.** R:= M⊗A

A

Imagen de entrada

R



Derivada en X (x2)

[0..255]-[0..255]= [-255..255]

3.2.2. Operadores de bordes.

- Los bordes decrecientes se saturan a 0...
- Podemos sumar 128 para apreciar mejor el resultado:
  - Gris (128): diferencia 0
  - Negro: decreciente
  - Blanco: creciente

R_x

Derivada X (+128)

R_y

Derivada Y (+128)

- Se produce una especie de "**bajorrelieve**" (*emboss*), que puede usarse en efectos especiales.

3.2.2. Operadores de bordes.

- Los operadores de bordes son muy **sensibles al ruido**.
- Es posible (y adecuado) **combinar** los operadores de **bordes** con **suavizados**.

-1	1

⊗

1	2	1
2	4	2
1	2	1

=

1	1	-1	-1
2	2	-2	-2
1	1	-1	-1

R_x

Derivada X (+128)

R'_x

Suaviz. + Deriv. X

3.2.2. Operadores de bordes.

- Existen algunos **operadores** de bordes **estándar**.
- **Filtros de Prewitt:**

Filtro de Prewitt 3x3, derivada en X

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

Filtro de Prewitt 3x3, derivada en Y

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

- **Filtros de Scharr:**

Filtro de Scharr 3x3, derivada en X

-3	0	3
-10	0	10
-3	0	3

Filtro de Scharr 3x3, derivada en Y

-3	-10	-3
0	0	0
3	10	3

3.2.2. Operadores de bordes.

- **Filtros de Sobel:** se construyen usando la derivada de la gaussiana.

Filtro de Sobel 3x3, derivada en X

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Filtro de Sobel 3x3, derivada en Y

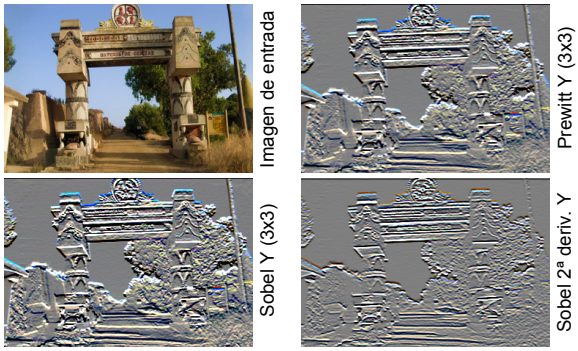
-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

- Además, el filtro de Sobel permite calcular derivadas conjuntas en X e Y, derivadas segundas, terceras, etc.
- **Ejemplo.** Derivada segunda en X.

-1	1	⊗	-1	1	=	-1	2	-1

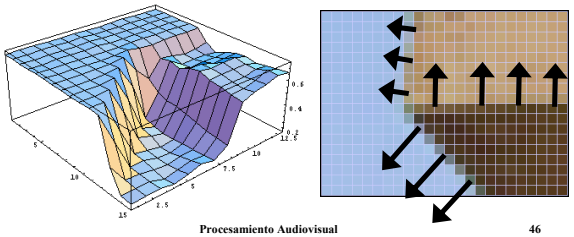
3.2.2. Operadores de bordes.

- **Ejemplos.**



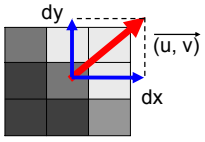
3.2.2. Operadores de bordes.

- Realmente, en dos o más dimensiones, en lugar de la derivada tiene más sentido el concepto de **gradiente**.
- ¿Qué es el gradiente? → Repasar cálculo...
- **El gradiente** indica la dirección de máxima variación de una función (en 2D, la máxima pendiente).



3.2.2. Operadores de bordes.

- El **gradiente** en un punto es un vector $\overrightarrow{(u, v)}$:
  - **Ángulo:** dirección de máxima variación.
  - **Magnitud:** intensidad de la variación.



- El **gradiente** está relacionado con las **derivadas**:
  - u = Derivada en X del punto
  - v = Derivada en Y del punto
  - Teniendo dy y dx, ¿cuánto vale el ángulo y la magnitud?

3.2.2. Operadores de bordes.

- **Cálculo del gradiente:**
  - Calcular **derivada en X: Dx** (por ejemplo, con un filtro de Sobel, Prewitt,...)
  - Calcular **derivada en Y: Dy**
  - **Magnitud** del gradiente: $\sqrt{Dx^2 + Dy^2}$
  - **Ángulo** del gradiente: atan2 (Dy, Dx)

Valor absoluto de derivada en X (Sobel de 3x3)

Valor absoluto de derivada en Y (Sobel de 3x3)

Magnitud del gradiente

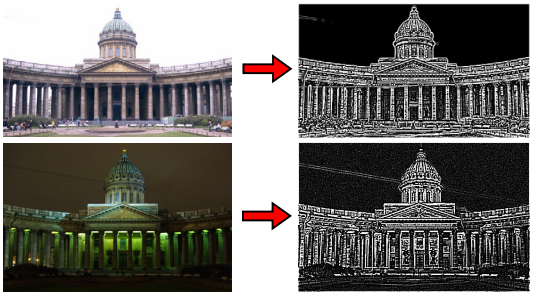
3.2.2. Operadores de bordes.

