

Tema 4. Segmentación

- La **segmentación** de imágenes se ocupa de descomponer una imagen en sus partes constituyentes, es decir, los objetos de interés y el fondo, basándose en ciertas características locales que nos permiten distinguir un objeto del fondo y objetos entre si
- La mayoría de las imágenes están constituidas por **regiones** o zonas que tienen **características homogéneas** (nivel de gris, textura, etc.). Generalmente estas regiones corresponden a objetos de la imagen.
- La **segmentación** de una imagen consiste en la división o partición de la imagen en varias zonas o regiones homogéneas y disjuntas a partir de su contorno, su conectividad, o en términos de un conjunto de características de los píxeles de la imagen que permitan discriminar unas regiones de otras.

Tema 4. Segmentación

Los **algoritmos de segmentación** de imágenes monocromáticas se basan en alguna de las tres propiedades siguientes:

- **Discontinuidad** en los tonos de gris de los píxeles de un entorno, que permite detectar puntos aislados, líneas y aristas (bordes).
- **Similaridad** en los tonos de gris de los píxeles de un entorno, que permite construir regiones por división y fusión, por crecimiento o por umbralización.
- **Conectividad** de los píxeles desempeña un papel importante en la segmentación de imágenes. Recordemos que una región **D** se dice **conexa** o conectada si para cada par de píxeles de la región existe un camino formado por píxeles de **D** que los conecta. Un **camino** de píxeles es una secuencia de píxeles **adyacentes** (que pertenecen a su entorno inmediato).

Tema 4. Segmentación

Los métodos de segmentación se puede agrupar en cuatro clases diferentes:

- a) Métodos basados en **píxeles**, que a su vez pueden ser:
 - ❑ locales (basadas en las propiedades de los píxeles y su entorno)
 - ❑ globales (basadas en la información global obtenida, por ejemplo, con el **histograma** de la imagen).
- b) Métodos basados en **bordes**
- c) Métodos basados en **regiones**, que utilizan las nociones de homogeneidad y proximidad geométrica, como las **técnicas de crecimiento, fusión o división**
- d) Métodos basados en **modelos**

Tema 4. Segmentación

Detección de puntos

- Un **punto aislado** de una imagen tiene un tono de gris que difiere significativamente de los tonos de gris de sus píxeles vecinos, es decir, de los ocho píxeles de su entorno 3×3.

Una máscara para detectar un punto aislado es la siguiente:

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

y un filtro no lineal:

$$g(i, j) = \min_{\substack{(r,s) \in N_8(i,j) \\ (r,s) \neq (i,j)}} |f(r, s) - f(i, j)|$$

- Diremos que el píxel (i, j) es un **punto aislado** si
$$|g(i, j)| > T$$

Tema 4. Segmentación

Detección de líneas

- Una **línea** es una secuencia de píxeles en la que dos píxeles consecutivos están conectados, es decir, son vecinos en un entorno 3×3 de alguno de ellos. Cada píxel se puede conectar con alguno de sus 8 píxeles vecinos, y por lo tanto, vamos a tener sólo 4 direcciones (tramos lineales) posibles: horizontal, vertical, de 45° y de -45° .

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 2 & 2 & 2 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & 2 \\ -1 & 2 & -1 \\ 2 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}$$

- Fijado un valor umbral $T > 0$, diremos que el píxel (i, j) constituye una parte una línea horizontal si

$$|g_1(i, j)| > |g_k(i, j)|, \quad \forall k \neq 1, \text{ y}$$

$$|g_1(i, j)| > T$$

Tema 4. Segmentación

Detección de bordes

Para detectar los bordes comenzaremos detectando las aristas locales. Un **eje local** o **arista local** es un píxel cuyo nivel de gris difiere significativamente del nivel de gris de algunos píxeles de su entorno. Es decir, hay diferencia de contraste local. Ello se debe esencialmente a dos situaciones:

- a)** El píxel forma parte del **borde entre dos regiones** diferentes de la imagen (cada región tiene cierta homogeneidad en sus niveles de gris, con respecto a algún criterio de homogeneidad).
- b)** El píxel forma parte de un **arco** muy fino sobre un fondo de diferente tono de gris.

Las aristas locales se detectan midiendo **la tasa de cambio de los tonos de gris de su entorno**. Vamos a utilizar, para ello, el operador **gradiente** (como operador de primer orden) o el operador **Laplaciano** (como operador de segundo orden).

Tema 4. Segmentación

Operadores diferencia

$$+D_x(m,n) = f(m+1,n) - f(m,n)$$

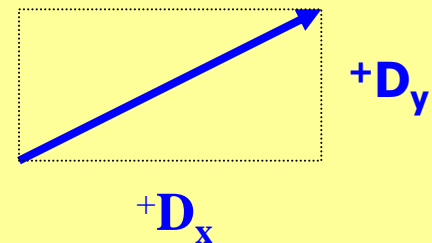
$$-D_x(m,n) = f(m,n) - f(m-1,n)$$

$$+D_y(m,n) = f(m,n+1) - f(m,n)$$

$$-D_y(m,n) = f(m,n) - f(m,n-1)$$

Operador gradiente

$$+D(m,n) = \begin{pmatrix} +D_x(m,n) \\ +D_y(m,n) \end{pmatrix}$$



$$|+D(m,n)| = \left(+D_x^2(m,n) + +D_y^2(m,n) \right)^{1/2}$$

$$|+D(m,n)| = |+D_x(m,n)| + |+D_y(m,n)|$$

Tema 4. Segmentación

Operador de Laplace

$$\nabla^2 f(m,n) = {}^+D_x[{}^-D_x(f(m,n))] + {}^+D_y[{}^-D_y(f(m,n))]$$

$$= {}^+D_x[f(m,n) - f(m-1,n)] + {}^+D_y[f(m,n) - f(m,n-1)]$$

$$= [f(m+1,n) - f(m,n) - (f(m,n) - f(m-1,n))] + [f(m,n+1) - f(m,n) - (f(m,n) - f(m,n-1))]$$

$$= f(m+1,n) + f(m,n+1) + f(m-1,n) + f(m,n-1) - 4f(m,n)$$

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Tema 4. Segmentación

Operador de Laplace

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\nabla^2 f(m,n) = [f(m+1,n)-f(m,n)] + [f(m,n+1)-f(m,n)] + [f(m-1,n)-f(m,n)] + [f(m,n-1)-f(m,n)]$$

$$\frac{1}{4} \nabla^2 f(m,n) = f(m,n) - \frac{1}{4} [f(m+1,n) + f(m,n+1) + f(m-1,n) + f(m,n-1)]$$

Complementario del filtro de paso baja:

$$\frac{1}{4} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Tema 4. Segmentación

Operador de Laplace

$$-\frac{1}{5}\nabla^2 f(m,n) =$$

$$f(m,n) - \frac{1}{5}[f(m+1,n) + f(m,n+1) + f(m-1,n) + f(m,n-1) + f(m,n)]$$

$$\frac{1}{5}\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} - \frac{1}{5}\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Complementario del filtro de paso baja:

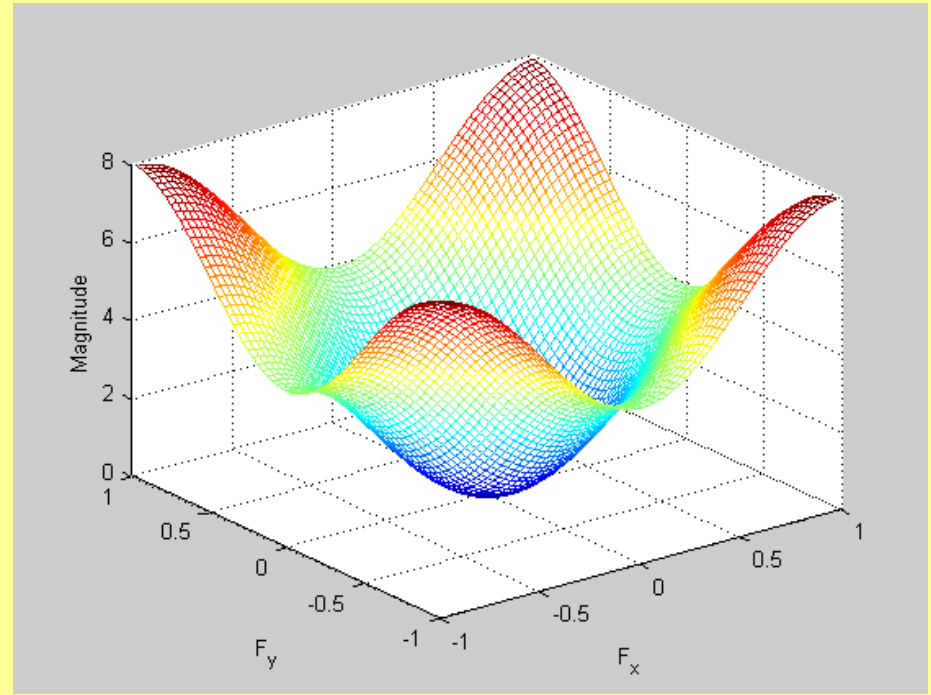
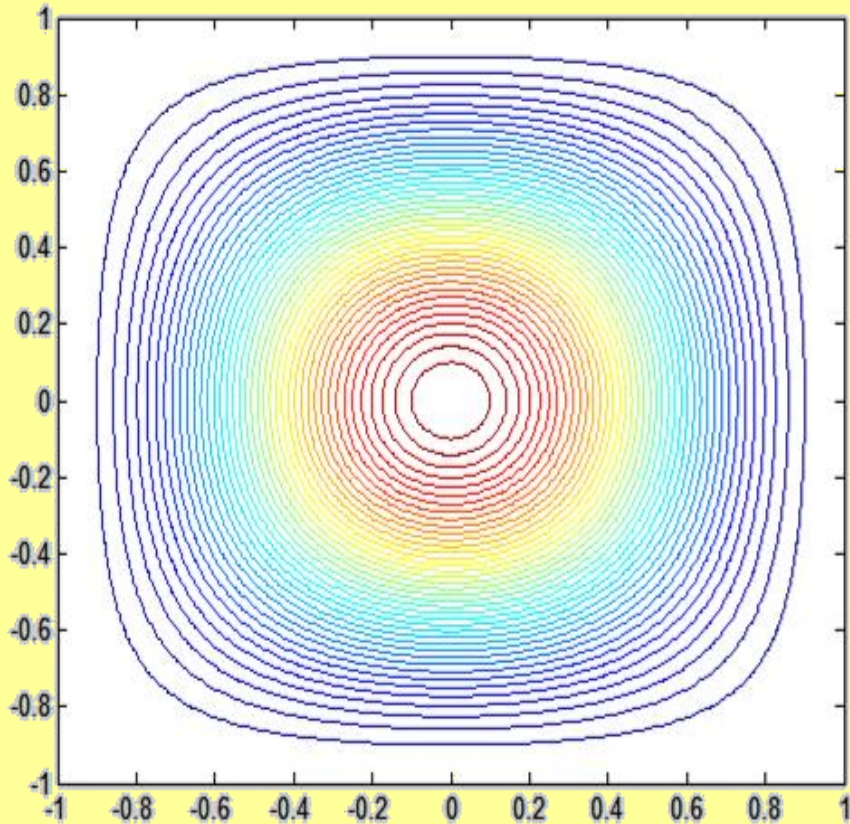
$$\frac{1}{5}\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Tema 4. Segmentación

