

Tema 3: Segmentación

3.1. Introducción. Elementos y terminología

3.2. Segmentación de imágenes binarias

3.3. Segmentación de imágenes en escala de grises

3.4. Segmentación de imágenes en color

3.5. Segmentación basada en modelo. Transformada de Hough

3.6. Extracción de características

3.7. Técnicas basadas en aprendizaje estadístico. Aplicaciones

3.1. Introducción

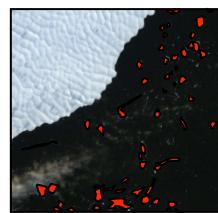
Segmentar: dividir la imagen en regiones (objetos, *blobs*) con características similares ⇒ Antes de segmentar es preciso definir qué características interesan.

Aplicaciones:

- Visión artificial



- Teledetección

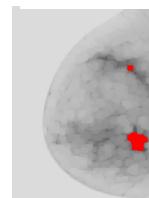


- Compresión



Codificación independiente
de objetos audio-visuales

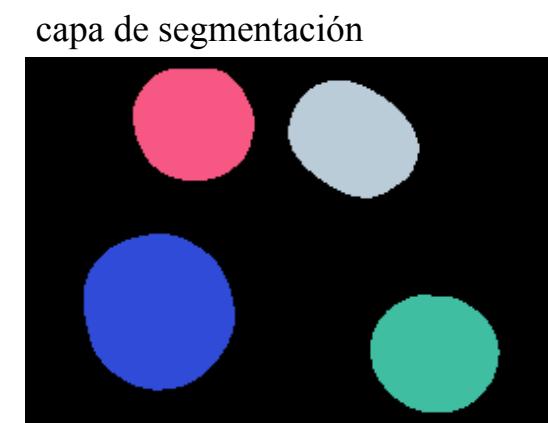
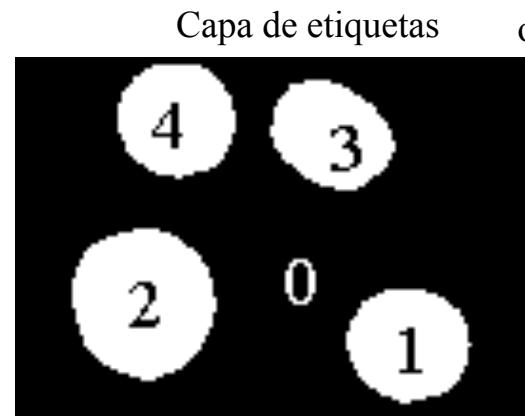
- Análisis de imágenes médicas



3.1. Elementos y terminología

- Cada una de las regiones de interés (que comparten ciertas propiedades) se denomina *objeto*. Para diferenciar los objetos se utilizan *etiquetas (label, en inglés)*. La etiqueta es un número que identifica la región a la que pertenece el píxel. Los píxeles que pertenecen a la misma región tienen la misma *etiqueta*.

Imagen a segmentar. Objetos de interés: piezas de fruta



- Terminología:

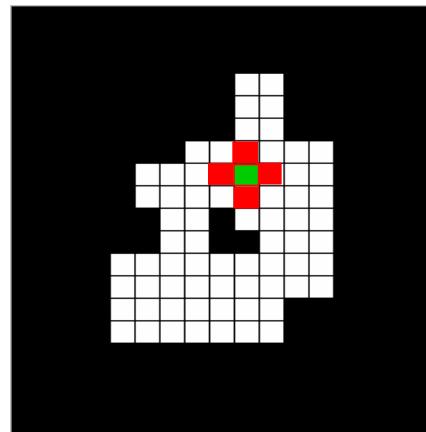
- *Fondo (background, en inglés)*: corresponde a las regiones de la imagen que no interesan. Se les suele asignar la etiqueta 0.
- *Primer plano (foreground, en inglés)*: determina los píxeles de la imagen que corresponden a objetos de interés. En una imagen binaria, el primer plano corresponde a los píxeles “blancos”.
- Como resultado de la segmentación se tiene una *capa de segmentación o capa de etiquetas*. Para visualizar la capa de segmentación se emplea la técnica de *pseudocolor* (falso color), de manera que cada etiqueta se representa con un color diferente.

3.1. Elementos y terminología

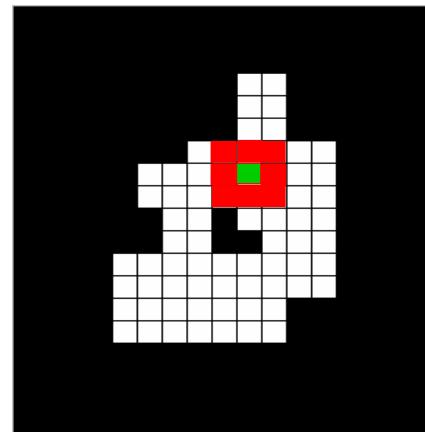
- En segmentación es importante el concepto de conectividad (*connectivity*, en inglés), definido a partir de la *vecindad*. La vecindad determina si dos píxeles son adyacentes. Básicamente, se pueden considerar dos tipos de vecindad (adyacencia).

Vecindad a 4 (4-connected): sólo se consideran píxeles conectados en direcciones perpendiculares (izquierda, derecha, arriba, abajo).

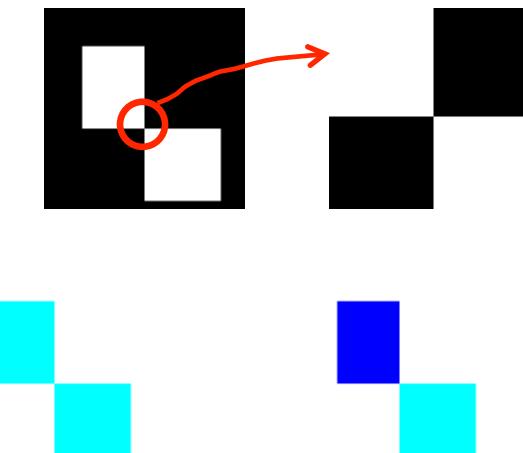
Vecindad a 8 (8-connected): también se toman en cuenta los píxeles adyacentes en diagonal.



Vecindad a 4



Vecindad a 8

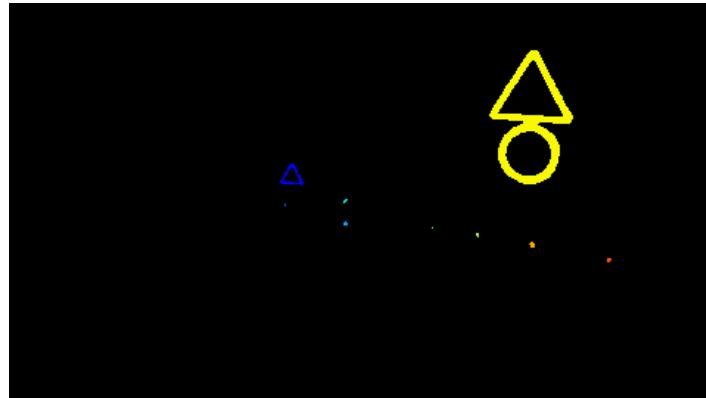


El tipo de vecindad permite determinar si dos regiones adyacentes son conexas o no.

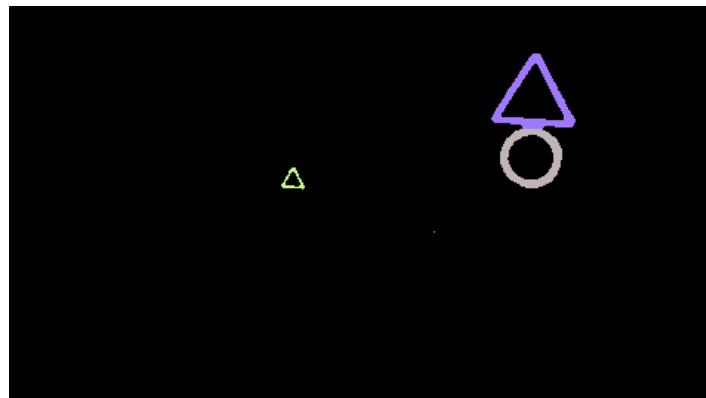
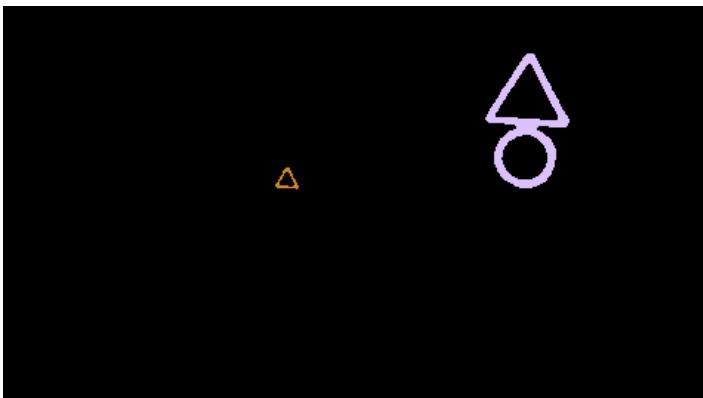
Una *región conexa* es un conjunto de puntos que se conectan entre sí: existe una trayectoria conectada (continua) entre cualesquiera dos puntos pertenecientes a la región.

3.1. Elementos y terminología

- El resultado de la segmentación es difícil de evaluar.



- Tras la segmentación es posible realizar operaciones de filtrado (a nivel de objetos), así como determinar características que permitan clasificar los objetos.



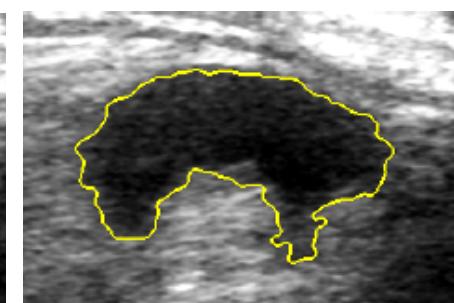
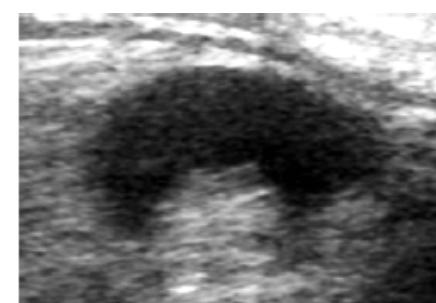
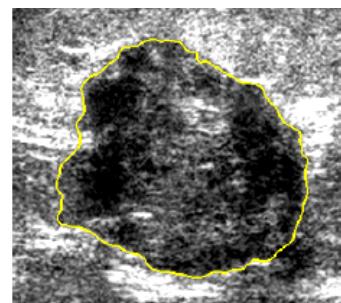
3.1. Elementos y terminología



Bounding box: rectángulo envolvente del objeto (mínimo tamaño).

El rectángulo tiene sus lados paralelos a las direcciones x e y .

- Tras la segmentación, los objetos se pueden describir a través de determinadas características: área (número de píxeles del objeto), color, perímetro....
- La frontera (*boundary*) o contorno de los objetos permite identificar la forma de los objetos segmentados.



3.1. Elementos y terminología

- Existen varios modos de describir la frontera de una región. Consideraremos aquí dos de ellos (firmas y descriptores de Fourier); ambos realizan un representación funcional 1-D de la frontera.