- El gradiente da lugar al concepto de **borde**.
- Un **borde** en una imagen es una curva a lo largo de la cual el gradiente es máximo.

El borde es perpendicular a la dirección del gradiente.

3.2.2. Operadores de bordes.

- Los bordes de una escena son **invariantes a cambios** de luminosidad, color de la fuente de luz, etc. → En **análisis de imágenes** usar los bordes (en lugar de las originales).



3.2.2. Operadores de bordes.

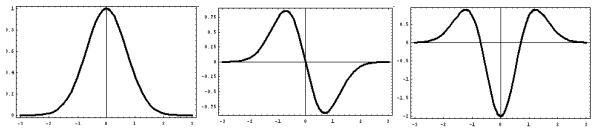
- **Otras formas de calcular los bordes:**

1. Calcular la derivada en diferentes direcciones: D_1, D_2, D_3, D_4.
2. Para cada punto, la magnitud del gradiente es la derivada de máximo valor absoluto:
   $G(x,y) := \max \{|D_1(x,y)|, |D_2(x,y)|, |D_3(x,y)|, |D_4(x,y)|\}$
3. La dirección del gradiente viene dada por el ángulo que ha producido el máximo:
   $A(x,y) := \text{argmax} \{|D_1(x,y)|, |D_2(x,y)|, |D_3(x,y)|, |D_4(x,y)|\}$

-1 -1 -1	-1 -1 0	-1 0 1	0 1 1
0 0 0	-1 0 1	-1 0 1	-1 0 1
1 1 1	0 1 1	-1 0 1	-1 -1 0
D_1: N-S	D_2: NE-SO	D_3: E-O	D_4: SE-NO

3.2.2. Operadores de bordes.

- Otra forma más sencilla (aproximada) es usar máscaras de convolución adecuadas, por ejemplo de **Laplace**.
- La **función de Laplace** es la segunda derivada de la gaussiana.



$f(x) = e^{-x^2/s^2}$	$df(x)/dx$	$d^2f(x)/dx^2$
Másc. Gaussiana Operador de suavizado	**Másc. Sobel** Operador de derivación	**Másc. Laplaciana** Operador de gradiente

3.2.2. Operadores de bordes.

- La máscara **laplaciana** se define usando la función de Laplace.
- Ejemplos de **máscaras de Laplace**.

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

"Diferencia entre el píxel central y la media de sus vecinos..."

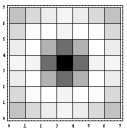
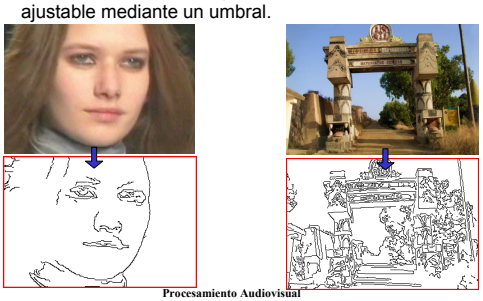


Imagen de entrada

Laplaciana 2 (3x3)

3.2.2. Operadores de bordes.

- **Detector de bordes de Canny**:
  - No sólo usa convoluciones (operadores de gradiente), sino que busca el **máximo gradiente** a lo largo de un borde.
  - El resultado es una **imagen binaria** (borde/no borde), ajustable mediante un umbral.



3.2.3. Operadores de perfilado.

- **Perfilado:** destacar y hacer más visibles las variaciones y bordes de la imagen. Es lo contrario al suavizado.
- Permite eliminar la apariencia borrosa de las imágenes, debida a imperfecciones en las lentes.
- ... aunque tampoco se pueden hacer milagros...

← Suavizado Original Perfilado →

3.2.3. Operadores de perfilado.

- El perfilado se puede conseguir sumando a la imagen **original**, la **laplaciana** ponderada por cierto factor.
- Lo cual equivale a usar una máscara de convolución adecuada:

	Laplaciana		Identidad		Perfilado
1·	-1 -1 -1 / -1 8 -1 / -1 -1 -1	+	0 0 0 / 0 1 0 / 0 0 0	=	-1 -1 -1 / -1 9 -1 / -1 -1 -1

- Más o menos perfilado dando distintos pesos, **a**.

a·	0	-1	0	+	0	0	0	=	0	-a	0
	-1	4	-1		0	1	0		-a	4a+1	-a
	0	-1	0		0	0	0		0	-a	0

Ojo: la función cvLaplace usa máscaras "invertidas", luego **a** debe ser < 0

3.2.3. Operadores de perfilado.

- **Ejemplos.** Variando pesos y tamaño de la laplaciana.

3.2.3. Operadores de perfilado.

- **Cuidado con el perfilado.** La operación de perfilado aumenta el nivel de ruido de la imagen.