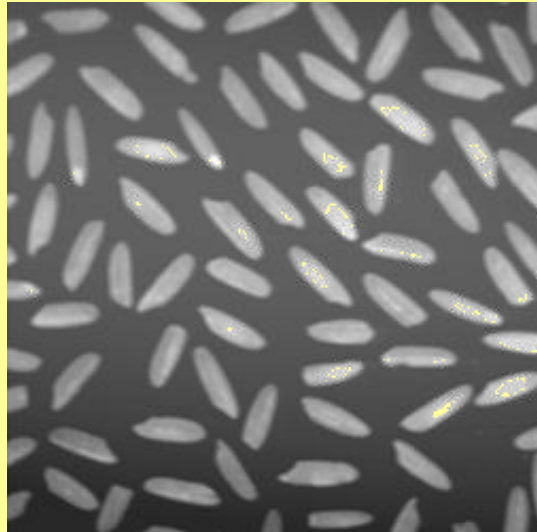
Operador de Laplace

Transformada de Fourier:

$$H(\omega_1, \omega_2) = e^{i\omega_1} + e^{-i\omega_1} - 4 + e^{i\omega_2} + e^{-i\omega_2} = 2\cos(\omega_1) + 2\cos(\omega_2) - 4$$

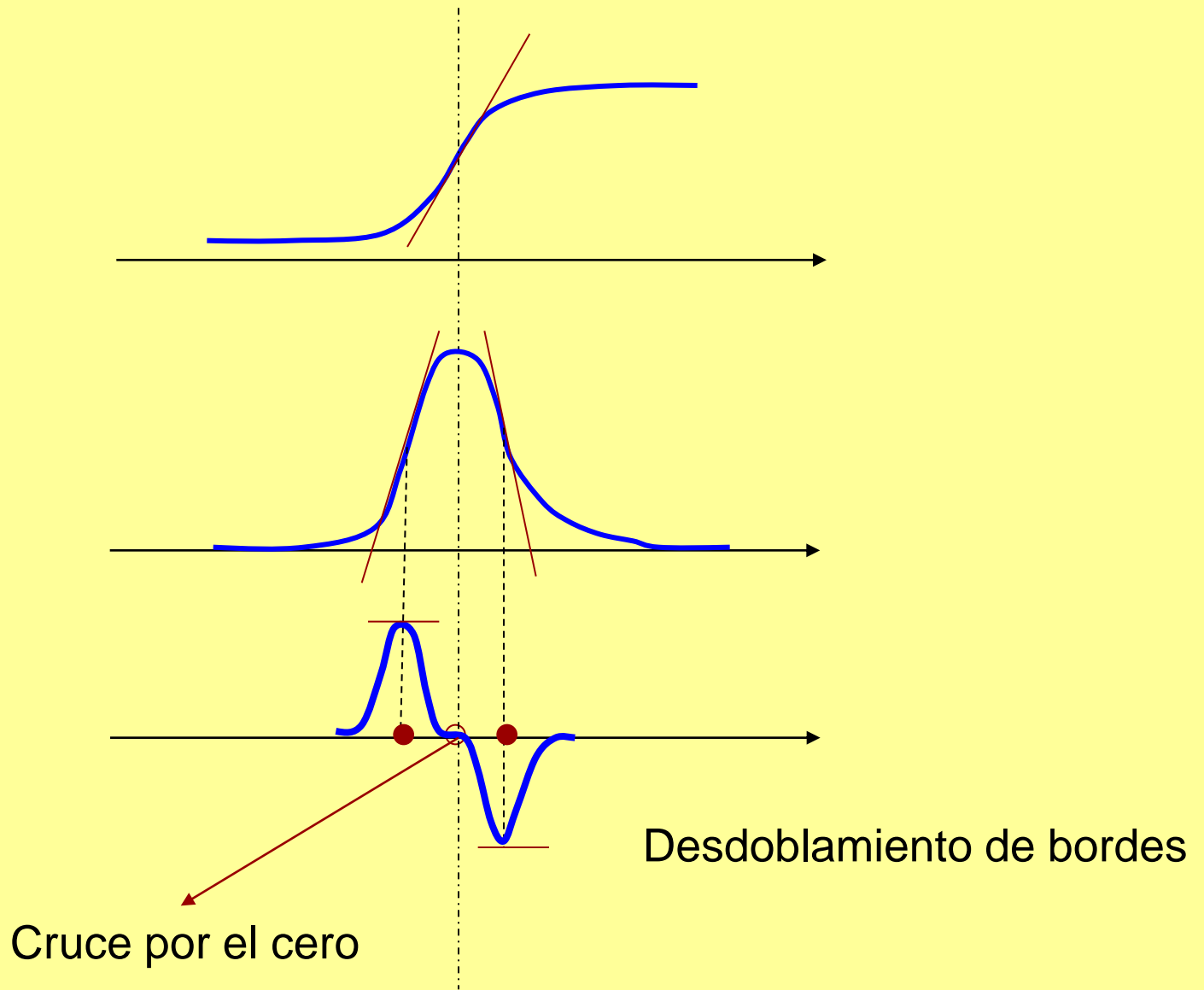


Tema 4. Segmentación

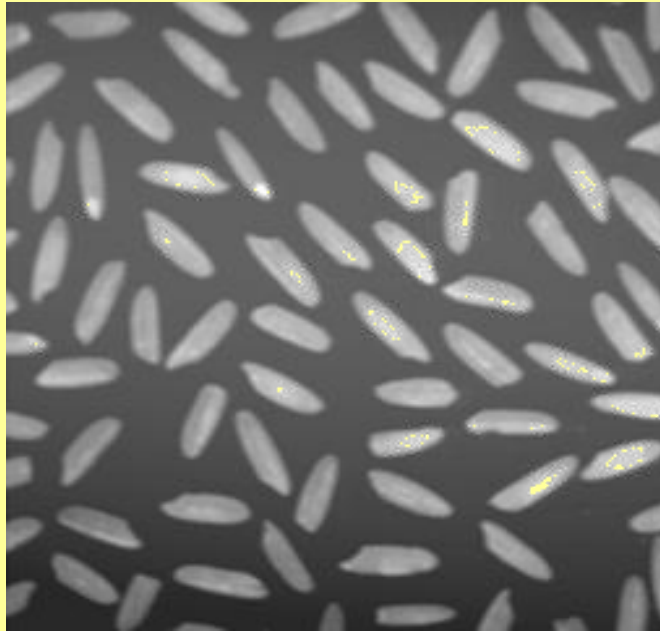


Bordes desdoblados

Tema 4. Segmentación

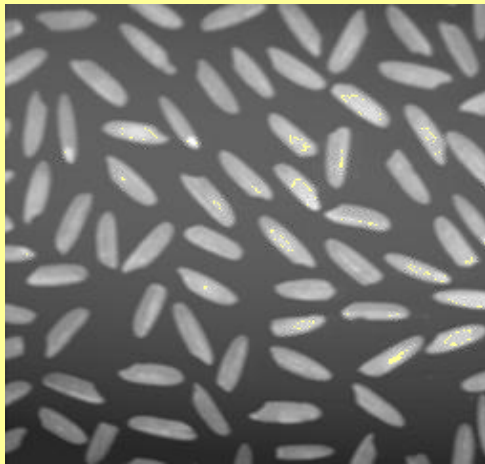


Tema 4. Segmentación



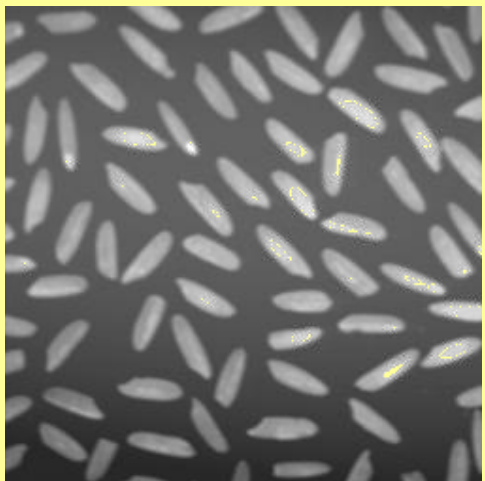
Bordes: Cruce por el cero

Tema 4. Segmentación



Bordes: Cambios de signo

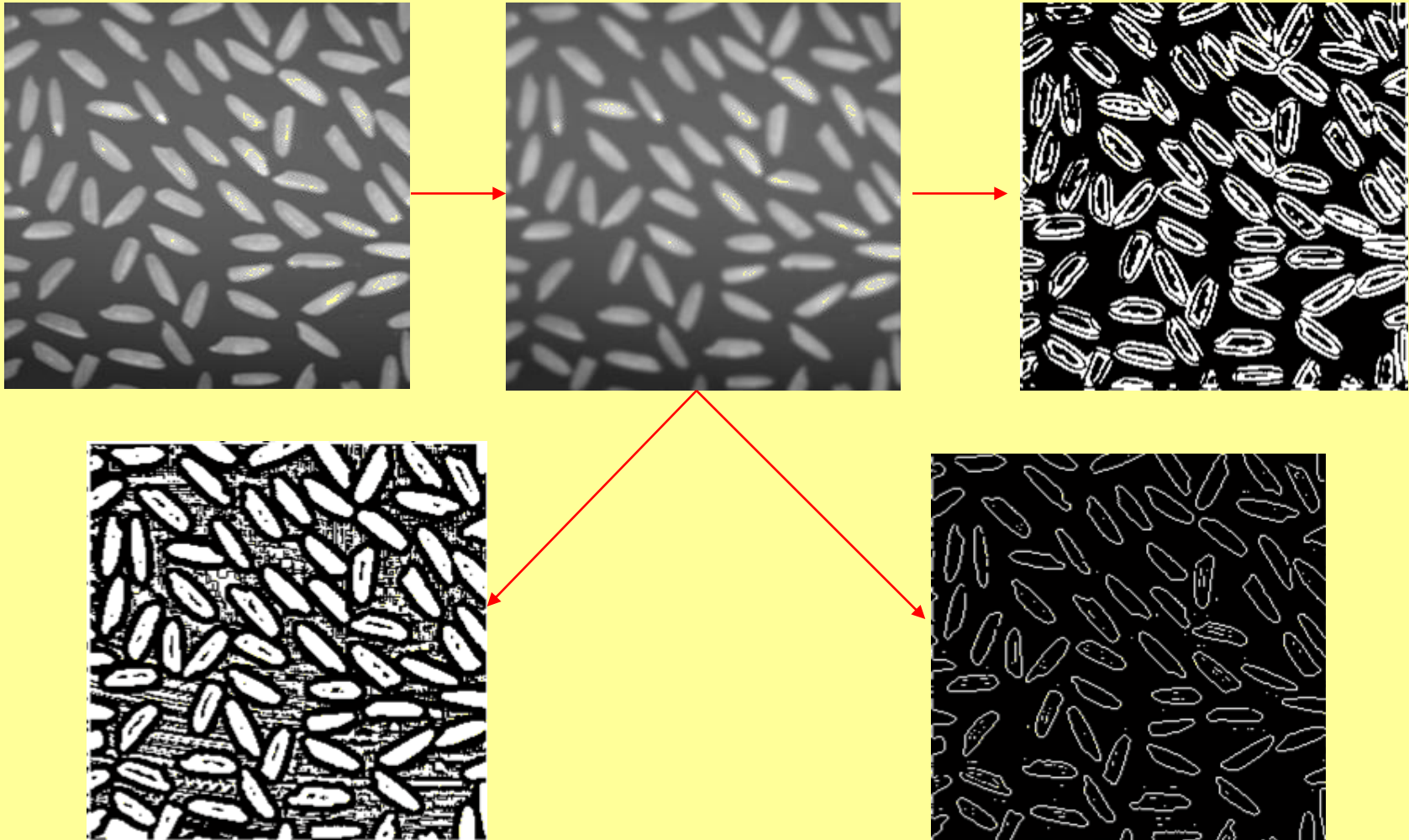
Sensible al ruido



Bordes: Cambios de signo

Imagen suavizada

Tema 4. Segmentación



En blanco los valores positivos y
en negro los valores negativos

Tema 4. Segmentación

Operador Laplaciano de la Gaussiana

Primero se suaviza con el filtro Gaussiano:

$$h(m,n) = e^{-(m^2+n^2)/2\sigma^2}$$

$$\begin{bmatrix} 0.0113 & 0.0838 & 0.0113 \\ 0.0838 & 0.6193 & 0.0838 \\ 0.0113 & 0.0838 & 0.0113 \end{bmatrix}$$

$$f^*(x,y) = \sum_r \sum_s f(r,s)h(x-r,y-s)$$

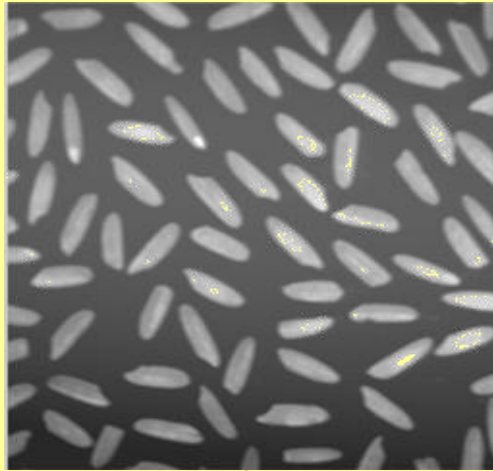
$$\nabla^2 f^*(x,y) = \sum_r \sum_s f(r,s)\nabla^2 h(x-r,y-s)$$