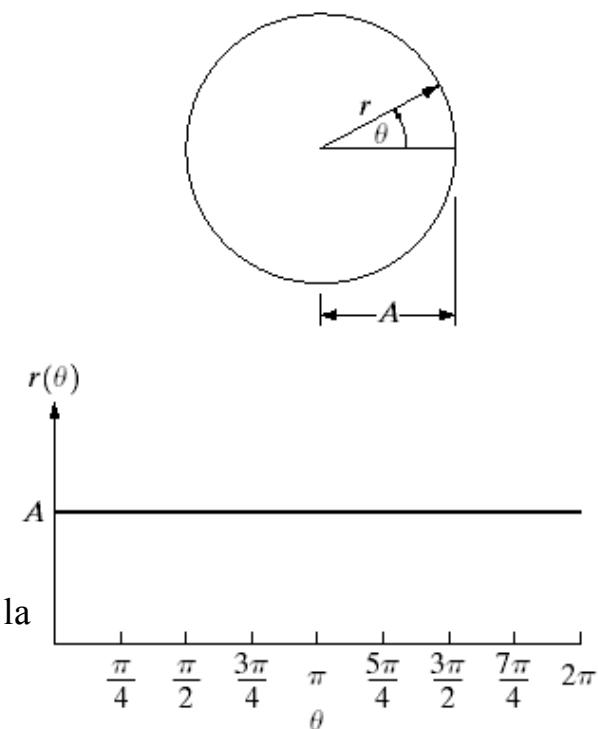
Firmas (*signatures*)

Hace uso de una representación polar, lo que permite representar la distancia del centroide a la frontera en función del ángulo.

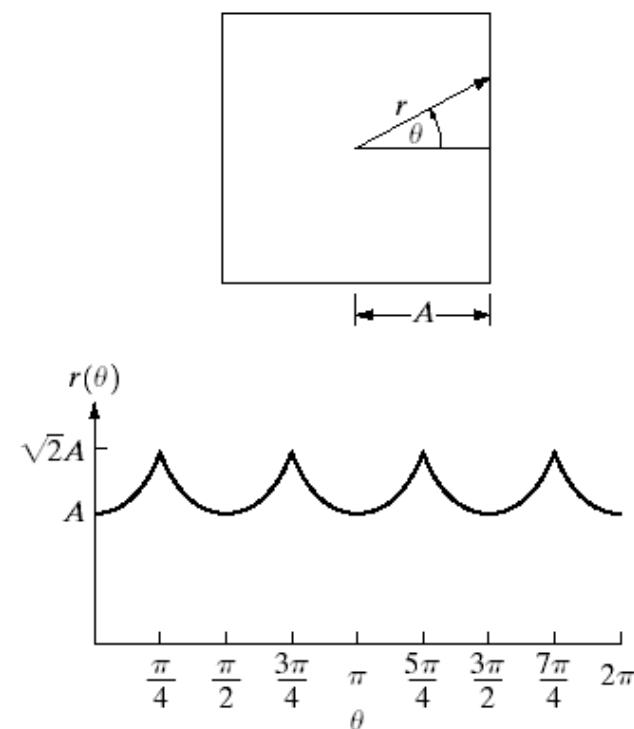
a b

FIGURE 11.5

Distance-versus-angle signatures.
In (a) $r(\theta)$ is constant. In (b),
the signature consists of
repetitions of the
pattern
 $r(\theta) = A \sec \theta$ for
 $0 \leq \theta \leq \pi/4$ and
 $r(\theta) = A \csc \theta$ for
 $\pi/4 < \theta \leq \pi/2$.



No es invariante a la rotación ni al escalado.



3.1. Elementos y terminología

Descriptores de Fourier (*Fourier Descriptors*)

Fijado un sentido (contrario a las agujas del reloj, por ejemplo), se toman las coordenadas (x_k, y_k) , de los K píxeles que definen el contorno. Esas coordenadas se representan como una sucesión de números complejos de la forma $s_k = x_k + j y_k$.

Al utilizar esta representación las coordenadas de un píxel pasan a una única variable compleja, reduciendo por tanto el problema de 2D a 1D.

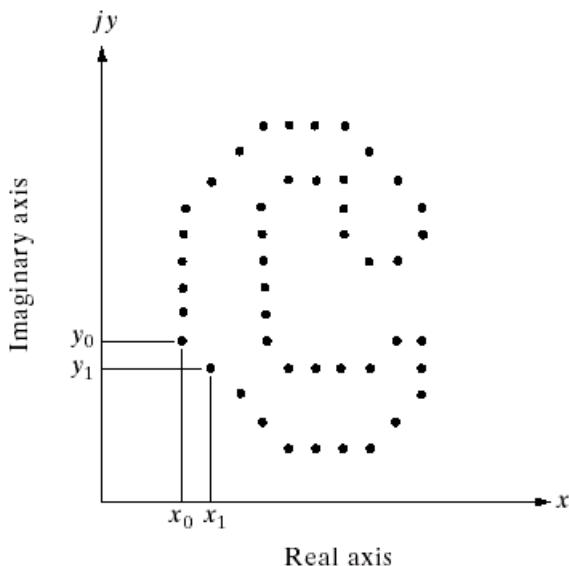


FIGURE 11.13 A digital boundary and its representation as a complex sequence. The points (x_0, y_0) and (x_1, y_1) shown are (arbitrarily) the first two points in the sequence.

La serie s_k se transforma al dominio frecuencial aplicando la transformada discreta de Fourier (DFT)

$$a(u) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} s(k) \exp[-j 2\pi u k / K]$$

donde los coeficientes complejos $a(u)$ se denominan descriptores de Fourier de la frontera.

3.1. Elementos y terminología

La frontera se puede reconstruir sin considerar todos los coeficientes. En general, son suficientes unos pocos descriptores de Fourier para diferenciar formas razonablemente distintas entre sí (coeficientes de baja frecuencia determinan la forma aproximada y los de alta frecuencia el detalle).

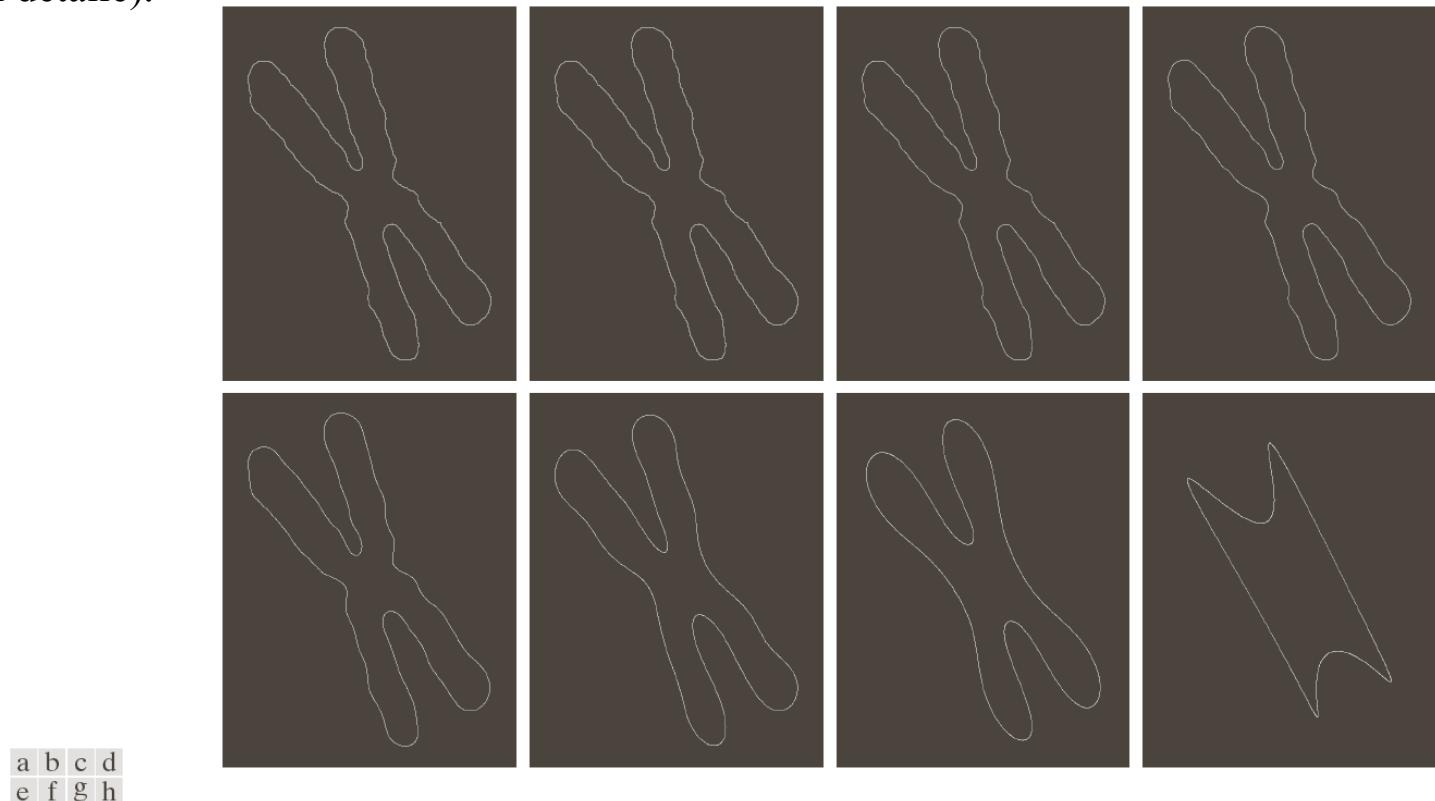


FIGURE 11.20 (a) Boundary of human chromosome (2868 points). (b)–(h) Boundaries reconstructed using 1434, 286, 144, 72, 36, 18, and 8 Fourier descriptors, respectively. These numbers are approximately 50%, 10%, 5%, 2.5%, 1.25%, 0.63%, and 0.28% of 2868, respectively.

Tema 3: Segmentación

3.1. Introducción. Elementos y terminología

3.2. Segmentación de imágenes binarias

3.3. Segmentación de imágenes en escala de gris

3.4. Segmentación de imágenes en color

3.5. Segmentación basada en modelo. Transformada de Hough

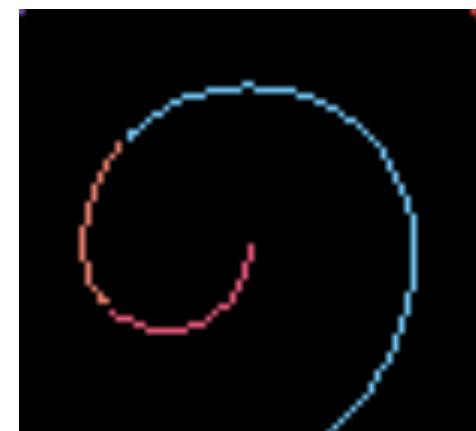
3.6. Extracción de características

3.7. Técnicas basadas en aprendizaje estadístico. Aplicaciones

3.2. Segmentación de imágenes binarias

- Se refiere a la segmentación de imágenes que sólo tienen dos niveles de intensidad. Si $B=8$ (bits por píxel):
 - * 255 (primer plano - *foreground*) – corresponde a los objetos de interés
 - * 0 (fondo - *background*) – son píxeles que no interesan.
Se les asocia la etiqueta 0. En las visualizaciones de la capa de segmentación de estas transparencias, asociaremos el color negro a la etiqueta 0. En cambio, Matlab asocia el color blanco a la etiqueta 0.
- Única segmentación que será exacta. Consiste en buscar **grupos conexos** de píxeles de **primer plano**, asignándole a cada uno de ellos una etiqueta diferente.
La conectividad es un concepto importante para establecer los límites de un objeto.

Imagen
Binaria
(*binary image*)



Capa de
segmentación

3.2. Segmentación de imágenes binarias

Segmentación binaria considerando vecindad a ¿?