3.2. Suavizado, perfilado y bordes.

Conclusiones:

- Las **convoluciones** son una herramienta fundamental en procesamiento de imágenes.
  - **Una misma base común**: combinaciones lineales de una vecindad local de los píxeles (de cierto tamaño).
  - **Diversos usos**: según los valores de los coeficientes: suavizado, eliminación de ruido, bordes, perfilado, etc.
- Se pueden definir **operaciones similares** sobre **vídeo** (usando la dimensión temporal, por ejemplo, suavizado a lo largo del tiempo), y sobre **audio digital** (por ejemplo, suavizado de la señal o introducción de eco).
- Es importante conocer el **significado matemático** de los procesos aplicados (derivadas, gradientes, integrales,...).

3.3. Filtros no lineales.

- **Recordatorio:** las transformaciones locales son funciones del tipo:

$$R(x,y) := f(A(x-k,y-k), ..., A(x,y), ..., A(x+k,y+k))$$

- En las convoluciones, **f** es una **combinación lineal** cualquiera. Pero...
- También puede ser interesante usar otras **funciones no lineales**.

- **Ejemplo**, media geométrica.

$$R(x,y) := \sqrt[4]{A(x-1,y-1)\cdot A(x,y-1)\cdot A(x-1,y)\cdot A(x,y)}$$

3.3. Filtros no lineales.

- **Ejemplo.** Media geométrica de 5x5.

- Aunque existen muchas (en teoría infinitas) posibles transformaciones no lineales, en la práctica no todas son útiles e interesantes.
- Las que más se usan son: **máximo**, **mínimo** y **mediana**.

3.3. Filtros no lineales.

- **Filtro de Máximo:**
  R(x,y):= max {A(x-k,y-k), ..., A(x,y), ..., A(x+k,y+k)}
  donde **k** es el radio, el tamaño (o *apertura*) es **2k+1**

3.3. Filtros no lineales.

- El resultado es un cierto efecto de **difuminación** y **aclaramiento** de la imagen. Desaparecen los detalles más oscuros.
- Si el **tamaño es grande**, pueden ocurrir dos efectos:

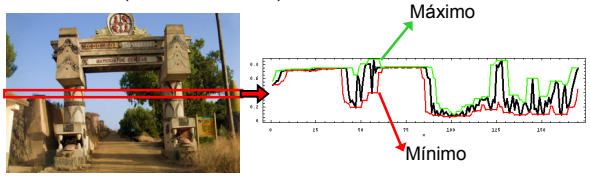
1. **Efecto de cuadriculado.**
   Como el máximo se aplica en una zona cuadrada, los píxeles muy claros *generan* un cuadrado uniforme alrededor.
2. **Aparición de colores falsos.**
   Al aplicarlo en los tres canales (R,G,B) independientemente, el máximo en los 3 puede no corresponder a un color presente en la imagen original.

3.3. Filtros no lineales.

- **Filtro de Mínimo:**
  R(x,y):= min {A(x-k,y-k), ..., A(x,y), ..., A(x+k,y+k)}
  donde **k** es el radio, el tamaño (o *apertura*) es **2k+1**

3.3. Filtros no lineales.

- El efecto es **parecido** al máximo, pero tomando los valores menores (los más oscuros).



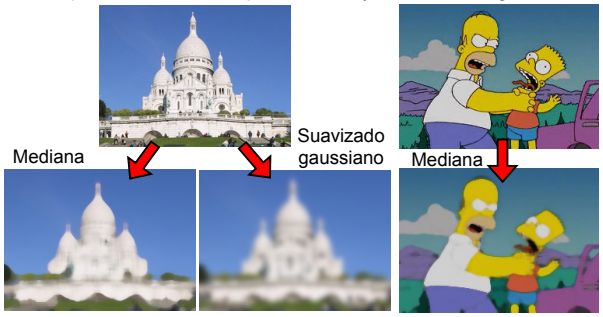
- **Ideas:**
  - Para evitar el **efecto de cuadriculado** se podría aplicar el máximo/mínimo a una zona circular.
  - Para evitar la aparición de **colores falsos** se podría tomar el máximo de las sumas de R+G+B.

3.3. Filtros no lineales.

- Otro filtro relacionado es el de la **mediana**.
- **La mediana** de **m** números es un número **p** tal que $\lceil \mathbf{m}/2 \rceil$ de esos números son ≤ **p**, y otros $\lfloor \mathbf{m}/2 \rfloor$ son ≥ **p**.
  R(x,y):= mediana {A(x-k,y-k), ..., A(x,y), ..., A(x+k,y+k)}

3.3. Filtros no lineales.

- La mediana produce un efecto de **suavizado**, aunque más "abrupto" en los bordes que la media y el suavizado gaussiano.



- Pero el verdadero interés es la **eliminación de ruido** puntual.