$$\nabla^2 h(x,y) = \left(\frac{x^2 + y^2 - \sigma^2}{\sigma^4} \right) e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$$

0	0	-1	0	0
0	-1	-2	-1	0
-1	-2	16	-2	-1
0	-1	-2	-1	0
0	0	-1	0	0

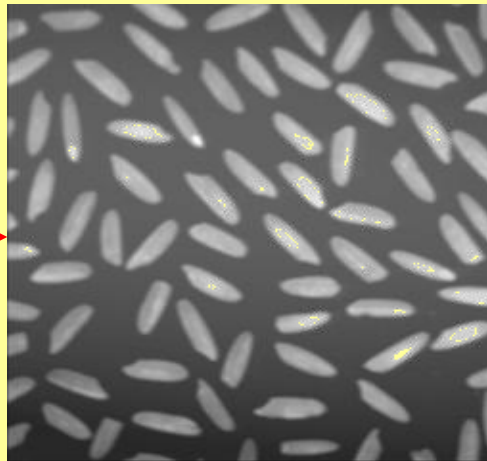
Tema 4. Segmentación

Operador Laplaciano de la Gaussiana

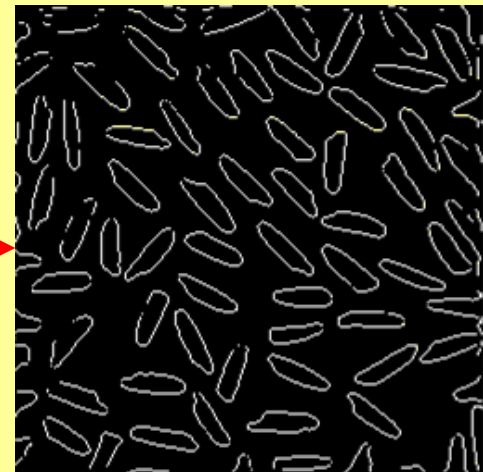


**Filtro
Gaussiano**

$\sigma = 2$



**Filtro
Laplaciano**



Tema 4. Segmentación

Operador Diferencia de Gaussiana

$$h(m, n) = e^{-(m^2 + n^2)/2\sigma_1^2} - e^{-(m^2 + n^2)/2\sigma_2^2}$$

$$\sigma_1 < \sigma_2$$

Tema 4. Segmentación

Operador de Canny (1986) para la detección de bordes

El criterio de **detección** expresa el hecho de evitar la eliminación de bordes importantes y no suministrar bordes espurios.

El criterio de **localización** establece que la distancia entre la posición real y la localizada del borde se debe minimizar.

El criterio de **una respuesta** que integre las respuestas múltiples correspondientes a un único borde.

Tema 4. Segmentación

Algoritmo de Canny

- Se suaviza la imagen $f(m,n)$ con una función gaussiana $h(m,n)$, con parámetro de escala σ

$$h(m,n) = e^{-\frac{m^2+n^2}{2\sigma^2}}$$

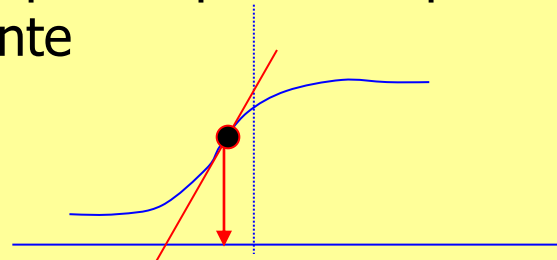
- Para cada píxel de la imagen se estima la **magnitud del gradiente local**