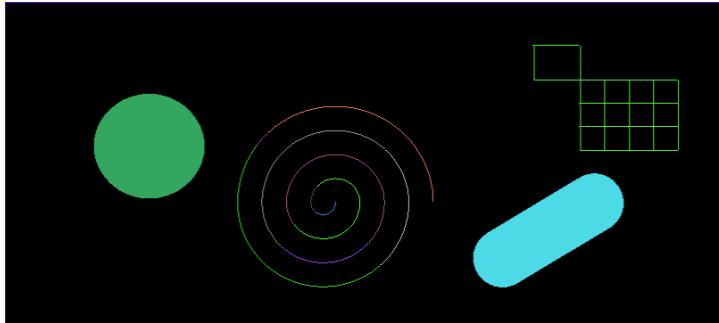
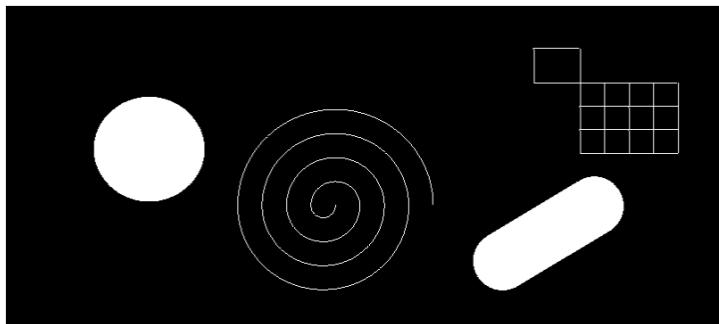
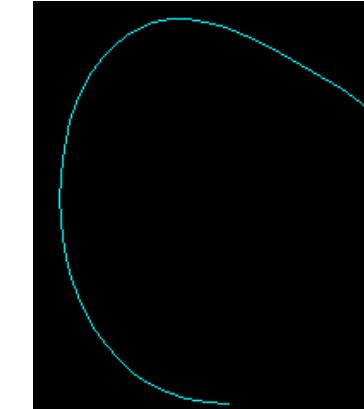
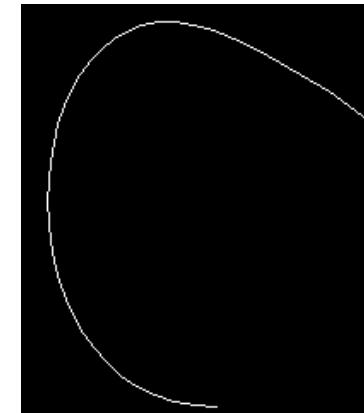
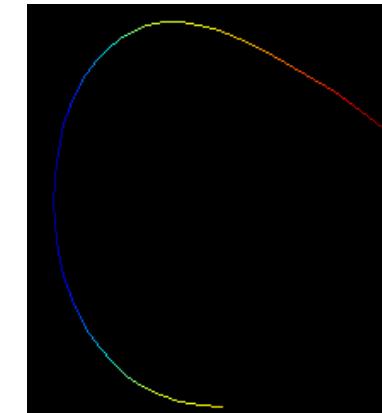


Imagen binaria



Capa de segmentación con vecindad a 4
(173 objetos)



Capa de segmentación con vecindad a 8
(1 objeto)

Tema 3: Segmentación

3.1. Introducción. Elementos y terminología

3.2. Segmentación de imágenes binarias

3.3. Segmentación de imágenes en escala de gris

3.4. Segmentación de imágenes en color

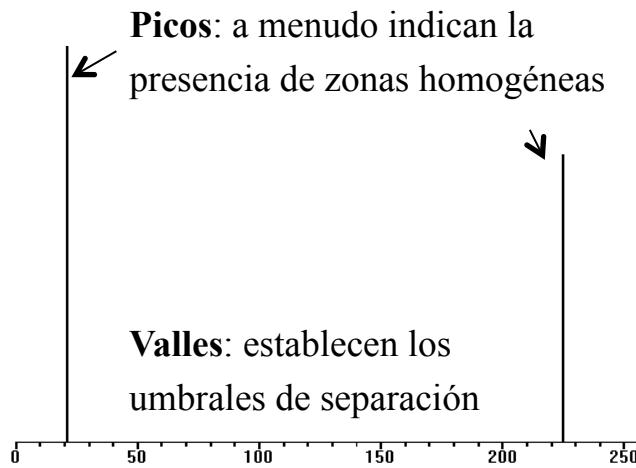
3.5. Segmentación basada en modelo. Transformada de Hough

3.6. Extracción de características

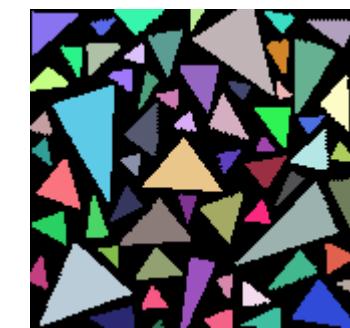
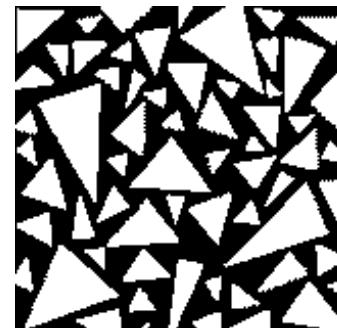
3.7. Técnicas basadas en aprendizaje estadístico. Aplicaciones

3.3. Segmentación de imágenes en escala de gris

- Utiliza la luminancia (nivel de gris) como característica distintiva.
- Útil si distintos objetos se corresponden con niveles de gris diferentes.
- En el caso ideal en que el objeto posea un único nivel de gris frente a un fondo uniforme, podemos establecer un nivel de gris intermedio (*umbral o threshold – en inglés-*) para separar objeto y fondo.
- Para establecer ese umbral es útil recurrir al histograma (representa cada uno de los posibles niveles de gris frente a su frecuencia relativa de aparición).

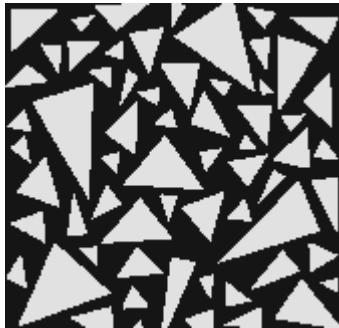


Umbralización *seguida* de segmentación binaria. A modo de ejemplo, si $umbral = 64$: $si\ nivel \geq umbral \Rightarrow 255$; $si\ nivel < umbral \Rightarrow 0$.

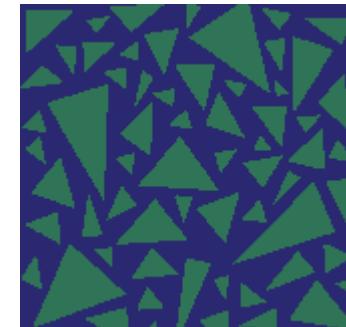


3.3. Segmentación de imágenes en escala de gris

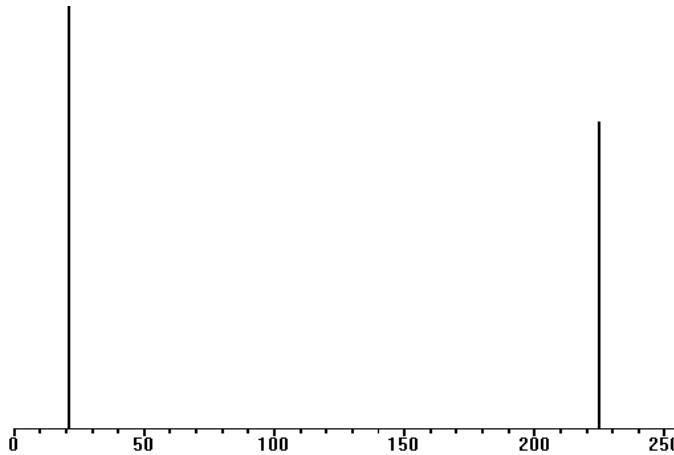
Considerando el nivel de gris como característica discriminativa, se pueden distinguir otros dos tipos de segmentación: por “niveles de gris” y por “zonas planas” (*flat zones*, en inglés).



Segmentación por
niveles de gris
(pixeles con el mismo nivel de gris se consideran el mismo objeto, con independencia de su conectividad)

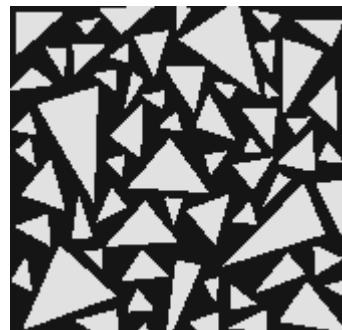


2 objetos

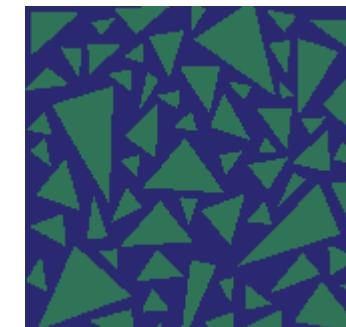


3.3. Segmentación de imágenes en escala de gris

Considerando el nivel de gris como característica discriminativa, se pueden distinguir otros dos tipos de segmentación: por “niveles de gris” y por “zonas planas” (*flat zones*, en inglés).

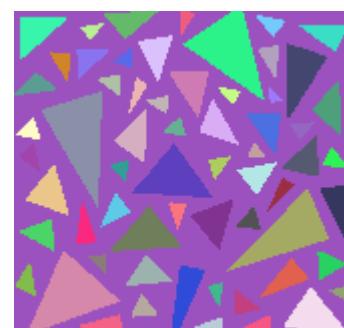


Segmentación por
niveles de gris
(píxeles con el mismo nivel de
gris se consideran el mismo
objeto, con independencia de su
conectividad)

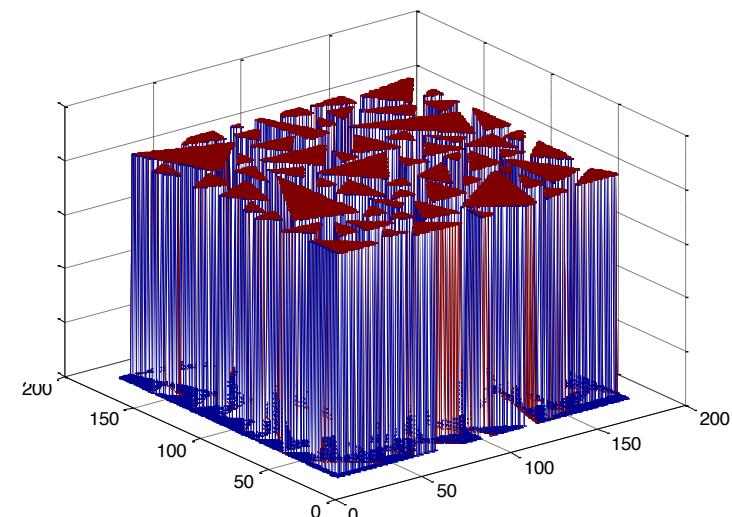


2 objetos

Segmentación por
zonas planas (flat zones)
(un objeto es un grupo conexo
de píxeles con el mismo nivel
de gris)



64 objetos

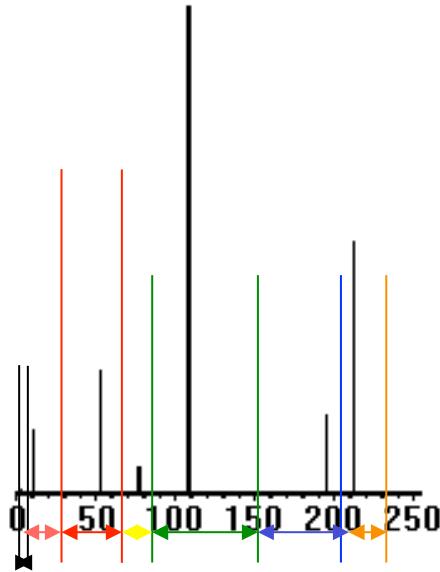


3.3. Segmentación de imágenes en escala de gris

Si el histograma de la imagen tiene más de dos máximos relevantes, puede resultar conveniente la segmentación por **niveles de gris con múltiples umbrales** (misma etiqueta para píxeles cuyo nivel de intensidad está comprendido entre dos umbrales).