3.3. Filtros no lineales.

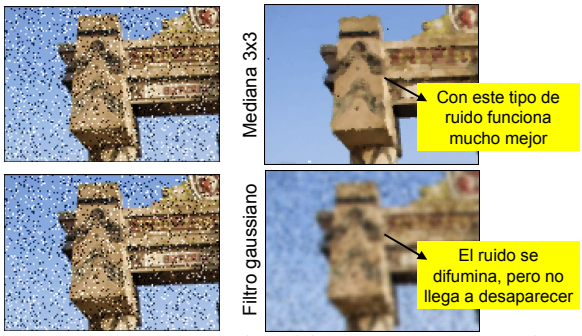
- **Ejemplo.** El ruido denominado "sal y pimienta" es producido por picos de perturbación, positivos o negativos. Puede deberse a un canal ruidoso.

3.3. Filtros no lineales.

- Se puede intentar eliminar (o reducir) el ruido con un filtro gaussiano o con una mediana.

3.3. Filtros no lineales.

- Se puede intentar eliminar (o reducir) el ruido con un filtro gaussiano o con una mediana.



3.3. Filtros no lineales.

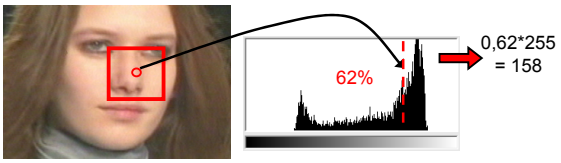
- **Otros ejemplos** de eliminación de ruido.

3.3. Filtros no lineales.

- **Más filtros no lineales:** recordar la ecualización local del histograma.
  - Considerar una **operación global** como el estiramiento, la ecualización del histograma o la umbralización.
  - **Globalmente** se calculan los parámetros y se aplican a **toda la imagen**: estiramiento (máximo y mínimo del histograma), ecualización (función de ecualización) y umbralización (umbral a aplicar).
  - En lugar de aplicarlos globalmente, calcular los **parámetros para cada punto**, usando una vecindad local.
  - Aplicar la transformación a cada punto, usando sus parámetros **específicos**.

3.3. Filtros no lineales.

- **Algoritmo. Ecualización local de tamaño axb:**
  1. Para cada punto (x,y) de la imagen A, calcular el histograma de una región rectangular desde (x-a, y-b) hasta (x+a, y+b) → H(v)
  2. Calcular el percentil del valor A(x,y), es decir: p:= (H(0)+H(1)+...H(A(x,y)))/((2a+1)(2b+1))
  3. Hacer R(x,y):= 255·p



3.3. Filtros no lineales.

- **Ejemplo.** Ecualización local del histograma.

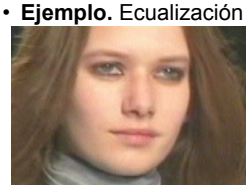


Imagen de entrada

Resolución: 299x202

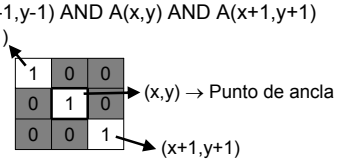
Tamaño: 25x25 Tamaño: 50x50 Tamaño: 120x120

- La misma idea se podría aplicar a umbralización y estiramiento.

3.4. Morfología matemática.

- Los **operadores de morfología matemática** son un conjunto de filtros locales sencillos, que se pueden combinar para obtener resultados más complejos.
- Originalmente, están definidos sobre **imágenes binarias**.
- La idea es muy parecida a una convolución, pero utilizando las **operaciones booleanas** AND y OR.
- **Ejemplo.** R(x,y):= A(x-1,y-1) AND A(x,y) AND A(x+1,y+1)

Elemento estructurante (= máscara de convolución)



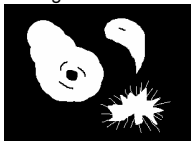
3.4. Morfología matemática.

- El **elemento estructurante** define los píxeles que se usan en la operación y los que no.
- Dado un elemento estructurante, **E**, de cierta forma y tamaño, y una imagen binaria **B**, se definen dos **operaciones**:
  - **Dilatación B⊕E.** Combinar con OR los valores correspondientes a los píxeles 1 del elemento estructurante.
  - **Erosión B⊗E.** Combinar con AND los valores correspondientes a los píxeles 1 del elemento estructurante.
- La idea se puede generalizar a **imágenes no binarias**:
  - **Dilatación.** Combinar con Máximo.
  - **Erosión.** Combinar con Mínimo.

3.4. Morfología matemática.

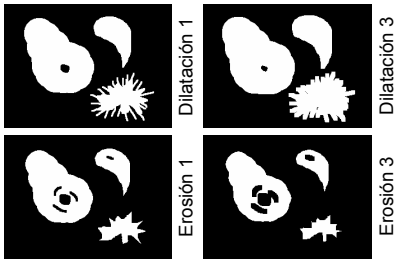
- El efecto de la **dilatación** es **extender o ampliar** las regiones de la imagen con valor 1 (color blanco), mientras que la **erosión** las **reduce**.
- La cantidad depende del **tamaño** y **forma** del elemento estructurante y del **número de veces** que se aplican.
- **Ejemplo.**