$$g(m,n) = \sqrt{D_x^2(m,n) + D_y^2(m,n)}$$

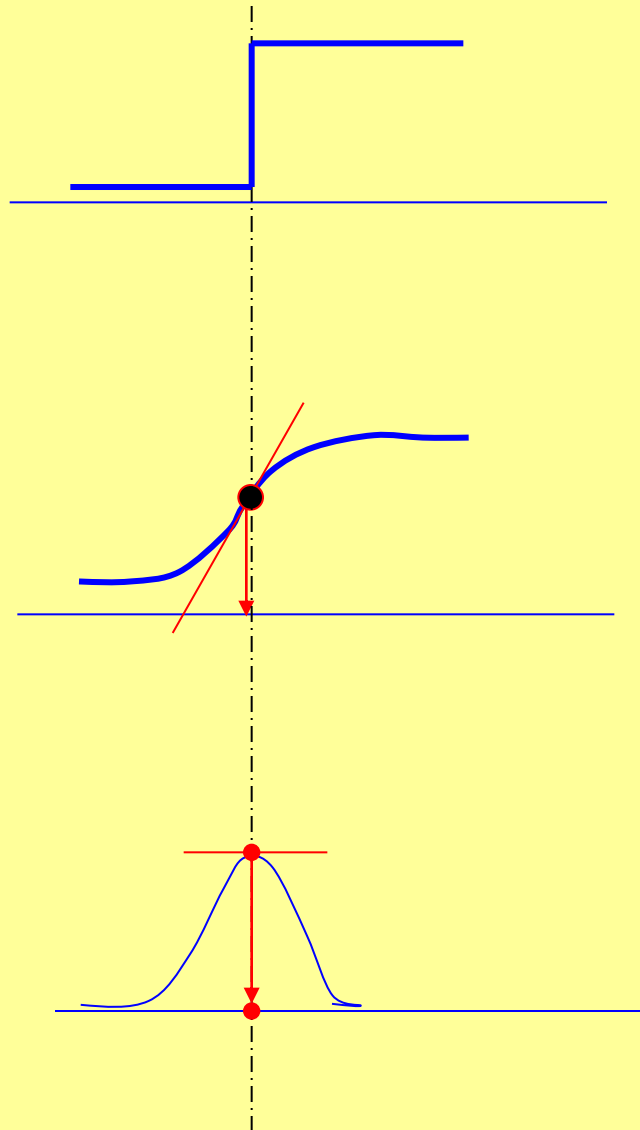
y la **dirección del borde local** mediante la expresión

$$\alpha(m,n) = \tan^{-1}\left(\frac{D_x(m,n)}{D_y(m,n)}\right)$$

- Un **borde local** viene definido por un punto que corresponde al máximo local en la dirección del gradiente



Tema 4. Segmentación



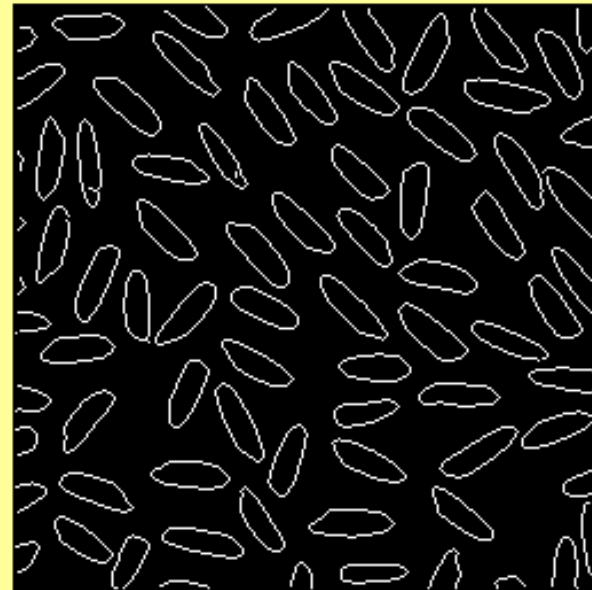
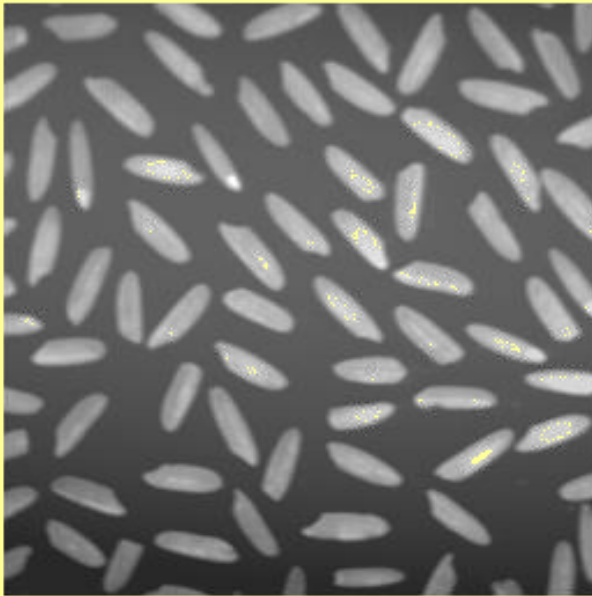
Bordes: corresponden a las crestas en la magnitud del gradiente

Tema 4. Segmentación

- **Supresión no maximal**: Se **eliminan los bordes espurios** mediante el operador umbral con *histéresis*. Es decir, se utilizan dos umbrales $t_1 < t_2$.
Los píxeles maximales con magnitud del gradiente superior a t_2 se dice que son **bordes fuertes** y los que están entre t_1 y t_2 se dice que son **débiles**.
- Se repiten los pasos anteriores para valores ascendentes del parámetro de escala σ .
- **Enlace de bordes**: El algoritmo incorpora como bordes aquellos borde débiles que están conectados a bordes fuertes, es decir, que están dentro de un entorno 3×3 .

```
[E, t] = edge( I, 'canny', [T1, T2], sigma)
```

Tema 4. Segmentación



Detección de bordes por el método de Canny

Tema 4. Segmentación

Métodos basados en píxeles

Consideremos la imagen digital $\{f(m,n) : (m,n) \in D \subset \mathbb{Z} \times \mathbb{Z}\}$ donde el dominio $D = \{(m,n) : m=0,1,\dots,M-1; n=0,1,\dots,N-1\}$ se ha dividido en k regiones disjuntas D_1, \dots, D_k , de manera que para un cierto predicado P que asegura la homogeneidad de la región se verifica que:

$$\begin{array}{ll} P(D_i) = \text{VERDADERO} & \text{para } i=1,2,\dots,k \\ P(D_i \cup D_j) = \text{FALSO} & \text{para } i \neq j \end{array}$$

La unión de regiones no puede darnos una región homogénea

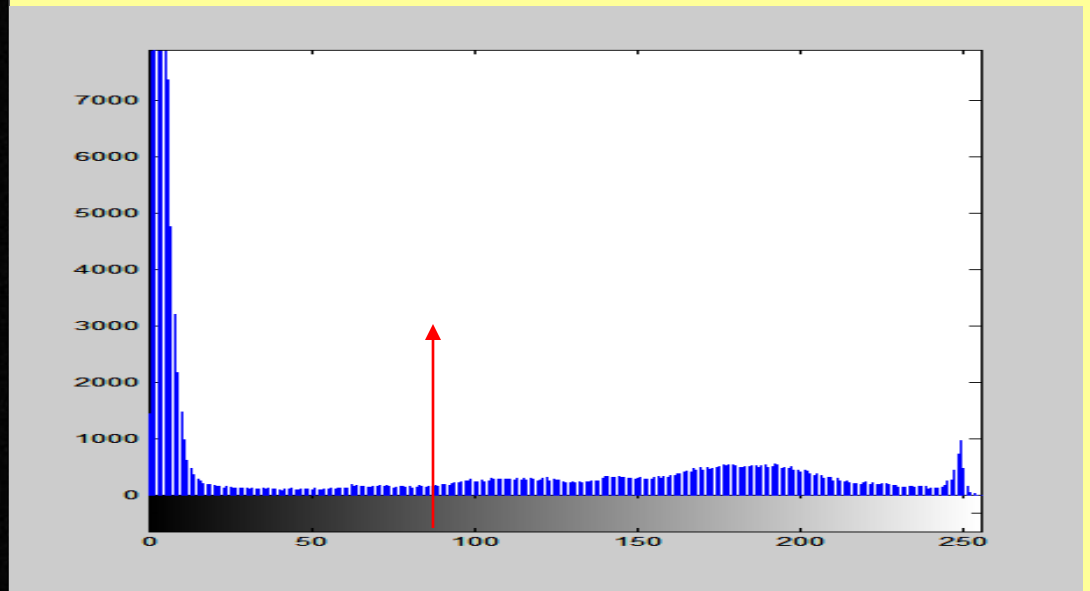
Al predicado lógico P definido sobre el conjunto de las partes del dominio de la imagen, D , lo llamaremos **regla de segmentación**.