Segmentación
por niveles de
gris con
múltiples
umbrales
(7 etiquetas)



Cada objeto tiene un nivel de gris diferente, delimitado por dos umbrales (inferior y superior)



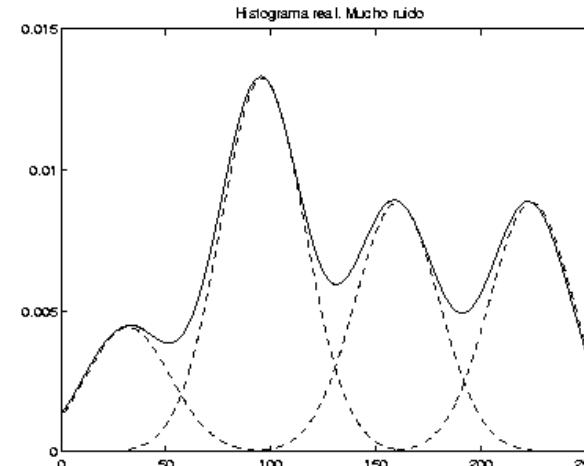
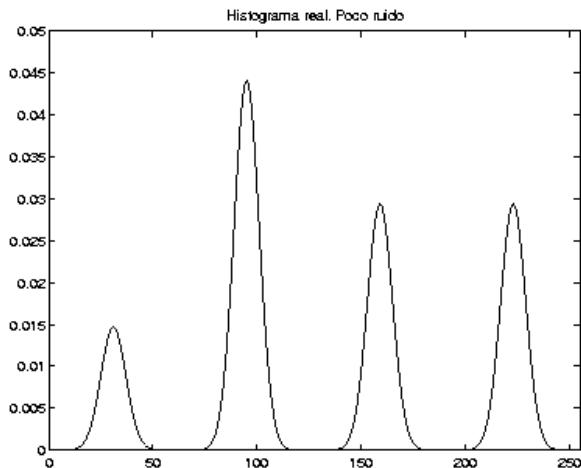
Segmentación
por
zonas planas
(8 etiquetas)



3.3. Segmentación de imágenes en escala de gris

Problemas: imagen con ruido, objeto con un rango de niveles de gris, fondo no uniforme, ...

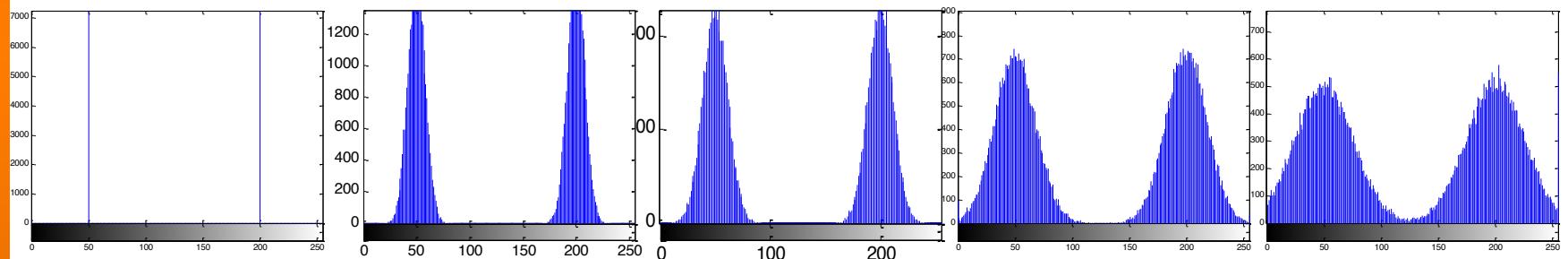
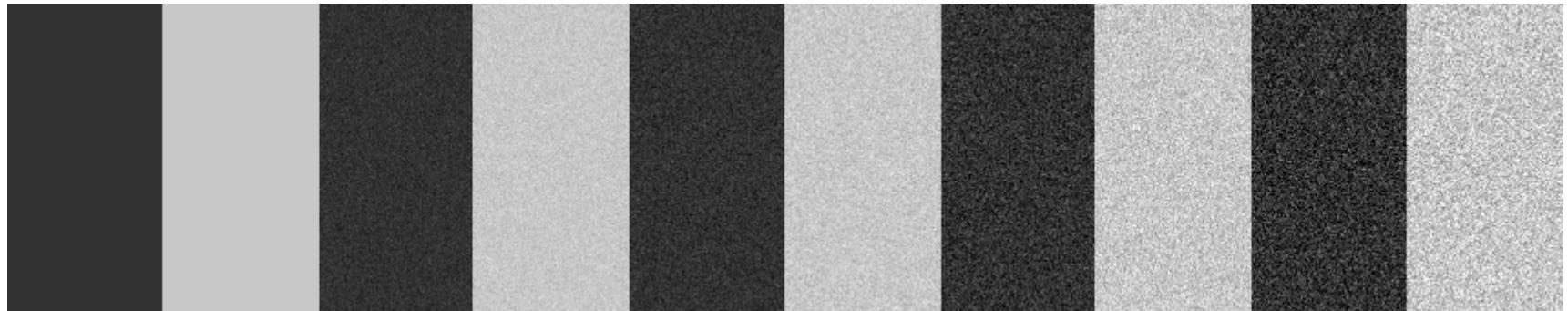
Las imágenes reales suelen tener ruido \Rightarrow Un objeto no corresponde con un único nivel de gris, sino con un margen de valores entorno a un nivel medio. Se produce un ensanchamiento de las “deltas” en el histograma ideal.



En el caso de tener poco ruido, se podrá utilizar segmentación por umbralización si el ruido no hace que se solapen las distribuciones de probabilidad de los niveles de gris de cada objeto.

En el caso de tener mucho ruido, será imposible segmentar sin errores.
Conocer la distribución estadística de los niveles de gris permite determinar el *umbral óptimo* con el que separar los *objetos*, produciendo así el menor error posible.

3.3. Segmentación por umbralización simple



3.3. Segmentación de imágenes en escala de gris

Objetivo: separar frutas del fondo (mantel).

Umbralización de único nivel seguida de segmentación binaria

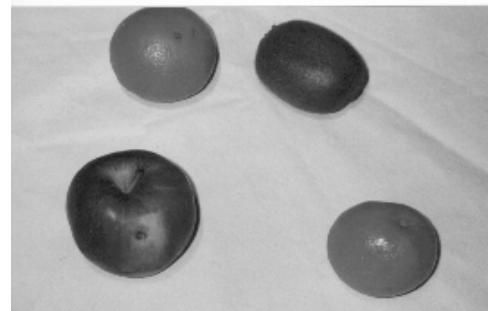
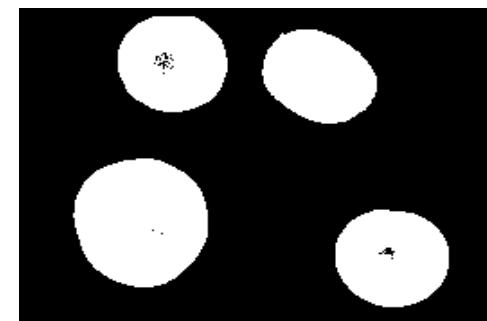
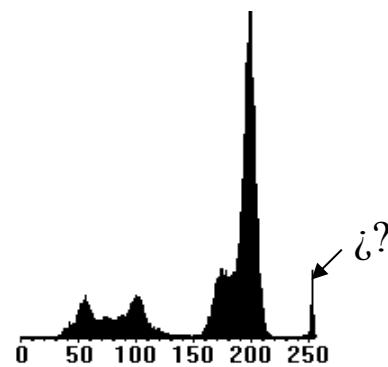
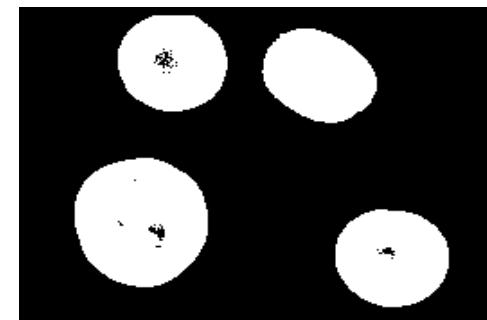


Imagen original



Umbral = 150

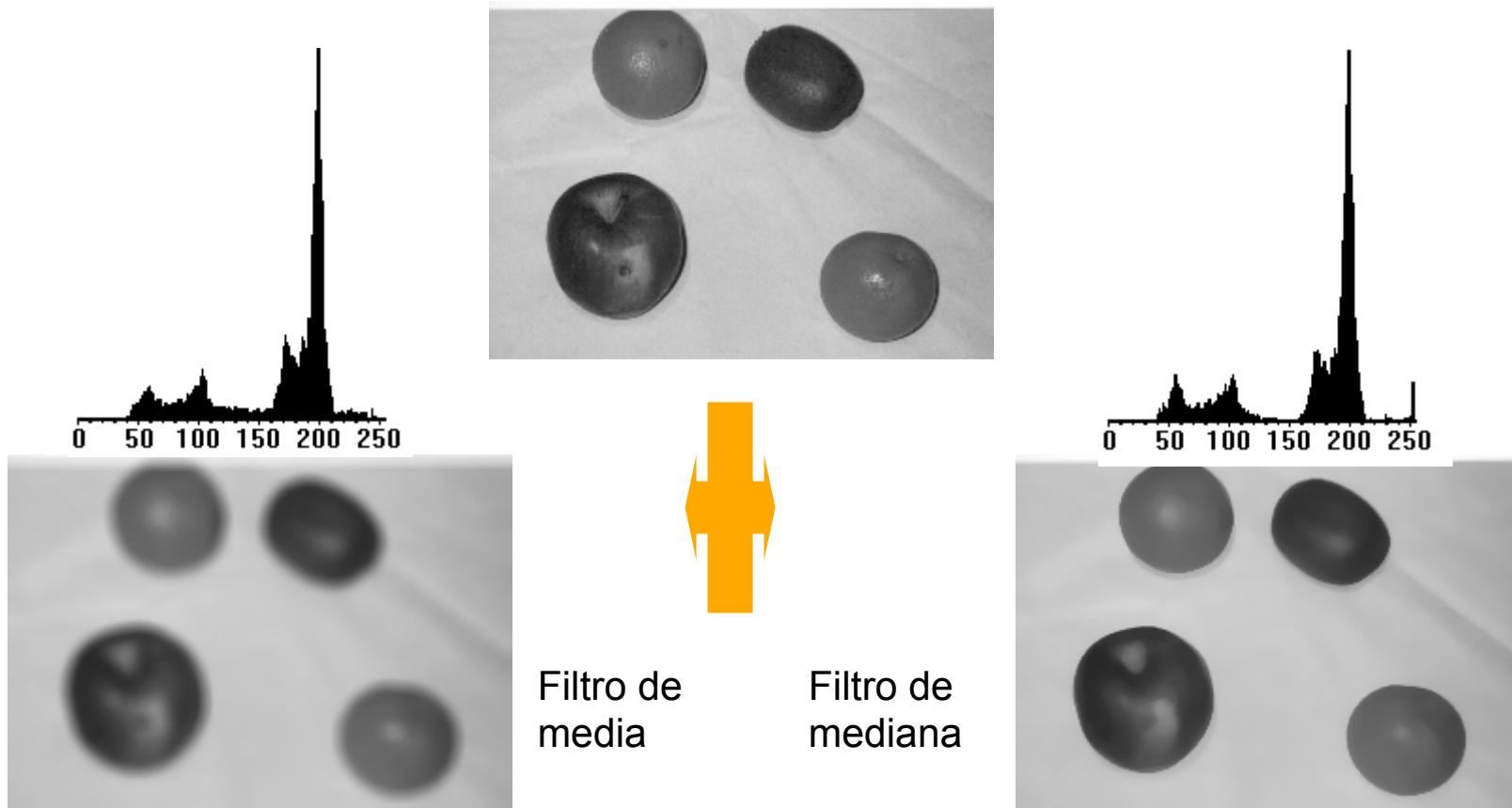


Umbral = 140

3.3. Segmentación de imágenes en escala de gris

- ¿Qué se puede hacer para mejorar la segmentación? Procesar previamente la imagen.
- ¿Para qué? Para transformar los niveles de gris de la imagen original y poder segmentar aplicando un umbral.