Imagen de entrada



Elemento estructurante

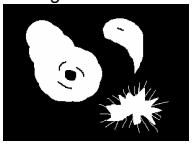
1	1	1
1	1	1
1	1	1



3.4. Morfología matemática.

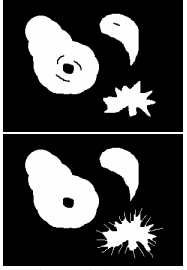
- Existen otras dos **operaciones frecuentes** basadas en erosión y dilatación:
  - **Abrir.** Aplicar erosión y después dilatación: **(B⊗E)⊕E**
  - **Cerrar.** Aplicar dilatación y después erosión: **(B⊕E)⊗E**

Imagen de entrada



Elemento estructurante

1	1	1
1	1	1
1	1	1



Abrir: desaparecen los puntos sueltos o estructuras finas

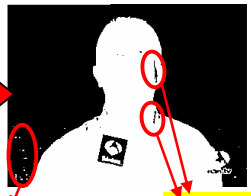
Cerrar: se rellenan los huecos negros de cierto tamaño

3.4. Morfología matemática.

- **Ejemplo. Segmentación de objetos.**
  Para segmentar un objeto del fondo usamos una simple umbralización. Funciona más o menos bien, pero aparecen algunos puntos mal clasificados.

Imagen de entrada

Umbralizada (u=130)

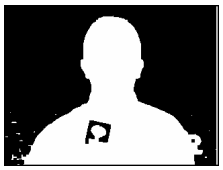


- Usar morfología para arreglar los falsos.

3.4. Morfología matemática.

Imagen umbralizada

Cerrar 2 (B⊕E⊕E)⊗E⊗E



Eliminar falsos negativos

Abrir 1 (B⊗E)⊕E

Eliminar falsos positivos

Erosión 2 (B⊗E)⊗E

Eliminar píxeles de los bordes

3.4. Morfología matemática.

- El resultado es la **máscara** para segmentar el objeto.

- ¿Para qué se hacen las dos últimas erosiones?

3.4. Morfología matemática.

- En **imágenes no binarias**, el resultado de dilatación y erosión es parecido a las operaciones de máximo y mínimo.
- De hecho, es igual si el elemento estructurante es todo 1.

Imagen entrada

Erosión, 1

Dilatación, 3

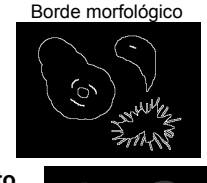
Cierre, 2

3.4. Morfología matemática.

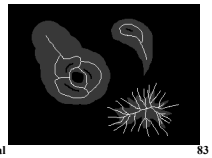
- Existen otras operaciones de morfología, basadas en las elementales, que son útiles en análisis de imágenes.
- **Ejemplo 1. Borde morfológico: (B⊕E) - B**

Imagen de entrada

Borde morfológico



- **Ejemplo 2. Adelgazamiento (*thinning*).** Aplicar una erosión, pero no eliminar el punto (no poner a 0) si se separa una región conexa en varias o si sólo queda un punto.



3. Filtros y transformaciones locales.

Conclusiones:

- Las operaciones de **procesamiento local** son **esenciales** en mejora de imágenes, restauración, análisis, etc.
- Dos **categorías** básicas:
  - **Filtros lineales o convoluciones:** la salida es una combinación lineal de los píxeles en una vecindad → **Suavizado**, **bordes**, **perfilado**, etc.
  - **Filtros no lineales:** se usan funciones no lineales → **Máximo**, **mínimo**, operaciones de **morfología**, etc.
- Es posible **combinarlas** con operaciones de procesamiento global.
- La idea de "localidad" se puede extender a vídeo y a sonido, considerando la **dimensión temporal**.

Anexo A.3.
Filtros en OpenCV.

- Filtros lineales predefinidos.
- Filtros lineales arbitrarios.
- Filtros de máximo, mínimo y mediana.
- Operaciones de morfología matemática.
- Ejercicios.

A.3. Filtros en OpenCV.

Operaciones de procesamiento local:

- De modo práctico, podemos clasificar las operaciones de filtrado existentes en los siguientes grupos:
  - Filtros **lineales predefinidos** de suavizado y detección de bordes
  - Filtros **lineales arbitrarios**, definidos por el usuario en tiempo de ejecución
  - Filtros de **máximo**, **mínimo** y **mediana**
  - Operaciones de **morfología** matemática
- **Ojo** con las **restricciones**. Algunas operaciones requieren imágenes de 1 canal o profundidad float (habrá que usar: cvSplit, cvMerge y cvConvertScale).

A.3. Filtros en OpenCV.

- Filtros **lineales predefinidos**:
  - cvSmooth, cvSobel, cvLaplace, cvCanny (este último es un filtro estándar, pero no se puede considerar como lineal).
- Filtros **lineales arbitrarios**:
  - cvFilter2D
- Filtros de **máximo**, **mínimo** y **mediana**:
  - cvDilate (max), cvErode (min), cvSmooth (mediana).
- Filtros de **morfología matemática**:
  - cvCreateStructuringElementEx, cvReleaseStructuringElement, cvErode, cvDilate, cvMorphologyEx

A.3. Filtros en OpenCV.