Así, una regla de segmentación simple es:

$$P(D, f, t): \quad t_1 < f(m,n) < t_2$$

Tema 4. Segmentación

Métodos basados en el histograma



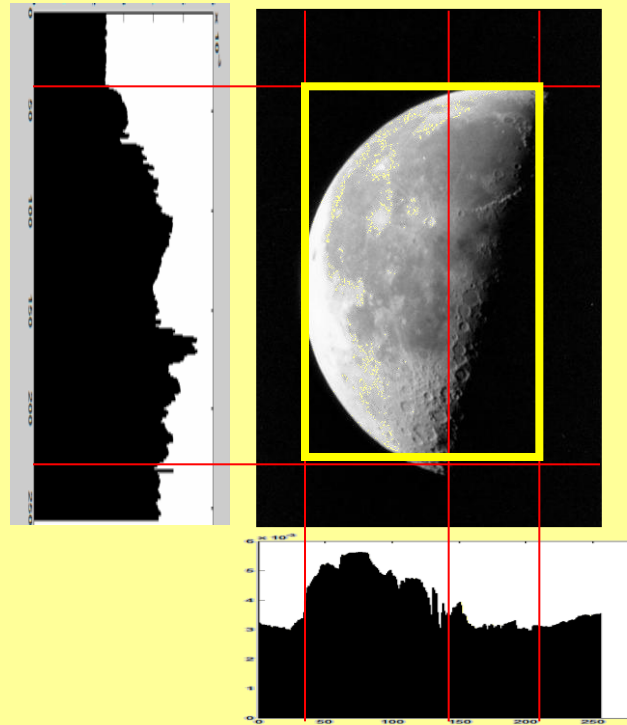
$$P(D, f, t): \quad 80 < f(m,n) < 255$$

Tema 4. Segmentación

Método basado en las proyecciones

$$H(m) = \sum_{j=0}^{N-1} f(m, j), \quad m = 0, 1, \dots, M-1$$

$$V(n) = \sum_{i=0}^{M-1} f(i, n), \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

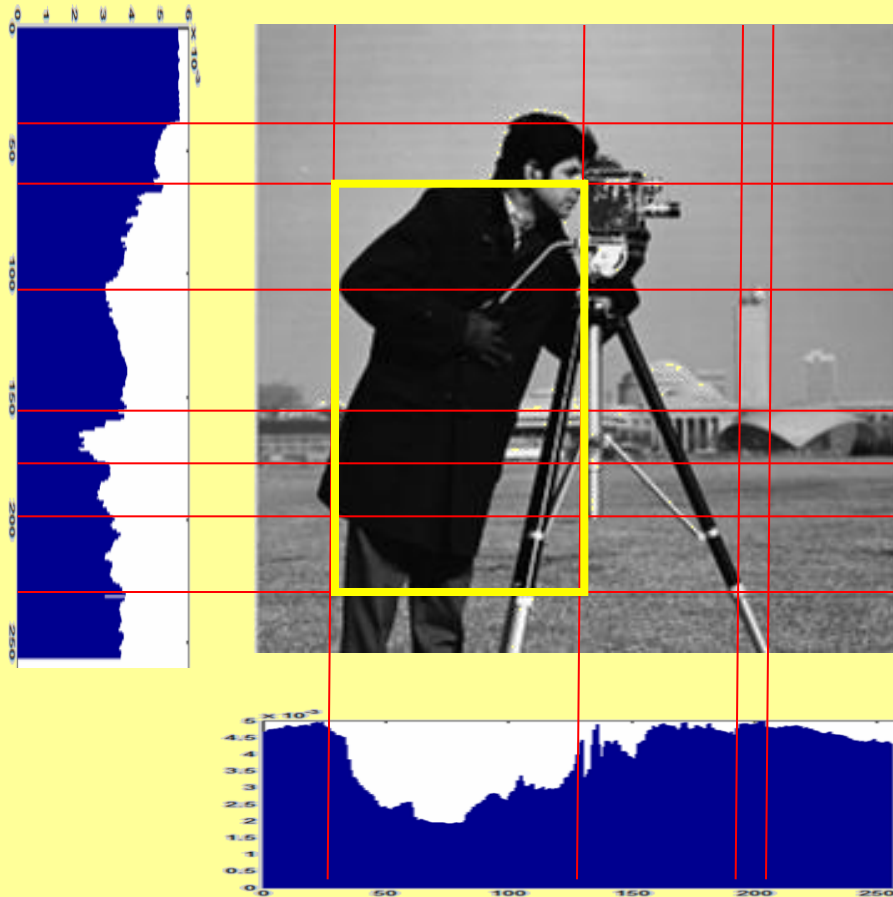


Tema 4. Segmentación

Método basado en las proyecciones

$$H(m) = \sum_{j=0}^{N-1} f(m, j), \quad m = 0, 1, \dots, M-1$$

$$V(n) = \sum_{i=0}^{M-1} f(i, n), \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

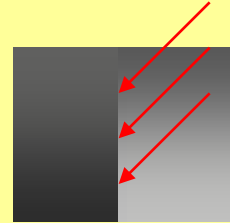


Tema 4. Segmentación

Métodos basados en bordes

Diferencia de Gradientes:

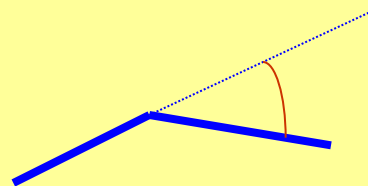
$$|\nabla f(i, j) - \nabla f(r, s)|$$



$$|\phi(i, j) - \phi(r, s)|$$

$$\phi(i, j) = \arctan(D_y^+(i, j) / D_x^+(i, j))$$

Curvatura del borde: medida de discrepancia según las diferentes orientaciones de las aristas locales del entorno



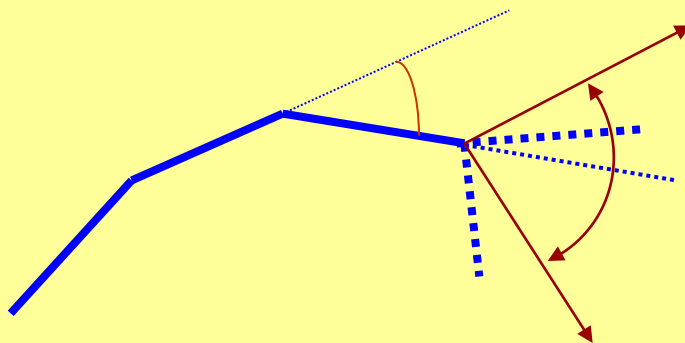
Tema 4. Segmentación

Trazado de contornos

El píxel (i, j) y su vecino (r, s) , donde $r = i \pm 1$, $s = j \pm 1$, se pueden enlazar (formar parte de un mismo contorno) si:

$$|\nabla f(i, j) - \nabla f(r, s)| \leq T_1$$

$$|\phi(i, j) - \phi(r, s)| \leq T_2$$



Tema 4. Segmentación

ALGORITMO: Trazado de contornos

1. Supongamos que el contorno se ha determinado hasta el elemento (i,j) .
2. Se elige el píxel (r,s) adyacente a (i,j) en la dirección $\phi(i,j)$.
Si (r,s) verifica la ecuación (1) entonces se considera un elemento del contorno y se regresa al paso 1. Si no, se va a paso 3.
3. Determinar el nivel medio de gris en un entorno 3×3 del elemento (r,s) y compararlo con algún valor preestablecido para saber si (r,s) está dentro o fuera de la región. Ir al paso 4.
4. Seleccionar un píxel (h,k) adyacente a (i,j) en la dirección $\phi(i,j) \pm \pi/4$ (el signo se determina según el resultado del paso 3). Si verifica (1) entonces se considera un elemento del borde, continuación del anterior. Si no, comenzar el trazado del contorno con otro píxel más prometedor.

Tema 4. Segmentación

Métodos de segmentación basados en crecimiento de regiones:

1. Las regiones obtenidas en la partición, R_1, R_2, \dots, R_k , deben ser disjuntas

$$R_i \cap R_j = \phi, \quad i \neq j$$

2. Su unión debe ser la imagen completa,

$$\bigcup_{i=1}^k R_i = I$$

3. Cada región R_i tiene que ser **conexa**, es decir, todos sus píxeles conectados
4. Se debe verificar que:

$$P(R_i) = \text{VERDADERO} \quad \text{y} \quad P(R_i \cup R_j) = \text{FALSO},$$

para **regiones adyacentes** cualesquiera, R_i y R_j , siendo P el predicado que nos proporciona el **test de homogeneidad** de la región.

Tema 4. Segmentación

Segmentación basada en crecimiento de regiones

- Se elige aleatoriamente un conjunto de píxeles, que se llaman **semillas**.
- A partir de las semillas se van incorporando nuevos píxeles a las regiones utilizando un **mecanismo de crecimiento** que detecta, en cada etapa y para cada región $R_i(k)$, aquellos píxeles aun no clasificados que pertenecen a un entorno de algún píxel del contorno de la región $R_i(k)$. Para cada píxel (x,y) , detectado de esta forma, se comprueba si cumple la **regla de homogeneidad**, es decir, si la nueva región $R_i(k) \cup (x,y)$ sigue siendo homogénea, en cuyo caso se consigue ampliar la región.

$$P(D_i \cup (r,s)) = \begin{cases} \text{VERDADERO} & \text{si } |f(r,s) - m_i| \leq T_i(r,s) \\ \text{FALSO} & \text{en otro caso.} \end{cases}$$

Tema 4. Segmentación

Segmentación basada en crecimiento de regiones

- Cuando se elige más de una semilla por región es necesario **unir o fusionar** algunas de las regiones obtenidas. Está claro que las regiones a unir deben de ser **adyacentes** y tener **propiedades estadísticas similares**, como pueden ser la intensidad (nivel de gris) media de la región y su desviación típica. Por ejemplo, una regla de unión pueden ser que

$$|m_i - m_j| < k\sigma_i \quad \text{y} \quad |m_i - m_j| < k\sigma_j$$

Tema 4. Segmentación

Segmentación basada en crecimiento de regiones

- Cuando se elige más de una semilla por región es necesario **unir o fusionar** algunas de las regiones obtenidas. Está claro que las regiones a unir deben de ser **adyacentes** y tener **propiedades estadísticas similares**, como pueden ser la intensidad (nivel de gris) media de la región y su desviación típica. Por ejemplo, una regla de unión pueden ser que

$$P(R_i \cup (r, s)) = \begin{cases} \text{VERDADERO} & \text{si } |f(r, s) - m_i| \leq T_i(r, s) \\ \text{FALSO} & \text{en otro caso.} \end{cases}$$