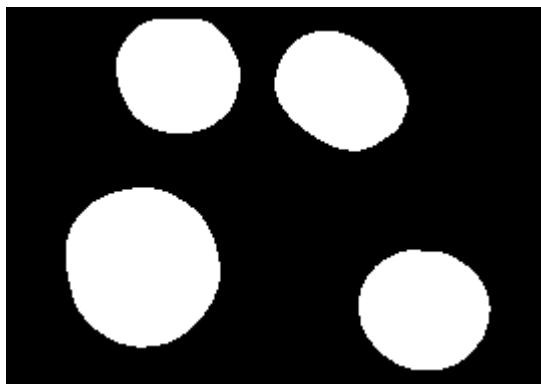
Ejemplo: Segmentación con preprocessado



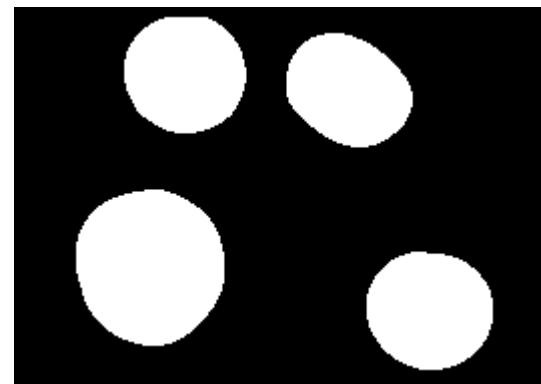
3.3. Segmentación de imágenes en escala de gris

Los dos esquemas de preprocessado conducen a la misma umbralización aparente. ¿Diferencias?

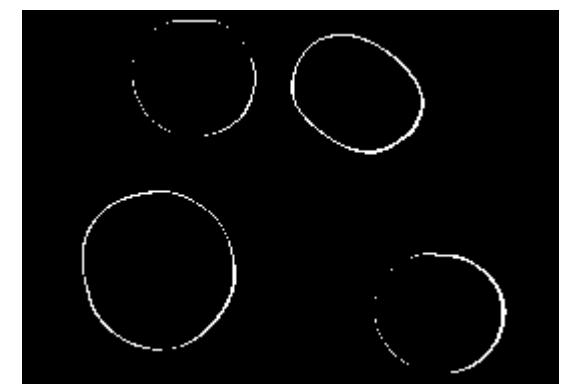
Filtro de media



Filtro de mediana

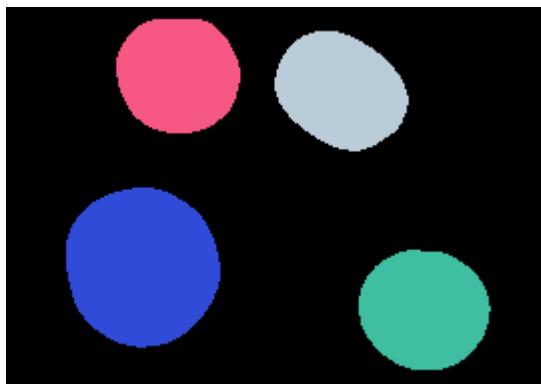


Diferencia

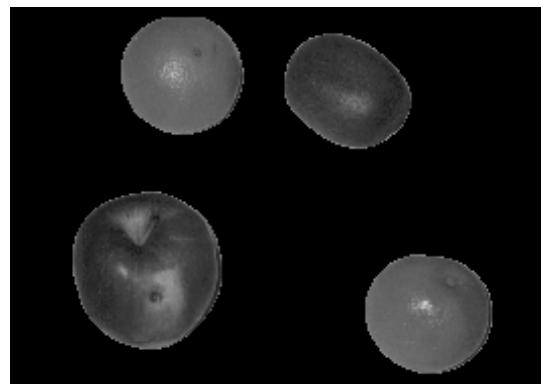


Segmentación binaria de la
imagen umbralizada.

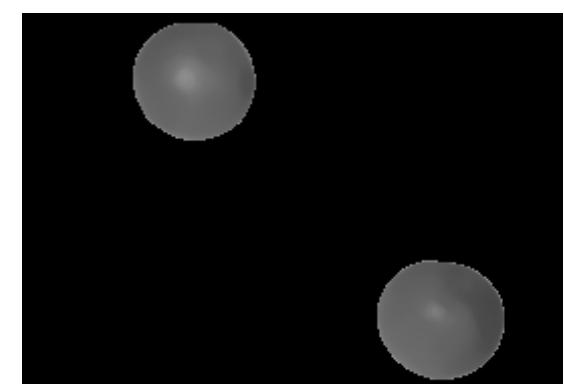
Capa de segmentación.



Extracción de objetos



Filtrado de objetos



3.3. Segmentación de imágenes en escala de gris

Aplicando otros tipos de segmentación sin preprocesar la imagen ...

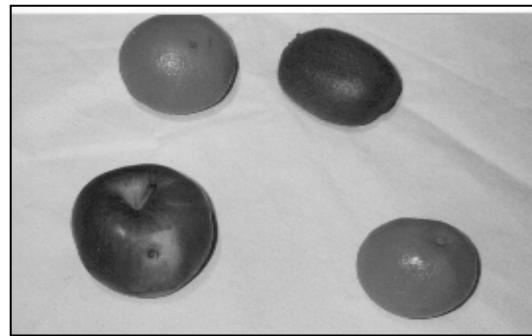
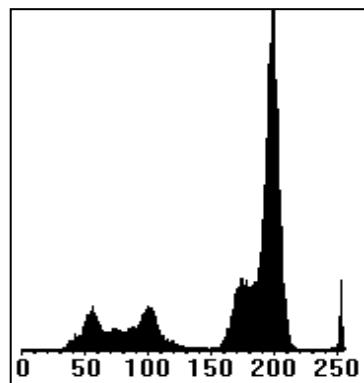
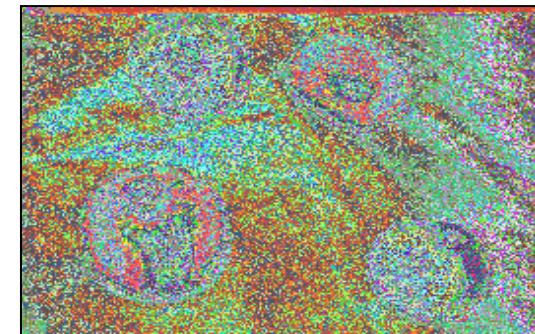


Imagen original



Niveles de gris



225 objetos

Zonas planas

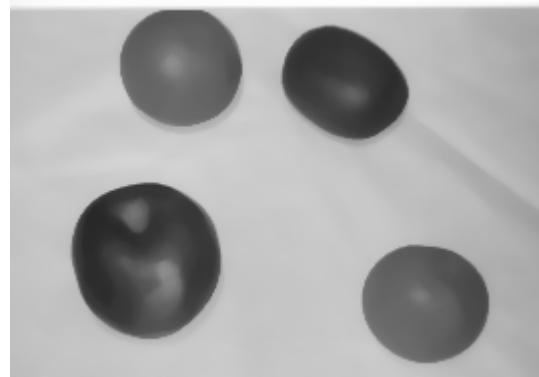


42935 objetos

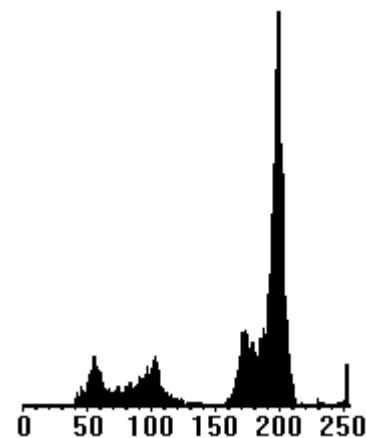
En ambos casos se produce SOBRESEGMENTACIÓN
(OVERSEGMENTATION, en inglés)

3.3. Segmentación de imágenes en escala de gris

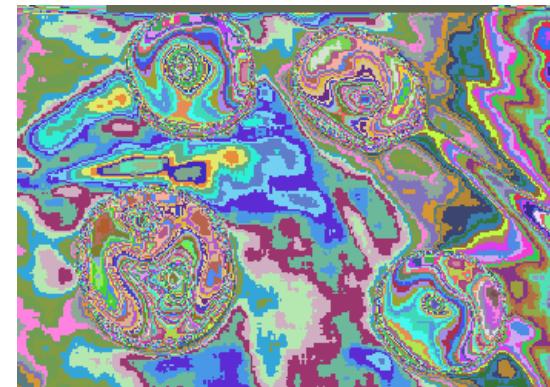
... y preprocesando la imagen aplicando un filtro de mediana



Niveles de gris



Zonas planas



210 objetos



10391 objetos

Sigue existiendo
SOBRESEGMENTACIÓN

3.3. Segmentación por crecimiento de regiones

Las técnicas agrupadas bajo el nombre de crecimiento de regiones son técnicas iterativas que se basan en criterios de similitud y proximidad entre píxeles.

Principio de operación: método **iterativo** que parte de uno o varios píxeles iniciales (semillas de expansión de regiones en base a criterios de **similitud** y proximidad).

Incluye en la misma región píxeles vecinos con características (**nivel de gris**, textura, color) similares.

Ejemplo

0	0	5	6	7
1	1	5	8	7
0	A [1]	6	[7] B	7
2	0	7	6	6
0	1	5	6	5

Partición de la imagen en dos regiones, etiquetadas como A y B. De cada región se conoce un píxel semilla (indicado entre corchetes). La asignación de un píxel q a una región depende de la diferencia de intensidad entre el píxel semilla y el píxel a etiquetar: $|p-q| < T$

p : nivel de intensidad del pixel semilla

q : nivel de intensidad del pixel a etiquetar

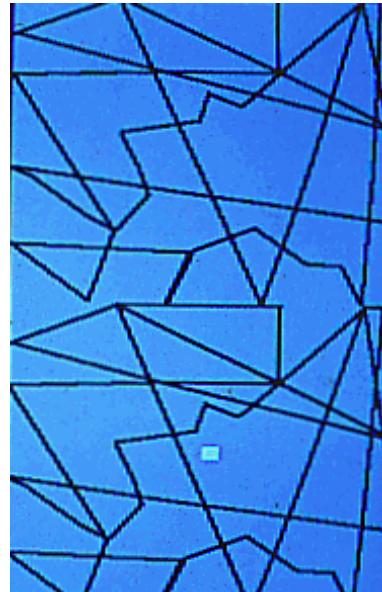
Si $T=3$, la segmentación (i.e., el etiquetado) resulta del siguiente modo:

A	A	B	B	B
A	A	B	B	B
A	A	B	B	B
A	A	B	B	B
A	A	B	B	B

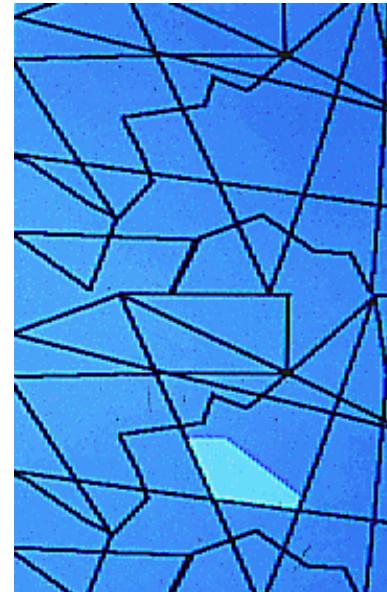
3.3. Segmentación por crecimiento de regiones