- **Filtros de suavizado de una imagen**:
  void **cvSmooth** (const CvArr* src, CvArr* dst,
  int type=CV_GAUSSIAN, int param1=3, int param2=0)
  - El parámetro **type** indica el tipo de suavizado a aplicar, y el tamaño viene dado en **param1** y **param2**:
    - CV_BLUR: media de param1xparam2. **¡Ojo!** deben ser impares.
    - CV_BLUR_NO_SCALE: media, pero sin dividir por el número de píxeles (usar sólo con profundidades mayores que 8 bits).
    - CV_GAUSSIAN: filtro gaussiano de param1xparam2. También deben ser valores impares.
    - CV_MEDIAN: filtro de mediana, de param1xparam1 (el tamaño es siempre cuadrado).
    - CV_BILATERAL: es un filtro de suavizado. No es una convolución en el sentido tradicional. Reduce el número de colores de una imagen, pero no altera los bordes abruptos. **param1** indican el grado de similitud entre colores, y **param2** es un parámetro espacial. Ver la documentación.

A.3. Filtros en OpenCV.

- **Filtros de Sobel de una imagen**:
  void **cvSobel** (const CvArr* A, CvArr* R, int dx, int dy, int apertureSize=3)
  - **A**: imagen de origen, **R**: imagen de destino. Ambas deben ser de 1 solo canal. Además, **R** debe ser de 16 bits (si **A** es de 8), o float de 32.
  - **dx**, **dy**: orden de la derivada en X y en Y. Normalmt. usaremos (1,0) o (0,1).
  - **apertureSize**: tamaño de la máscara de convolución: -1 (filtro de Scharr), 1 (resta simple), 3, 5 ó 7.
  - **Ejemplo**. Calcular la magnitud del gradiente de la imagen **img** con 3 canales.

```
int i;
IplImage *tmp, *can[9];  // can[0,1,2] = canales orig.; [3,4,5] = deriv. X, [6,7,8] = deriv. Y
tmp=  cvCreateImage(cvGetSize(img), IPL_DEPTH_32F, 3);
cvConvert(img, tmp);
for (i= 0; i<9; i++) can[i]= cvCreateImage(cvGetSize(img), IPL_DEPTH_32F, 1);
cvSplit(tmp, can[0], can[1], can[2], 0);
for (i= 0; i<3; i++) {
     cvSobel(can[i], can[3+i], 1, 0, 3);  cvPow(can[3+i], can[3+i], 2.0); // Derivada X
     cvSobel(can[i], can[6+i], 0, 1, 3);  cvPow(can[6+i], can[6+i], 2.0); // Derivada Y
     cvAdd(can[3+i], can[6+i], can[3+i], 0);  cvPow(can[3+i], can[3+i], 0.5); // Módulo
}
cvMerge(can[3], can[4], can[5], 0, tmp);
cvConvert(tmp, res);  // Se supone que res es 8U con 3 canales
for (i= 0; i<9; i++) cvReleaseImage(&can[i]);
cvReleaseImage(&tmp);
```


A.3. Filtros en OpenCV.

- **Filtros de Laplace de una imagen**:
  void **cvLaplace** (const CvArr* A, CvArr* R, int apertureSize=3)
  - **A**: imagen de origen, **R**: imagen de destino. Ambas deben ser de 1 solo canal. Además, **R** debe ser de 16 bits (si **A** es de 8), o float de 32.
  - **apertureSize**: tamaño de la máscara de convolución (igual que cvSobel).
  - Calcula la laplaciana de una imagen (suma de las 2ª derivadas en X e Y).
  - **¡¡Mucho cuidado!!** La laplaciana puede tomar valores negativos: no convertir el resultado a 8U (los negativos se saturan a 0).
  - Si se va a usar para un **perfilado**, el coeficiente que multiplica al resultado debe ser negativo, ya que usa máscaras "inversas" a las que hemos visto.
- **Filtro de bordes de Canny**:
  void **cvCanny** (const CvArr* img, CvArr* edges, double threshold1,
  double threshold2, int apertureSize=3)
  - Ojo, es un filtro de bordes más avanzado que los otros. Usa filtros de Sobel y luego un algoritmo voraz para extraer los bordes más relevantes. También requiere imágenes de 1 solo canal, pero **edges** puede ser de 8 bits.
  - **threshold1**, **threshold2**: umbrales del algoritmo. Se refieren al valor mínimo de la magnitud del gradiente para ser considerada como un borde relevante.
  - **apertureSize**: tamaño de la máscara de convolución (igual que cvSobel).

A.3. Filtros en OpenCV.

– **Ejemplo**. Aplicación del operador de bordes de Canny, sobre **img**.

```
IplImage *tmp= cvCreateImage(cvGetSize(img), IPL_DEPTH_8U, 1);
IplImage *tmp2= cvCreateImage(cvGetSize(img), IPL_DEPTH_8U, 1);
cvCvtColor(img, tmp, CV_RGB2GRAY);  // Convertir imagen a grises
cvCanny(tmp, tmp2, param*4, param*3);  // Probar, p.ej., param=20
cvZero(res);
cvCopy(img, res, tmp2);  // res es el resultado, del mismo tipo que img
cvReleaseImage(&tmp);
cvReleaseImage(&tmp2);
```


A.3. Filtros en OpenCV.