$$T_i(r, s) = \left(1 - \frac{\sigma_i^*}{m_i^*}\right)T$$

Tema 4. Segmentación

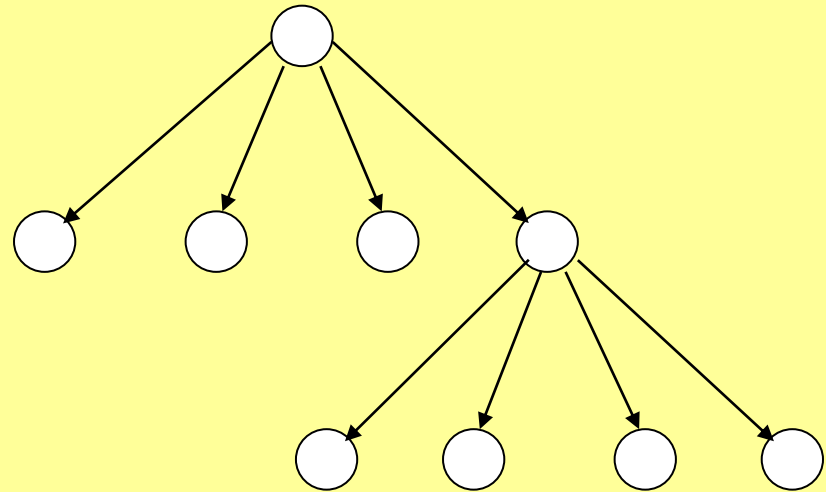
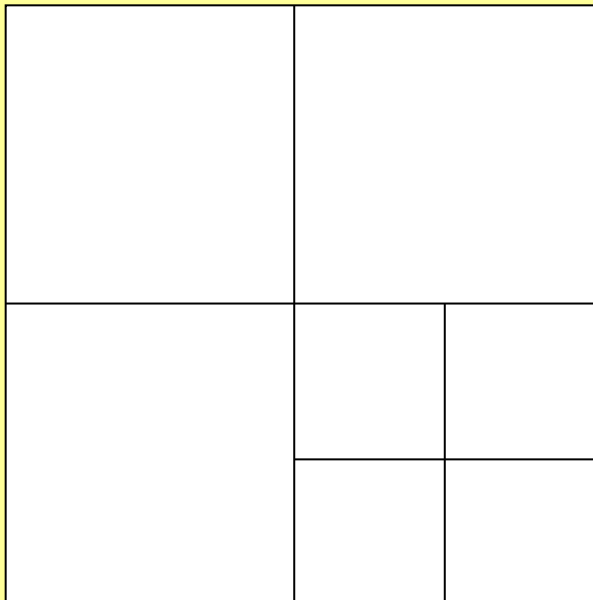
Segmentación basada en crecimiento de regiones

- El crecimiento de la región depende en gran medida del valor umbral T seleccionado. Si **T es pequeño** es más difícil que se produzcan fusiones y se generan **muchas regiones pequeñas**, en cambio, si **T es grande** se favorece la fusión y así se generan **pocas regiones pero grandes** (con menos homogeneidad y mayor desviación típica).

Tema 4. Segmentación

Segmentación basada en regiones: Divisiones y Fusiones

Los procedimientos de crecimiento de regiones parten de un conjunto de píxeles semilla. Un método alternativo se obtiene actuando al revés, es decir, partiendo de la imagen completa se van realizando **sucesivas divisiones** de la misma. Cada subimagen obtenida que no sea homogénea se vuelve a dividir y así sucesivamente.



Árbol cuaternario

Tema 4. Segmentación

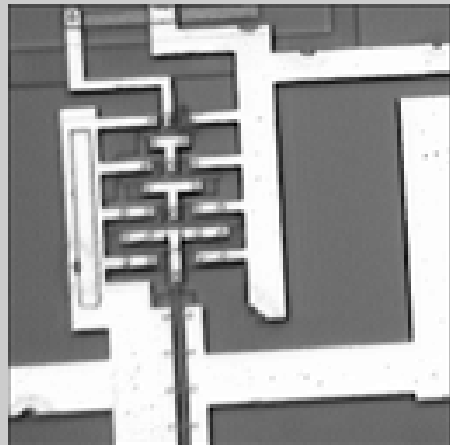
Segmentación basada en regiones: Divisiones y Fusiones

Un **algoritmo de división y fusión** de regiones consta de los siguientes pasos:

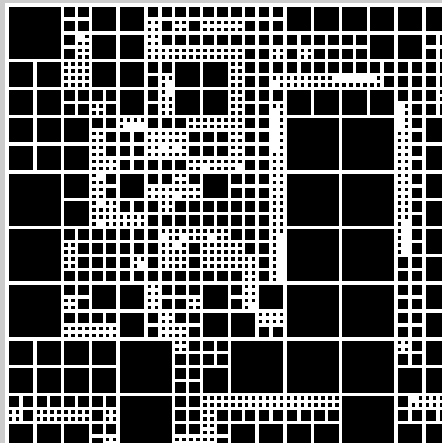
1. Dividir en cuatro cuadrantes disjuntos cada región R_i con $P(R_i) = \text{FALSO}$.
- 2.- Cuando no sean posible más divisiones fundir las regiones adyacentes R_i y R_j para las cuales $P(R_i \cup R_j) = \text{VERDADERO}$.
- 3.- Parar cuando no se puedan hacer más fusiones.