Ejemplo sintético

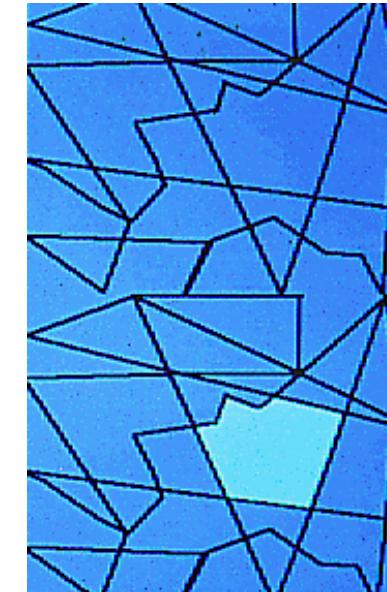
Criterio de homogeneidad: mismo color



Semilla



Durante crecimiento



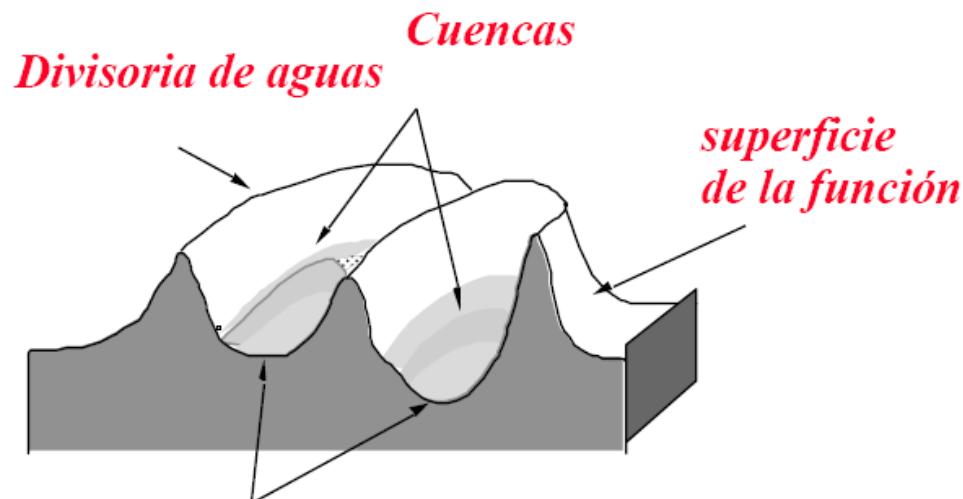
Resultado final

3.3. Segmentación por crecimiento de regiones

Segmentación por watershed

Una imagen numérica se puede considerar como un relieve topográfico donde la intensidad de cada píxel corresponde a la altura sobre el relieve.

Símil con la inundación del **relieve topográfico** asumiendo que el agua mana de los **mínimos regionales** (*mínimo regional*: zona plana tal que el nivel de todos los píxeles vecinos es estrictamente superior).



Suponga que se taladra un agujero en cada mínimo regional de la superficie y que ésta se inunda a partir de dichos agujeros.

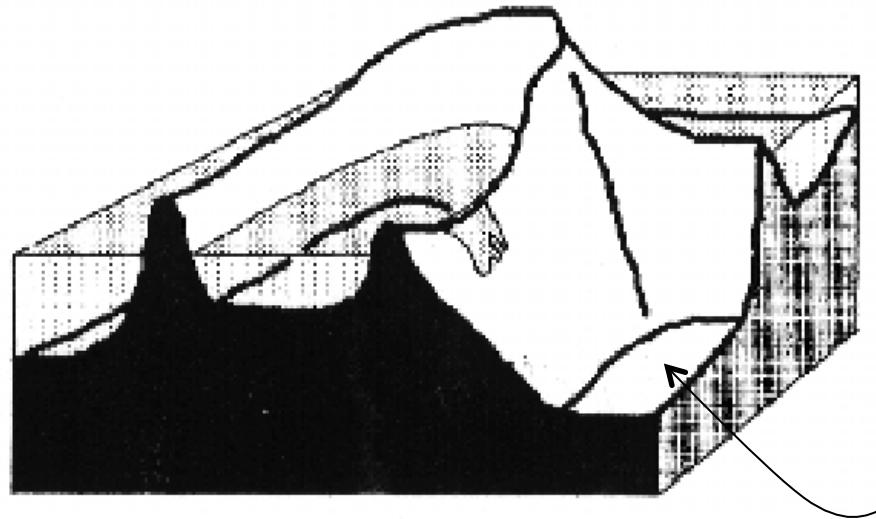
El nivel de agua aumentará progresivamente.

Para evitar la mezcla del agua procedente de dos o más agujeros diferentes, se construye un dique (progresivamente) en cada punto de contacto.

La unión de todos los diques constituye las *líneas de watershed*, *líneas divisorias de aguas* o *líneas de cresta* (definen los contornos de las regiones segmentadas).

3.3. Segmentación por crecimiento de regiones

Símil con la inundación del relieve topográfico. Se construyen presas donde el agua procedente de dos mínimos contiguos se fusiona (*líneas de cresta o líneas de watershed*).



¿Qué etiqueta tiene asociada cada cuenca? Depende si la cuenca corresponde a un mínimo regional o a un mínimo local.

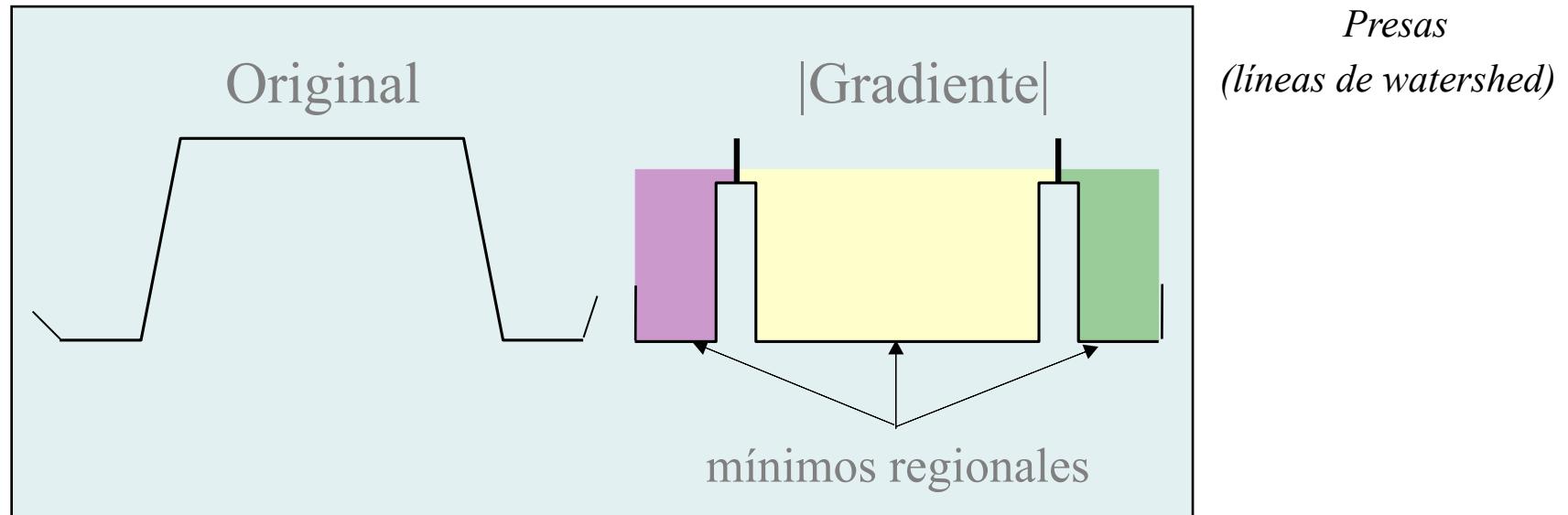
Inundación de una cuenca a partir de la adyacente

Le corresponde la misma etiqueta que la asociada al mínimo adyacente para el que la frontera de separación sea menos elevada.

3.3. Segmentación por crecimiento de regiones

Si el criterio de similitud es la homogeneidad en los niveles de gris, es frecuente trabajar con la señal correspondiente al módulo del gradiente \Rightarrow en el símil con el **relieve topográfico**, las zonas de alto gradiente suelen corresponder a las fronteras entre objetos (*líneas de cresta o líneas de watershed*).

Ejemplo de Segmentación por *watershed* en 1-dimensión



Watershed es un método de crecimiento de regiones que parte de los mínimos regionales (semillas).

El criterio de segmentación es la homogeneidad de los niveles de intensidad \Rightarrow *watershed* determina las zonas de influencia de los mínimos regionales.

3.3. Segmentación por crecimiento de regiones

Imagen original



Mínimos regionales



Resultado de la segmentación por *watershed*



Líneas de *watershed*

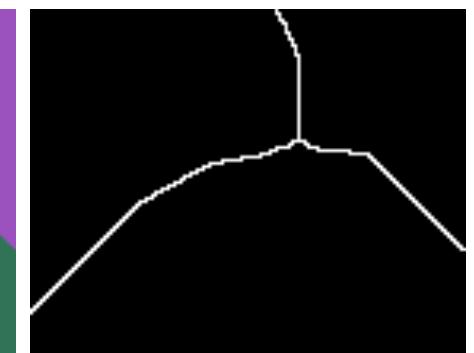
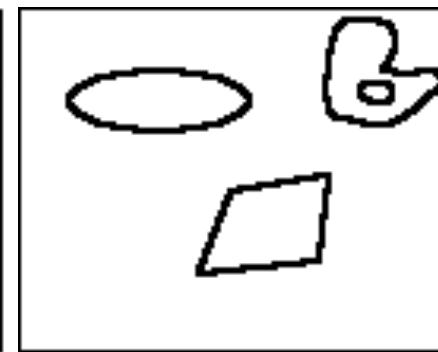


Imagen del módulo del gradiente



Mínimos regionales (marcados como primer plano)

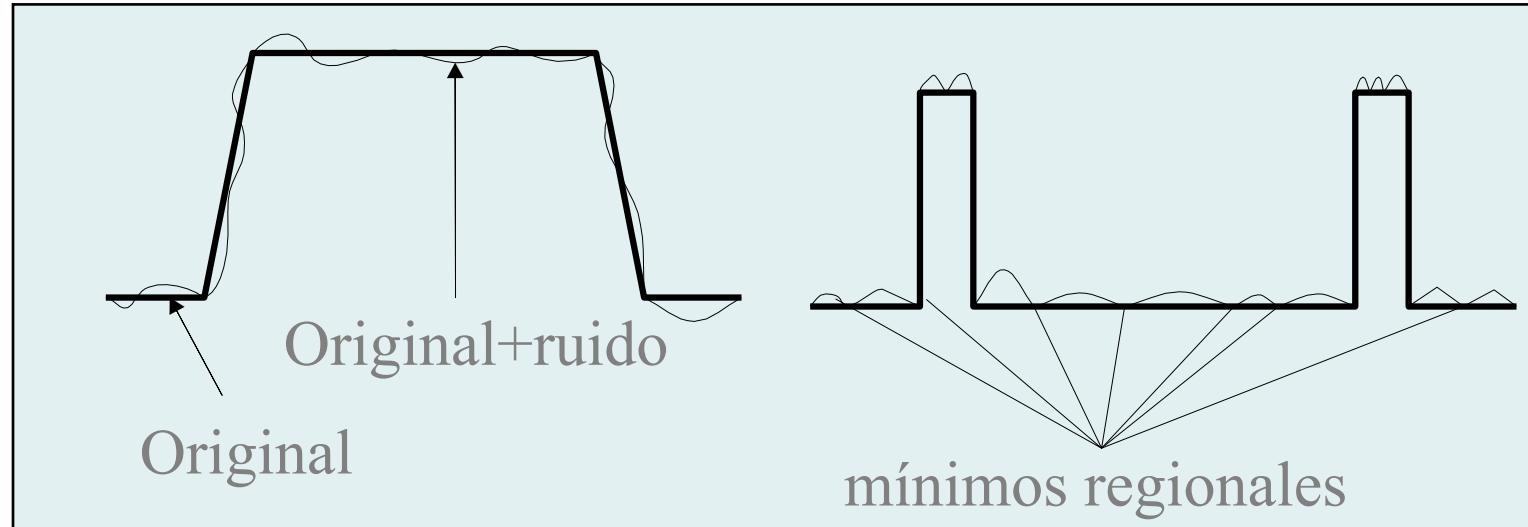


Capa de segmentación por *watershed*



Líneas de *watershed*

3.3. Segmentación por crecimiento de regiones



Imágenes reales tienen ruido → sobresegmentación

La técnica de watershed “extiende” la región de influencia de los mínimos regionales tan lejos como su topología lo permita.