- **Filtros lineales arbitrarios**: son los más flexibles. Nos definimos la máscara de convolución que queramos y la aplicamos sobre las imágenes.
- Para los filtros que están predefinidos (suavizados, bordes, etc.) no hace falta utilizar estas funciones (que, además, serán menos eficientes).
- Las **máscaras de convolución** se definen como matrices de tipo **CvMat**, con 1 canal y profundidad 32F.
  - El **tipo CvMat** es como el IplImage, una matriz 2D de números.
  - Creación de una matriz con **cvCreateMat**:
    CvMat *matriz= cvCreateMat(alto, ancho, CV_32FC1);
  - Escribir un valor en la matriz, **cvSet2D**:
    cvSet2D(matriz, y, x, cvScalarAll(valor));
  - Leer un valor de la matriz, **cvGet2D**.
  - Liberar una matriz, **cvReleaseMat**:
    cvReleaseMat(&matriz);

A.3. Filtros en OpenCV.

- **Aplicar una máscara de convolución arbitraria en OpenCV**:
  void **cvFilter2D** (const CvArr* src, CvArr* dst,
  const CvMat* kernel, CvPoint anchor=cvPoint(-1,-1))
  - Las imágenes **src** y **dst** deben ser del mismo tipo y tamaño.
  - **kernel** es una matriz de 1 canal y 32F (usar la constante CV_32FC1), indica los coeficientes de la máscara de convolución.
  - **anchor** es el punto de ancla (por defecto, el centro de la máscara).
  - La operación admite modo in-place.
  - **Ejemplo**. Aplicar a la imagen img el perfilado de la página 56.

```
int w= 3, h= 3;  // Tamaño de la máscara de convolución
float coef[3][3]= {{-1,-1,-1}, {-1,9,-1}, {-1,-1,-1}};  // Coeficientes
CvMat *mask= cvCreateMat(h, w, CV_32FC1);
for (int y= 0; y<h; y++)
    for (int x= 0; x<w; x++)
        cvSet2D(mask, y, x, cvScalar(coef[y][x]));
cvFilter2D(img, img, mask);
cvReleaseMat(&mask);
```


A.3. Filtros en OpenCV.

- **Aplicar una máscara de convolución arbitraria en OpenCV**:
  - Si la máscara de convolución cae fuera de la imagen, los píxeles que se salen se interpolan con los píxeles de los bordes de la propia imagen.
  - **Ejemplo**. Aplicar a la imagen img el perfilado de la página 56 (método alternativo).

```
int w= 3, h= 3;  // Tamaño de la máscara
float coef[3*3]= {-1,-1,-1,  -1,9,-1,  -1,-1,-1};  // Coeficientes
CvMat *mask= cvCreateMatHeader(h, w, CV_32FC1);
cvSetData(mask, coef, w*sizeof(float));
cvFilter2D(img, img, mask);
cvReleaseMat(&mask);
```

Esta es una forma alternativa (y más rápida) para crear una matriz de tipo **CvMat**.

A.3. Filtros en OpenCV.

- **Filtros no lineales de máximo, mínimo**: no existen en OpenCV, sino que deben hacerse utilizando las operaciones morfológicas **cvDilate** (máximo) y **cvErode** (máximo).
- Ambas operaciones reciben como parámetro un valor de tipo **IplConvKernel** que indica la forma del elemento estructurante (la máscara de convolución).
- **Implementación** de las operaciones de máximo y mínimo local:

```
void MinLocal (IplImage *ent, IplImage *sal, int ancho, int alto)
{
    IplConvKernel* element= cvCreateStructuringElementEx(ancho, alto,
                                ancho/2, alto/2, CV_SHAPE_RECT);
    cvErode(ent, sal, element);
    cvReleaseStructuringElement(&element);
}
void MaxLocal (IplImage *ent, IplImage *sal, int ancho, int alto)
{
    IplConvKernel* element= cvCreateStructuringElementEx(ancho, alto,
                                ancho/2, alto/2, CV_SHAPE_RECT);
    cvDilate(ent, sal, element);
    cvReleaseStructuringElement(&element);
}
```


A.3. Filtros en OpenCV.

- En OpenCV, recordar que la **mediana** se puede obtener con: **cvSmooth**(src, dst, CV_MEDIAN, tamaño);
- **Filtros de morfología matemática**: el manejo es parecido a las convoluciones arbitrarias. 1º: definir un **elemento estructurante**. 2º: aplicarlo sobre las imágenes con operaciones de erosión, dilatación, apertura o cierre.
- El elemento estructurante es de tipo **IplConvKernel**. Aunque también podemos ahorrarnos ese paso si usamos el elemento por defecto, un rectángulo de 3x3.
- **Crear y liberar** un elemento estructurante:
  - cvCreateStructuringElementEx, cvReleaseStructuringElement
- **Operaciones básicas** de morfología matemática:
  - cvErode, cvDilate
- **Operaciones extendidas**:
  - cvMorphologyEx

A.3. Filtros en OpenCV.