Tema 4. Segmentación

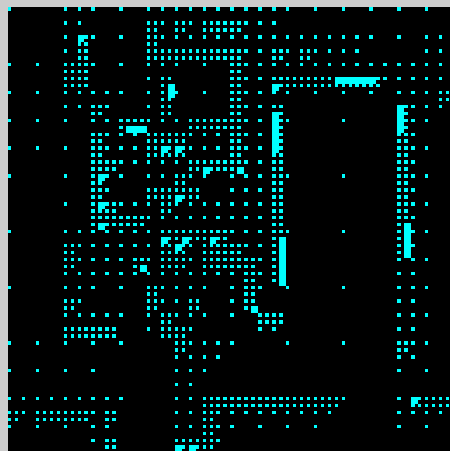
Circuit



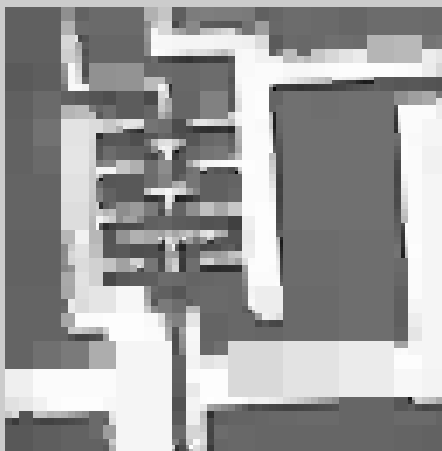
Quadtree decomposition



Sparse representation

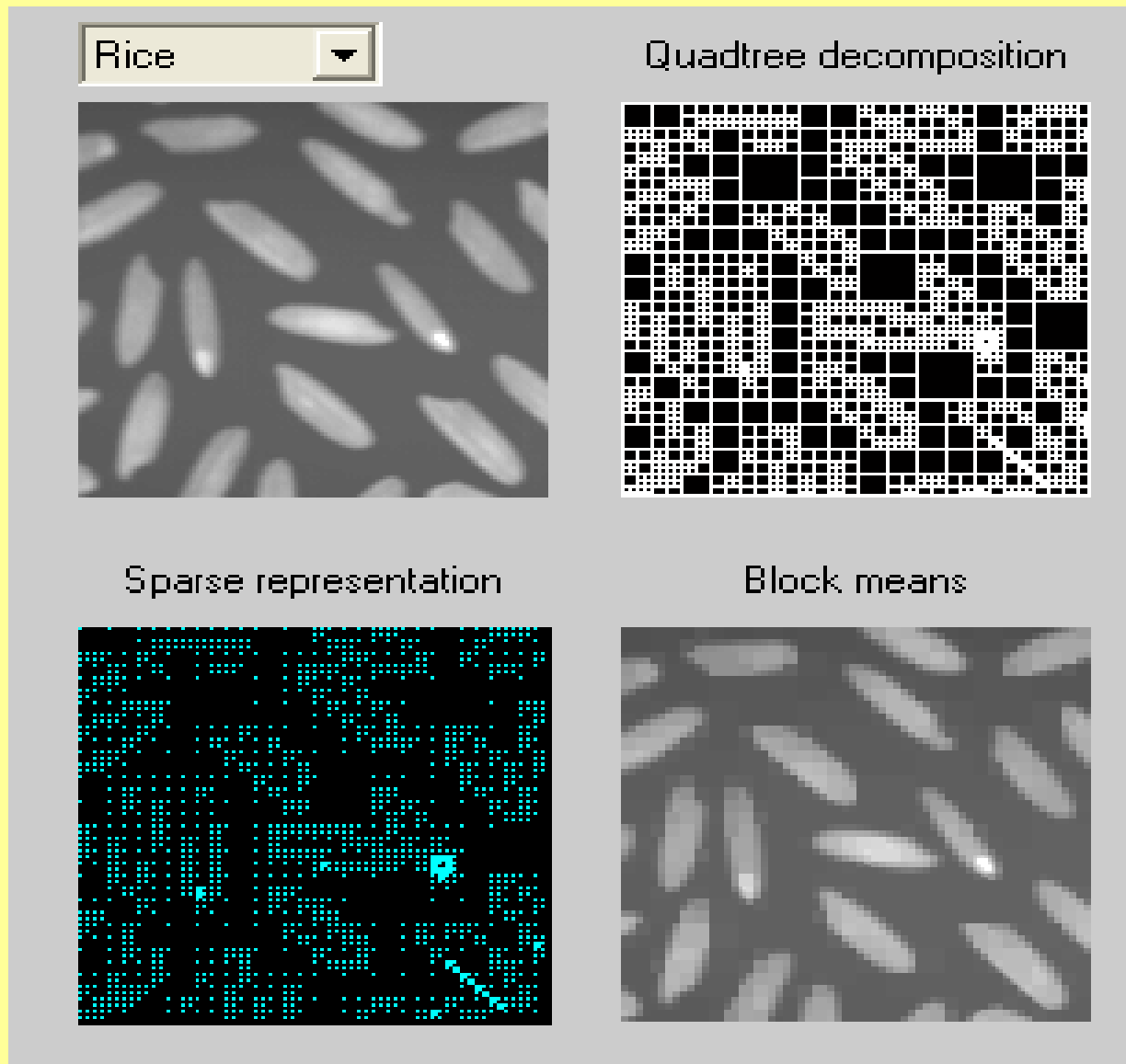


Block means



Segmentación basada en
división y fusión
de regiones

Tema 4. Segmentación



Segmentación basada en **división** y **fusión** de regiones

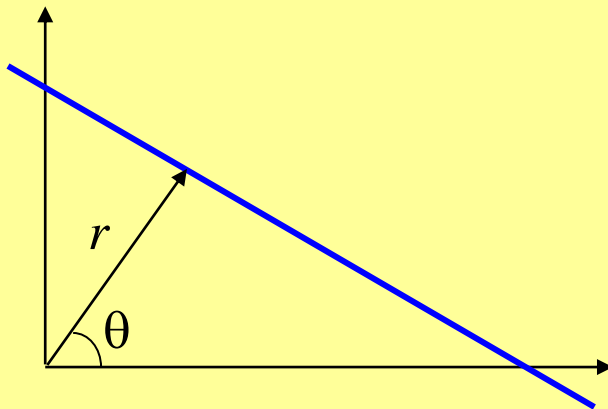
Tema 4. Segmentación

Métodos basados en modelos: La transformada de Hough

Las técnicas basadas en la transformación de Hough se pueden utilizar con éxito en segmentación de objetos **solapados** o **parcialmente ocluidos**.

DETECCIÓN DE RECTAS:

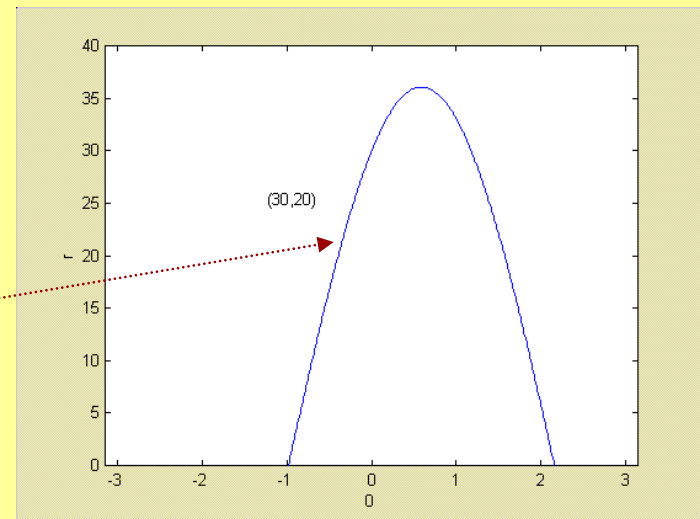
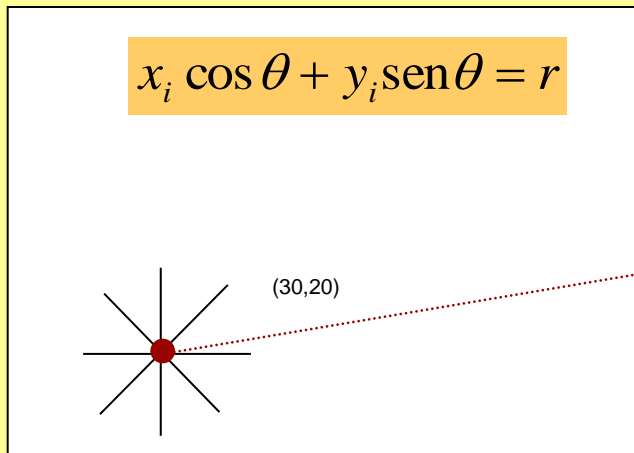
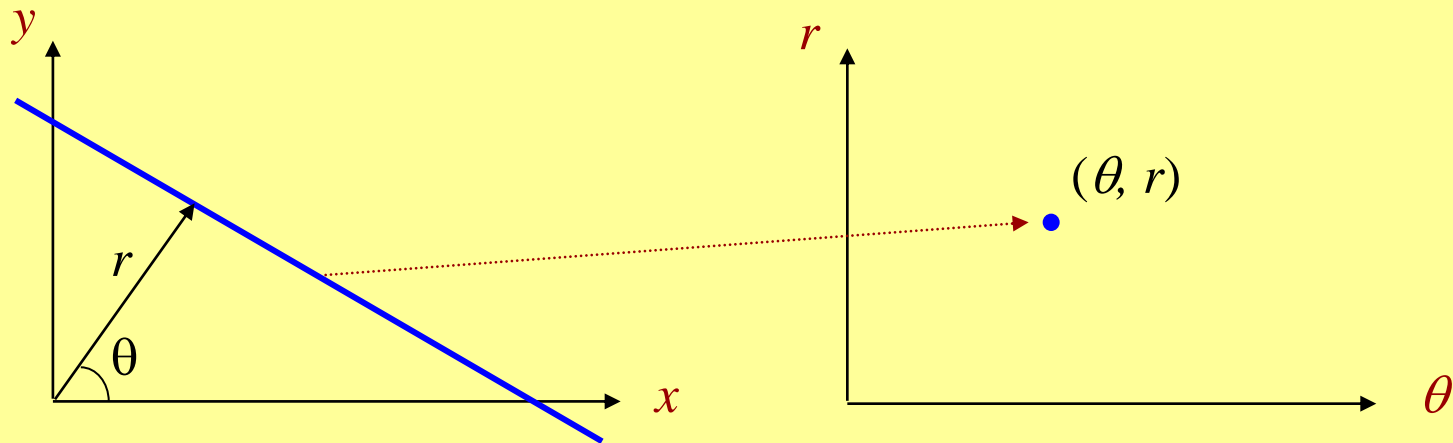
Se determinan las $n(n-1)/2$ rectas (a lo sumo) que pasan por dos o más puntos y se comprueban los puntos verifican la ecuación de cada recta. El número de operaciones elementales que se requiere para ello es de orden n^3 .



$$x \cos \theta + y \sin \theta = r$$

Tema 4. Segmentación

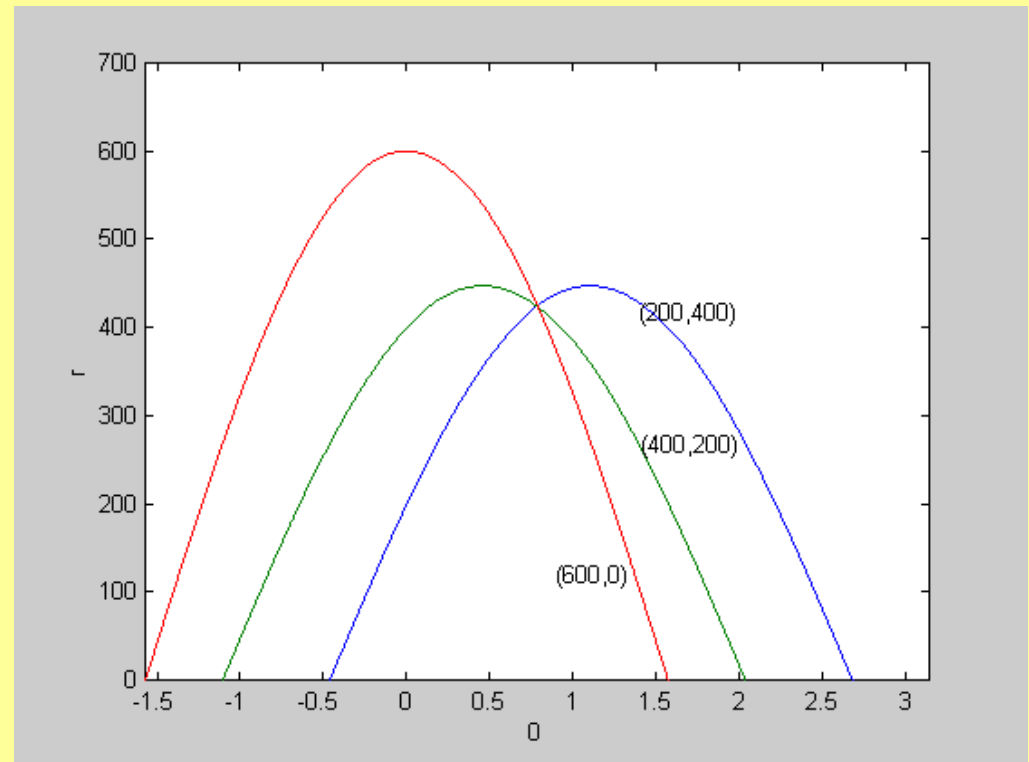
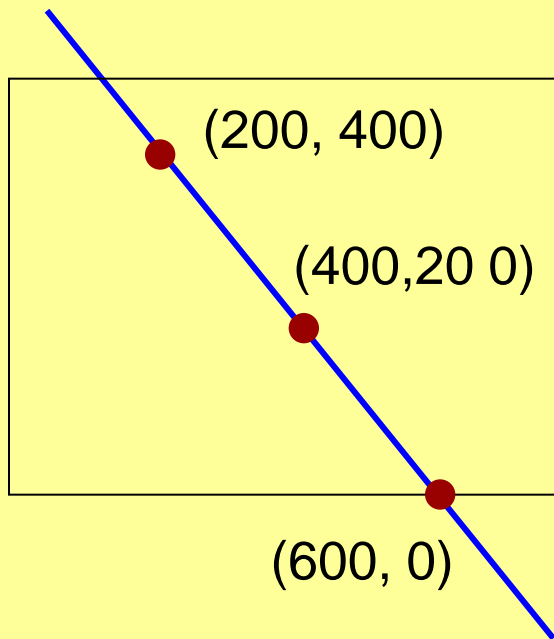
TRANSFORMACIÓN DE HOUGH



$$\{ (\theta, r) : 30\cos\theta + 20\sin\theta = r, \theta \in [-\pi, \pi] \text{ y } r \geq 0 \}$$