La sobresegmentación se debe al hecho de que cada mínimo regional (incluídos los originados por ruido) se convierte en el origen de una cuenca.

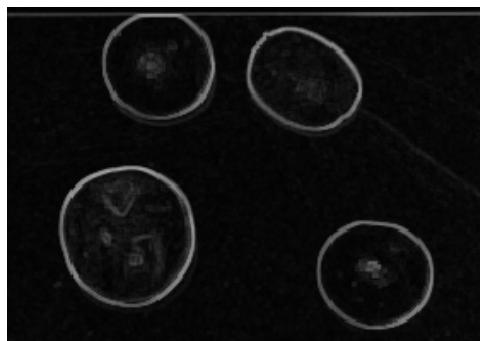
3.3. Segmentación por crecimiento de regiones



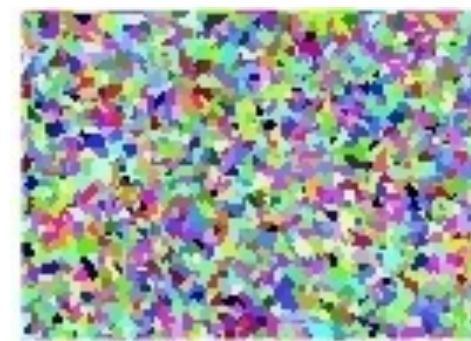
*Watershed sobre
la imagen de
grises*



Inconveniente: sobresegmentación



*Watershed sobre
la imagen módulo
del gradiente*

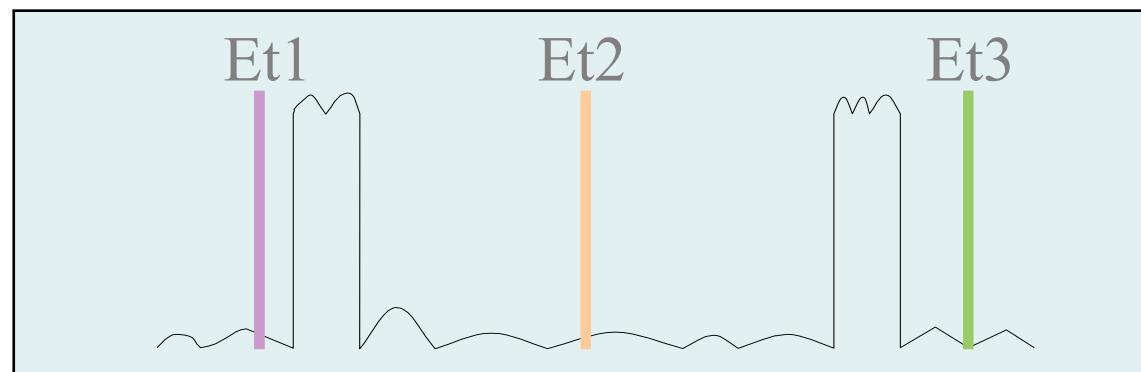
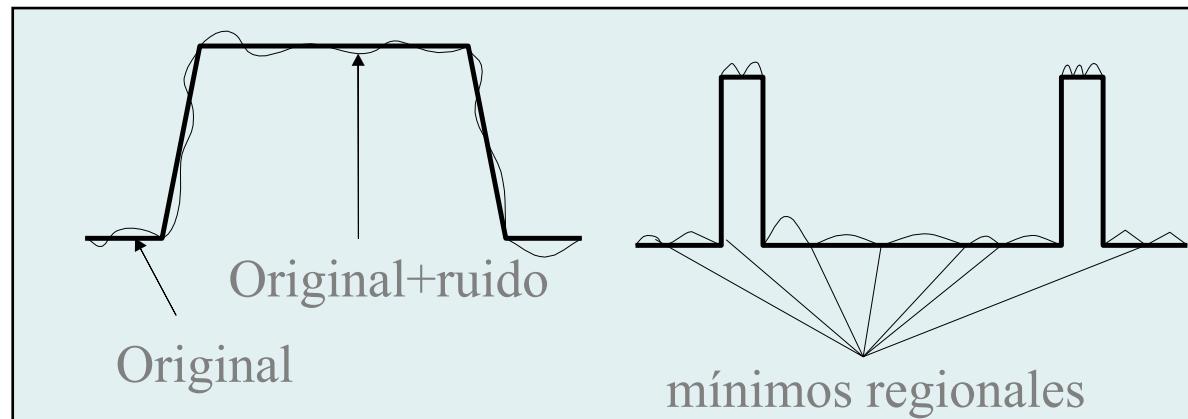


Una solución a la sobresegmentación producida por la aplicación directa de la técnica de *watershed* sobre imágenes reales (tienen ruido) es *marcar* las zonas que se desea que actúen como mínimos regionales \Rightarrow ***Watershed con marcadores***:

- cada marcador identifica un objeto a través de una etiqueta
- cada etiqueta se propaga hasta que alcanza una línea de cresta
- las cuencas de los mínimos no marcados se llenan por desbordamiento de las cuencas vecinas

3.3. Segmentación por crecimiento de regiones

Ejemplo sobre una señal uni-dimensional, correspondiente al módulo de la señal gradiente.



Se introducen marcadores (cada uno, con una etiqueta distinta). El algoritmo de *watershed con marcadores* propaga las etiquetas de los marcadores hasta que éstas alcanzan una línea de cresta.

3.3. Segmentación por crecimiento de regiones

Imagen original



Imagen módulo del gradiente

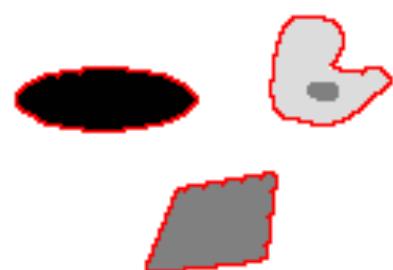
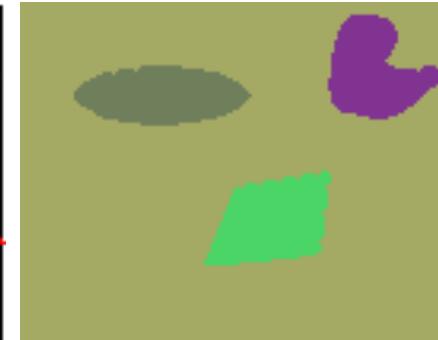