- **Crear un elemento estructurante**:

  IplConvKernel* **cvCreateStructuringElementEx** (int nCols, int nRows, int anchorX, int anchorY, CvElementShape shape, int* values)
  - El tamaño del elemento es de **nCols** x **nRows**, y el ancla está situada en (**anchorX**, **anchorY**).
  - Existen dos **alternativas**: usar una forma predefinida o una propia.
  - Si se quiere una forma predefinida, el parámetro **shape** puede valer: CV_SHAPE_RECT, CV_SHAPE_CROSS, CV_SHAPE_ELLIPSE.
  - Para una forma propia, **shape** debe valer CV_SHAPE_CUSTOM, y **values** será un array con las celdas (cero / no cero) del elemento estructurante (de arriba abajo, de izquierda a derecha).

- **Liberar un elemento estructurante**:

  void **cvReleaseStructuringElement** (IplConvKernel** ppElement)
  - Ojo, ver que recibe un doble puntero.
  - Si ***ppElement** es NULL, no hace nada.

A.3. Filtros en OpenCV.

- **Aplicar erosión morfológica a una imagen**:

void **cvErode** (const CvArr* A, CvArr* R, IplConvKernel* B=0, int iterations=1)
  - Aplica uno o varios pasos de erosión, según el parámetro **iterations**.
  - Soporta modo in-place e imágenes multicanal.
  - Si el elemento **B** es NULL (el valor por defecto) se usa un rectángulo de 3x3.

- **Aplicar dilatación morfológica a una imagen**:

void **cvDilate** (const CvArr* A, CvArr* R, IplConvKernel* B=0, int iterations=1)
  - Aplica uno o varios pasos de dilatación, según el parámetro **iterations**.
  - Soporta modo in-place e imágenes multicanal.
  - Si el elemento **B** es NULL (el valor por defecto) se usa un rectángulo de 3x3.
  - **Ejemplo**. Aplicar una dilatación de 5x5, con elemento en forma de cruz.

```
IplConvKernel* el= cvCreateStructuringElementEx(5,5,2,2,CV_SHAPE_CROSS, 0);
cvErode(img, res, el, 1);
cvReleaseStructuringElement(&el);
```

  - **Ver** también el programa "morphology.c" en los ejemplos de OpenCV.

A.3. Filtros en OpenCV.

- **Aplicar operaciones morfológicas compuestas**:

void **cvMorphologyEx** (const CvArr* A, CvArr* R, CvArr* temp, IplConvKernel* B, CvMorphOp op, int iterations)
  - Permite aplicar una operación morfológica compuesta por otras elementales, erosiones, dilataciones y diferencias.
  - El parámetro **op** indica el tipo de operación: CV_MOP_OPEN, CV_MOP_CLOSE, CV_MOP_GRADIENT, CV_MOP_TOPHAT, CV_MOP_BLACKHAT.
  - El parámetro **temp** es una imagen temporal para cálculos internos (del mismo tamaño y tipo que A y R). Se necesita en los tres últimos tipos de operaciones.
  - **Ejemplo**. Los dos siguientes códigos deberían dar la misma salida:

a)
```
cvMorphologyEx(img, res, tmp, NULL, CV_MOP_OPEN, 1);
```

b)
```
cvErode(img, tmp, NULL, 1);
cvDilate(tmp, res, NULL, 1);
```


A.3. Filtros en OpenCV.

- **Ejemplo 1.** Aplicar un ajuste (o estiramiento) local del histograma a la imagen **img**, con **ancho** dado:

```
IplImage *min= cvCreateImage(cvGetSize(img), img->depth,
                             img->nChannels);
IplImage *max= cvCreateImage(cvGetSize(img), img->depth,
                             img->nChannels);
int tam= 2*ancho+1;  // ancho es el tamaño de vecindad local elegido
MinLocal(img, min, tam, tam);
MaxLocal(img, max, tam, tam);
cvSub(img, min, res);
cvSub(max, min, max);
cvDiv(res, max, res, 255.0);
cvReleaseImage(&min);
cvReleaseImage(&max);
```


A.3. Filtros en OpenCV.

- **Ejemplo 2.** Efecto de transición entre dos imágenes **img1** e **img2** (que deben ser de igual tamaño), a través de un suavizado intermedio:

```
IplImage *res= cvCloneImage(img1);
cvNamedWindow("img", 0);
int i;
for (i= 0; i<20; i++) {
  cvSmooth(img1, res, CV_BLUR, 1+i*6, 1+i*6);
  cvShowImage("img", res);
  cvWaitKey(10);
}
for (i= 19; i>=0; i--) {
  cvSmooth(img2, res, CV_BLUR, 1+i*6, 1+i*6);
  cvShowImage("img", res);
  cvWaitKey(10);
}
cvReleaseImage(&res);
```