Tema 4. Segmentación

DETECCIÓN DE RECTAS:



$$x_i \cos \theta + y_i \sin \theta = r, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Tema 4. Segmentación

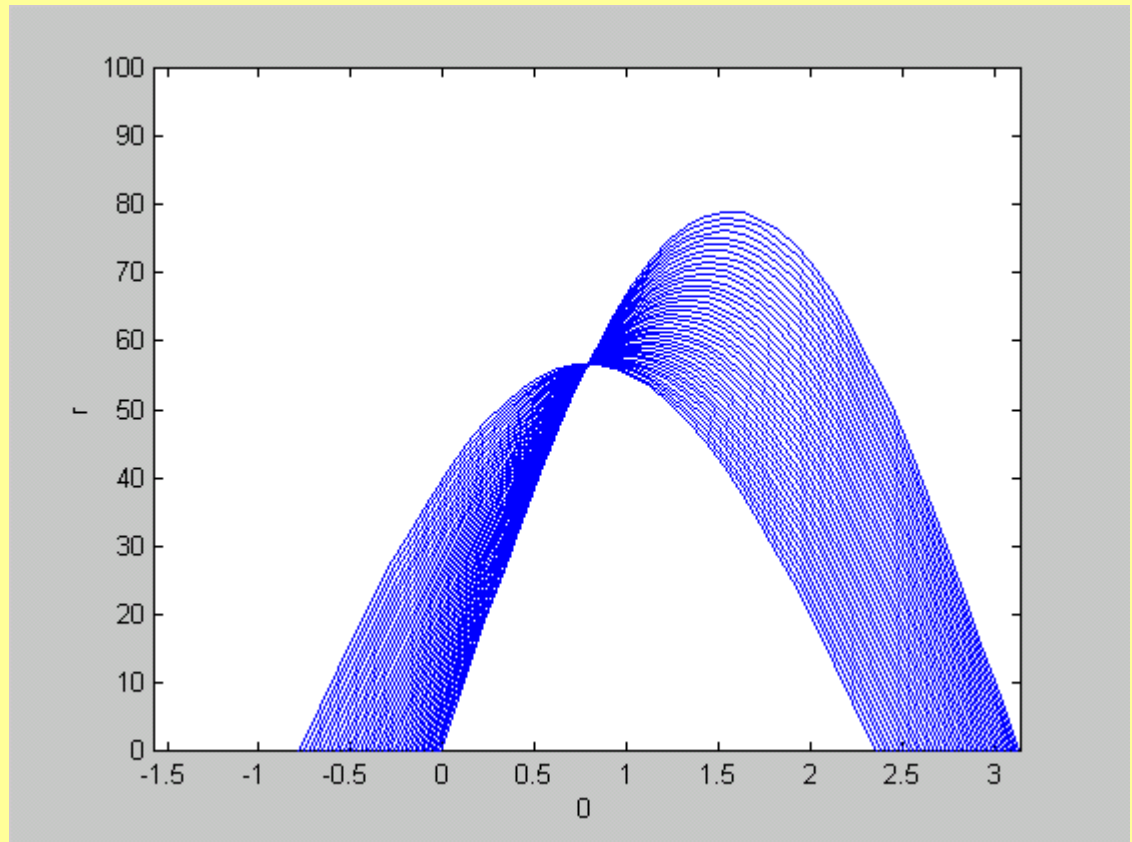
DETECCIÓN DE RECTAS:

40 Puntos de la recta

$$y = -x + 80$$

$$x \cos(\pi/4) + y \sin(\pi/4)$$

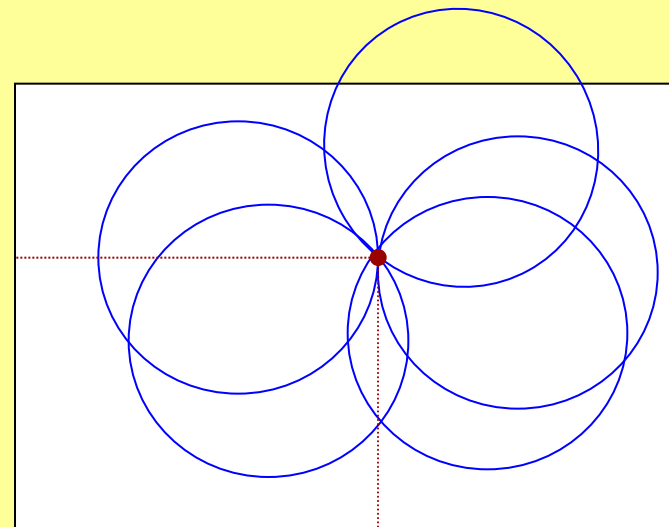
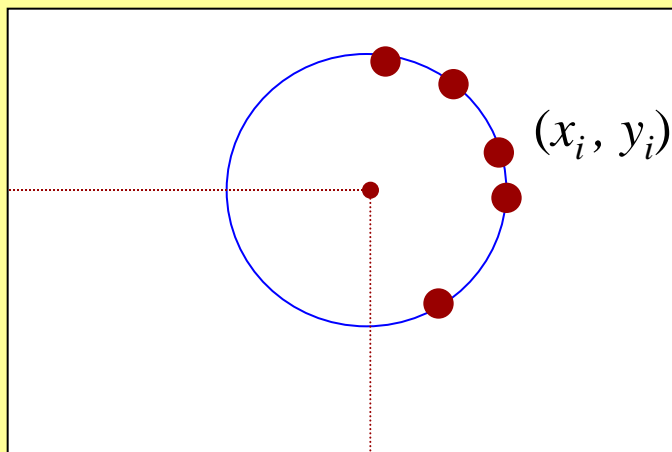
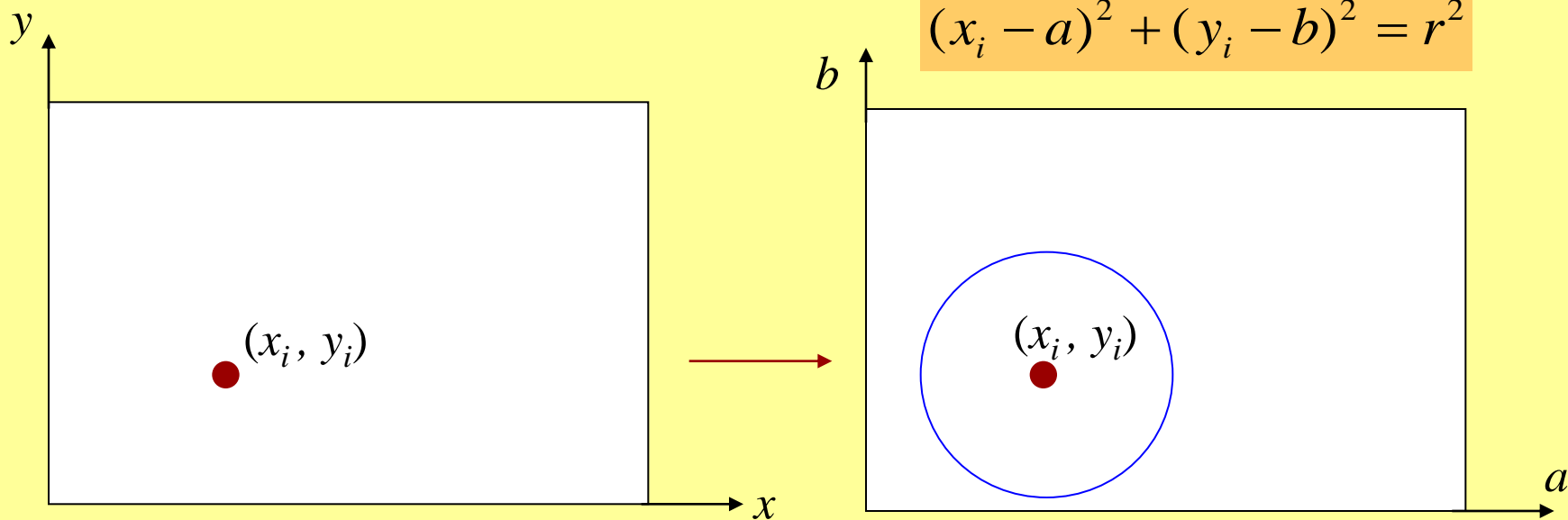
$$= 56,5685$$



Puede observarse como todas las curvas sinusoidales se cortan en el punto $(\pi/4, 56,5685)$

Tema 4. Segmentación

DETECCIÓN DE CÍRCULOS de radio r



Tema 4. Segmentación

ALGORITMO:

1. **Cuantificar** el espacio de los parámetros.
2. **Inicializar** a cero los acumuladores $A(\theta_1, \dots, \theta_p)$ obtenidos para los diferentes valores del vector paramétrico $(\theta_1, \dots, \theta_p)$
3. Para cada píxel (x_i, y_i) de la imagen de bordes locales y para todos los valores de los parámetros especificados **incrementar** los acumuladores $A(\theta_1, \dots, \theta_p)$ en una unidad,

$$A(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p) \leftarrow A(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p) + 1$$

siempre que $f(x_i, y_i, \theta_1, \dots, \theta_p) = 0$,

4. **Determinar los máximos locales** en la tabla de acumuladores y aplicarles el operador umbral. Aquellos acumuladores que superen el valor umbral nos dan los parámetros de las curvas detectadas que están presentes en la imagen original.