Imagen marcadores y etiquetas asociadas



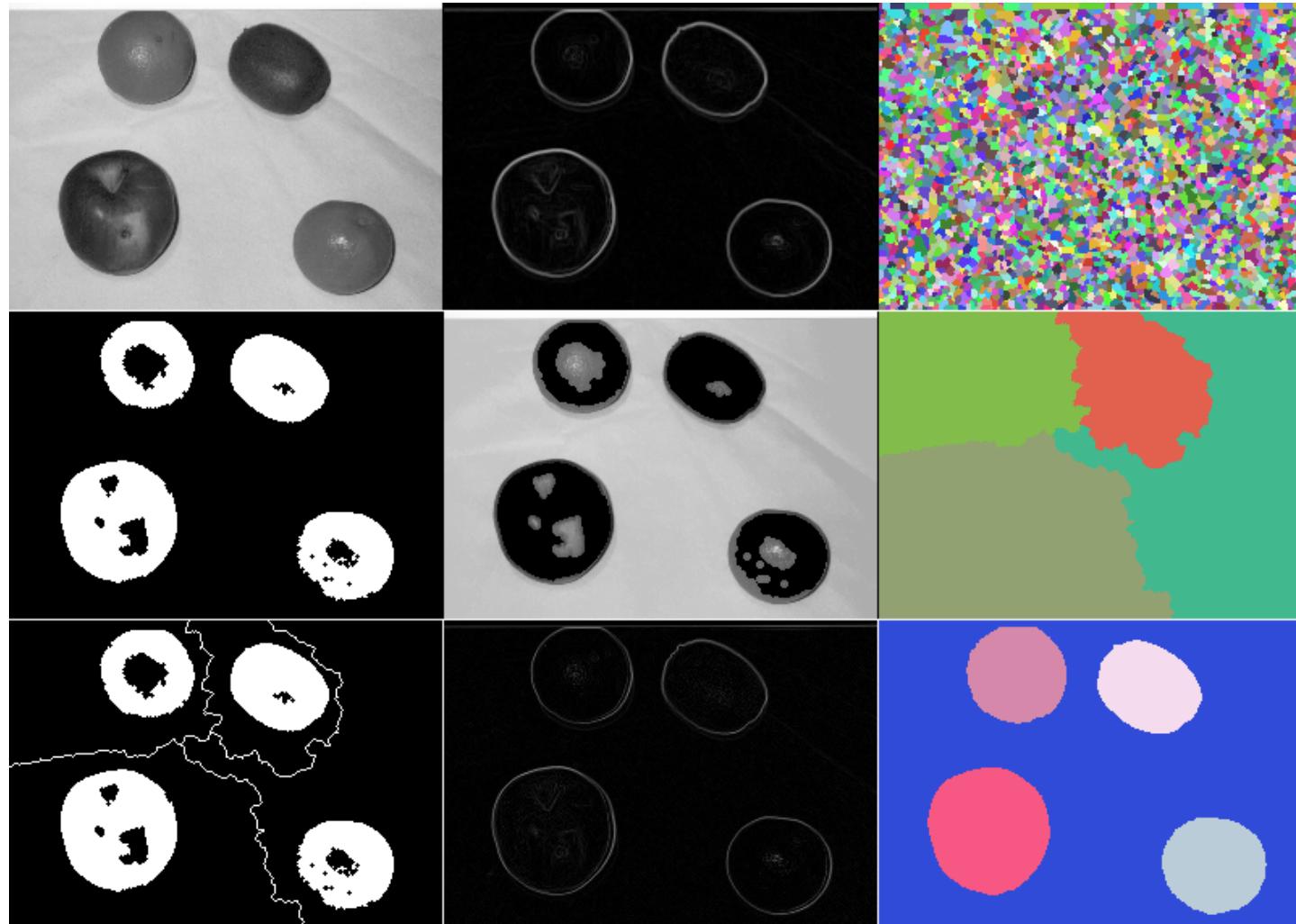
Superposición de los marcadores



Capa de segmentación por *watershed con marcadores*

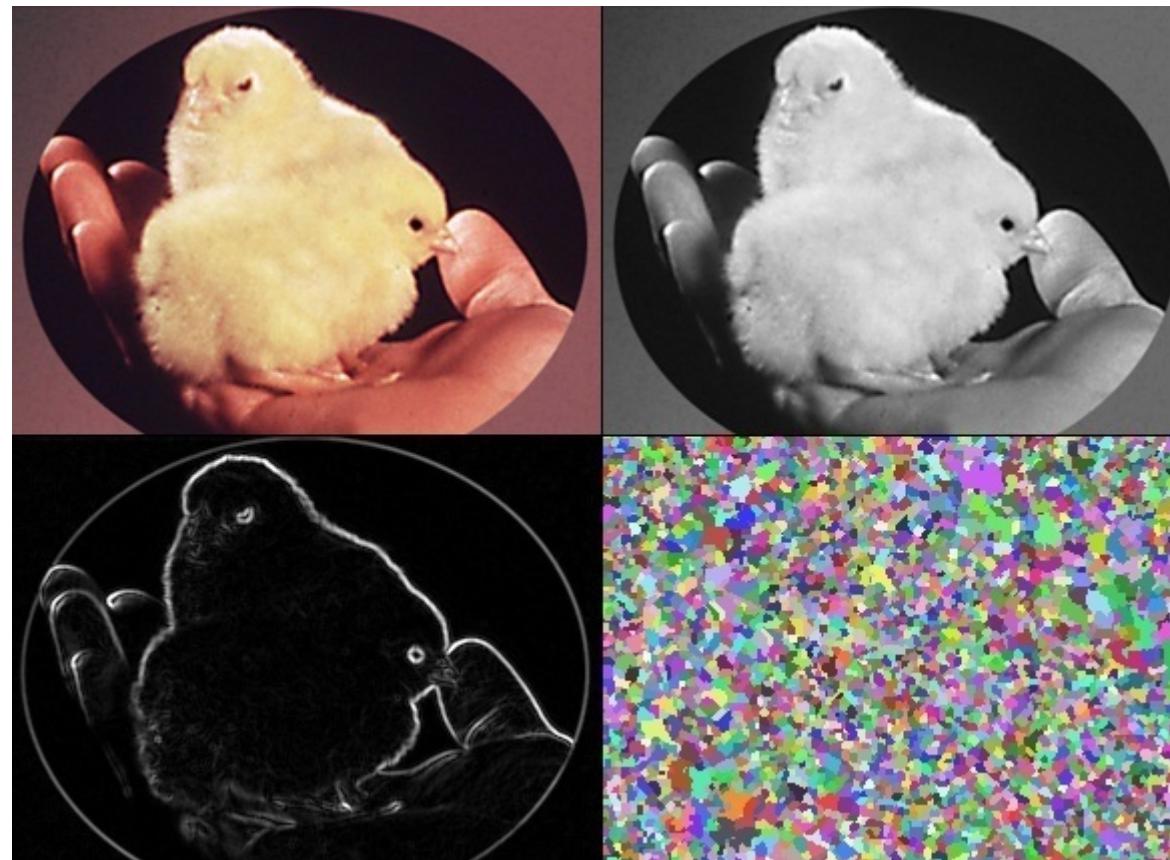
Líneas de *watershed*
(rojo)

3.3. Segmentación por crecimiento de regiones



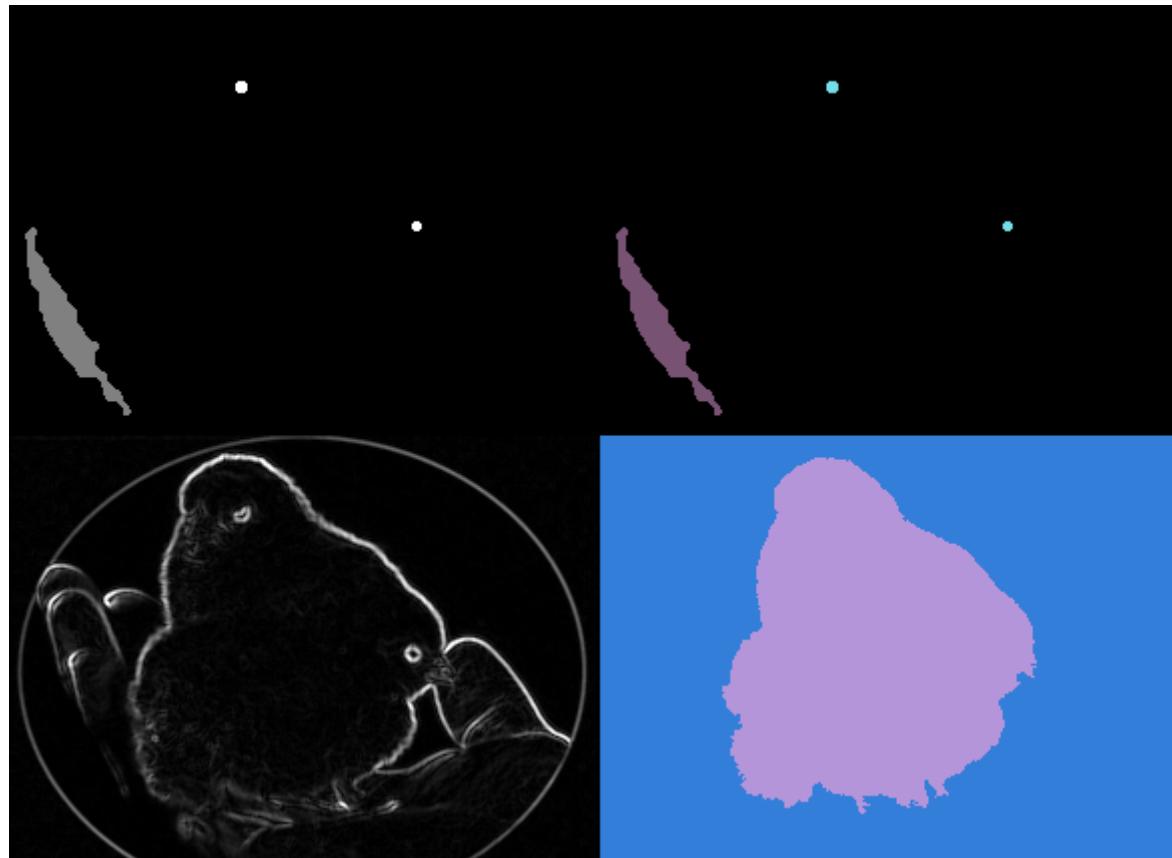
3.3. Segmentación por crecimiento de regiones

Otro ejemplo. Objetivo: segmentar los polluelos utilizando una técnica de crecimiento de regiones

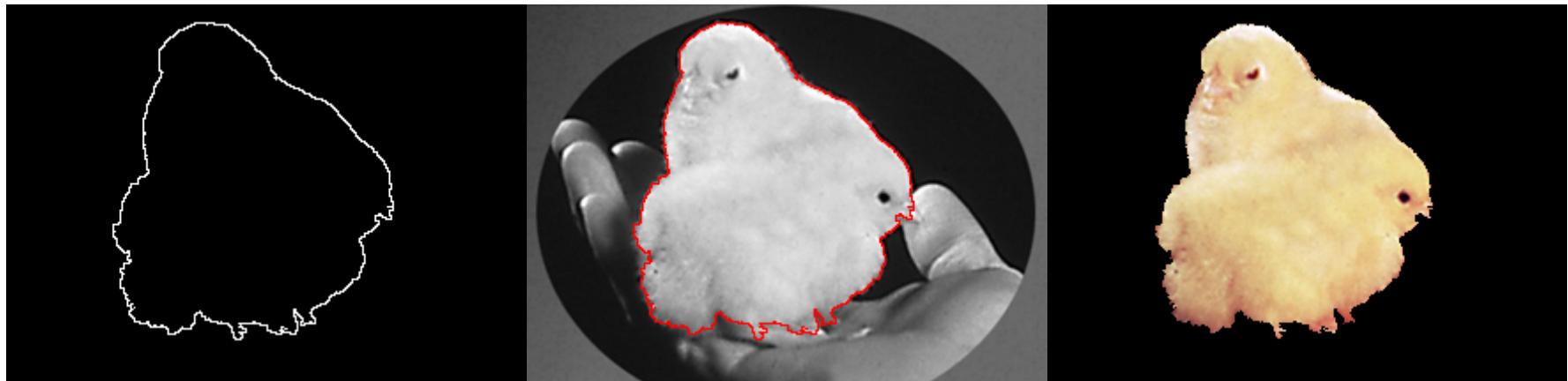


3.3. Segmentación por crecimiento de regiones

Como marcadores (semillas de crecimiento) se consideran los ojos y una parte del fondo. Los marcadores de los ojos tienen la misma etiqueta.



3.3. Segmentación por crecimiento de regiones



Contorno

Marcado de zonas

Selección del objeto

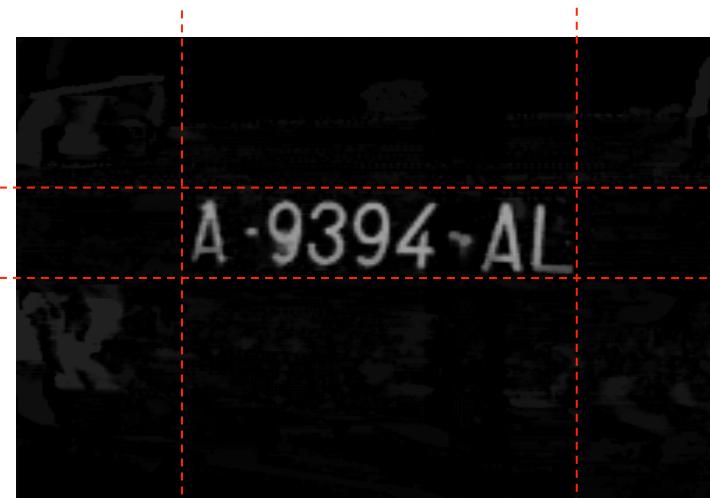
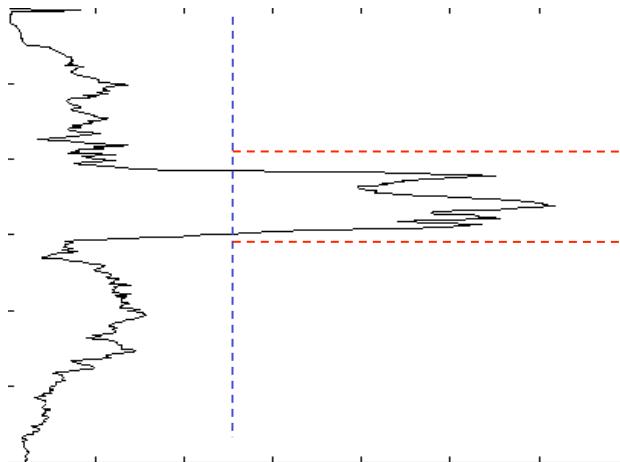
Inconvenientes de las técnicas de segmentación por crecimiento de regiones:

- no es trivial encontrar buenos puntos de partida (semillas o marcadores)
- difícil de automatizar
- se necesita un buen criterio de similitud (de ello va a depender la propagación de los marcadores)

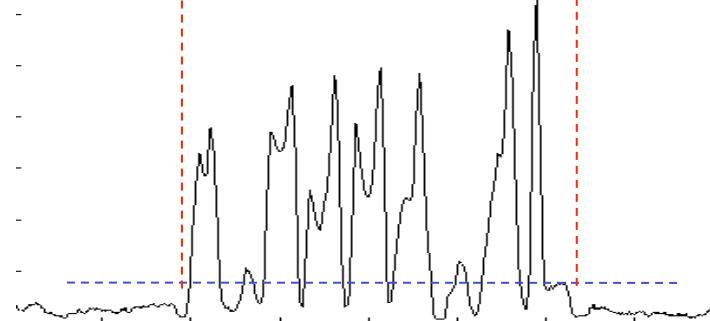
3.3. Segmentación basada en proyecciones

La segmentación basada en proyecciones permite localizar objetos.

Las proyecciones que más interesan son:



Proyección Horizontal: tiene tantos elementos como filas. Para cada elemento, suma los niveles de intensidad de los píxeles de cada fila.



Proy. Vertical: tiene tantos elementos como columnas. Para cada elemento, suma los niveles de intensidad de los píxeles de cada columna.