

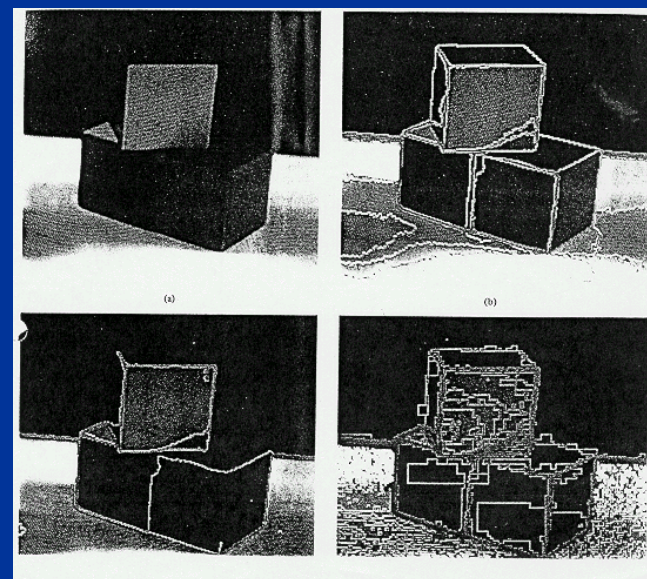
Visión de Alto Nivel

Dr. Luis Enrique Sucar

INAOE

esucar@inaoep.mx

ccc.inaoep.mx/~esucar

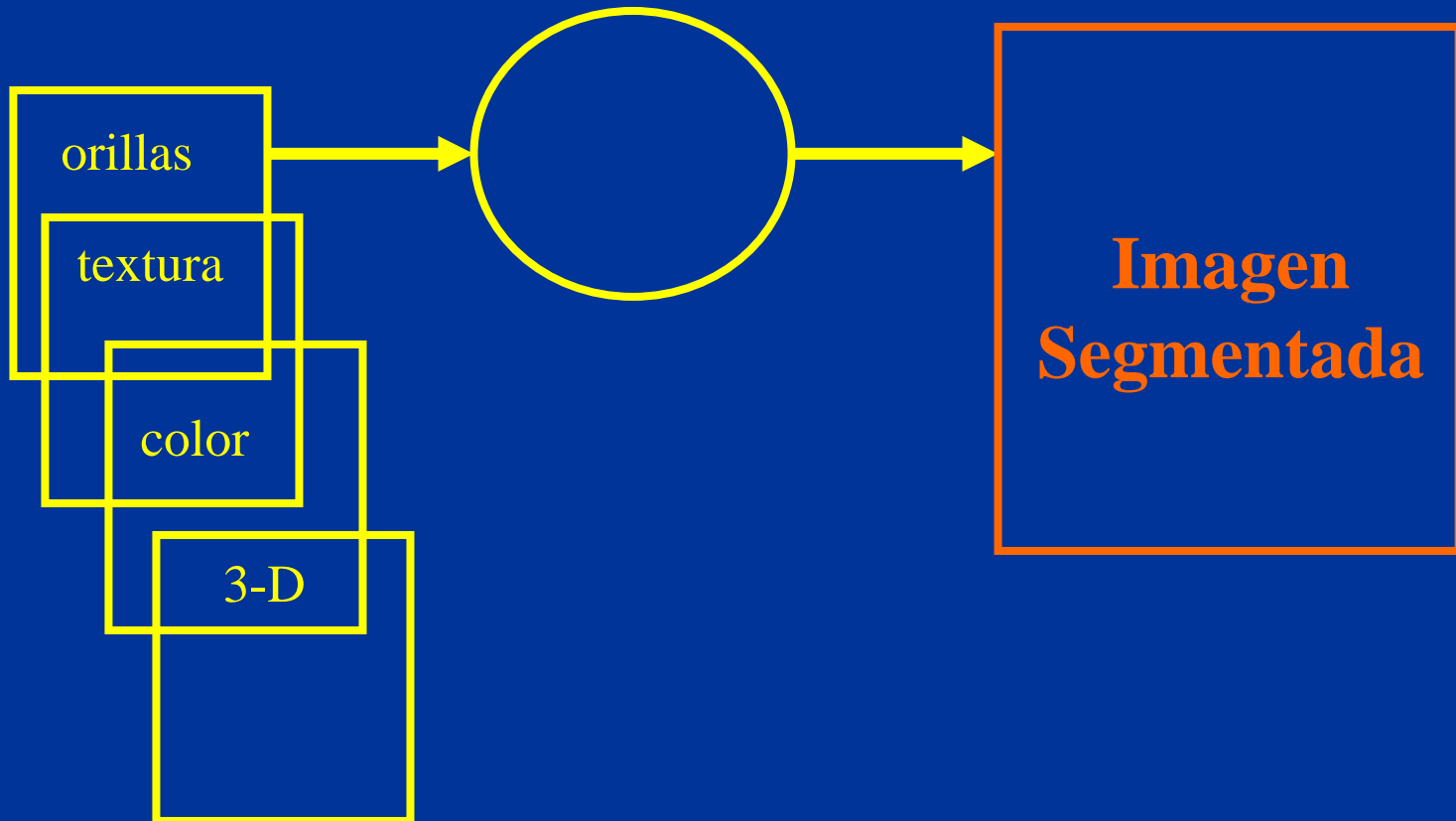


Sesión 3
Segmentación

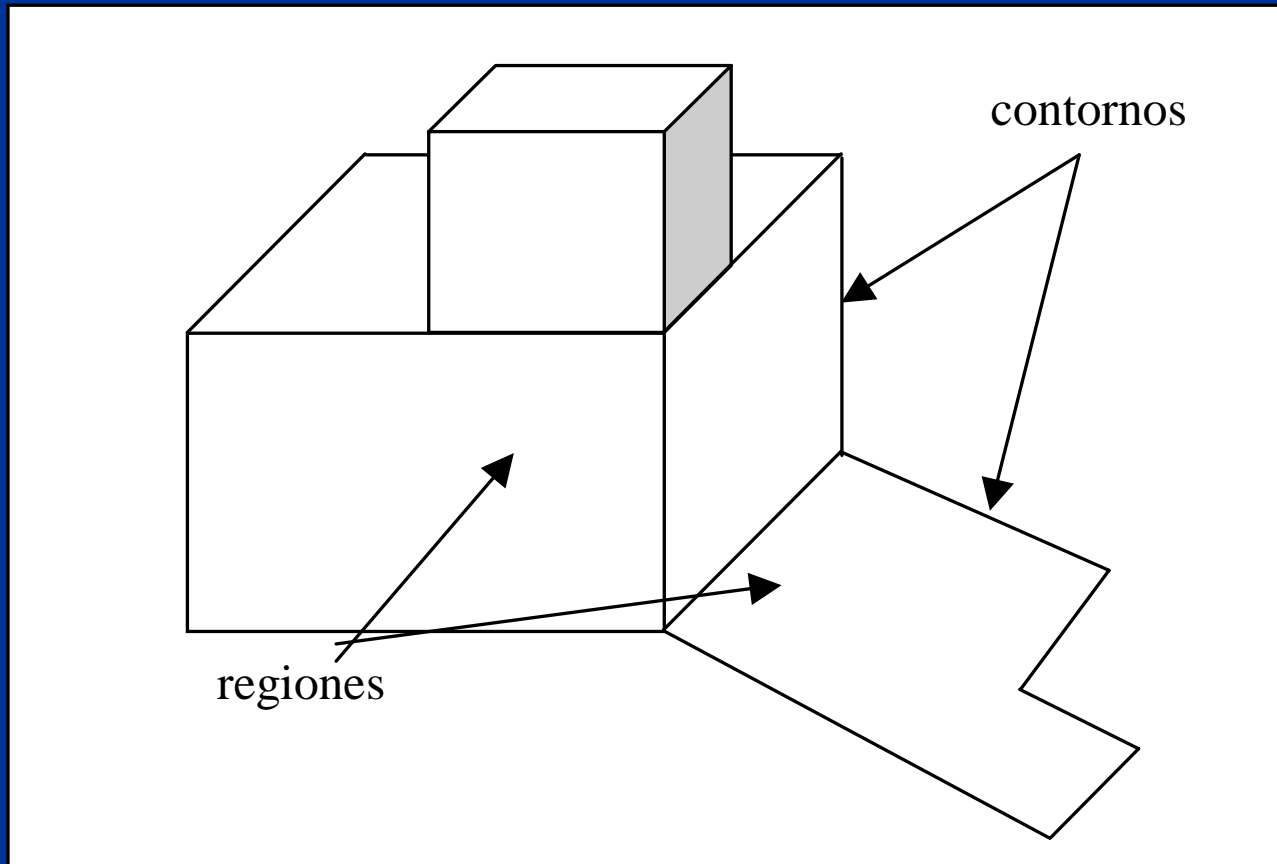
Visión de nivel intermedio

- Agrupar las características obtenidas en el nivel bajo
- Generar una representación más compacta
- Dos tipos principales:
 - obtener bordes o contornos (agrupar orillas)
 - obtener regiones (agrupar secciones uniformes)

Visión de Nivel Intermedio



Segmentación



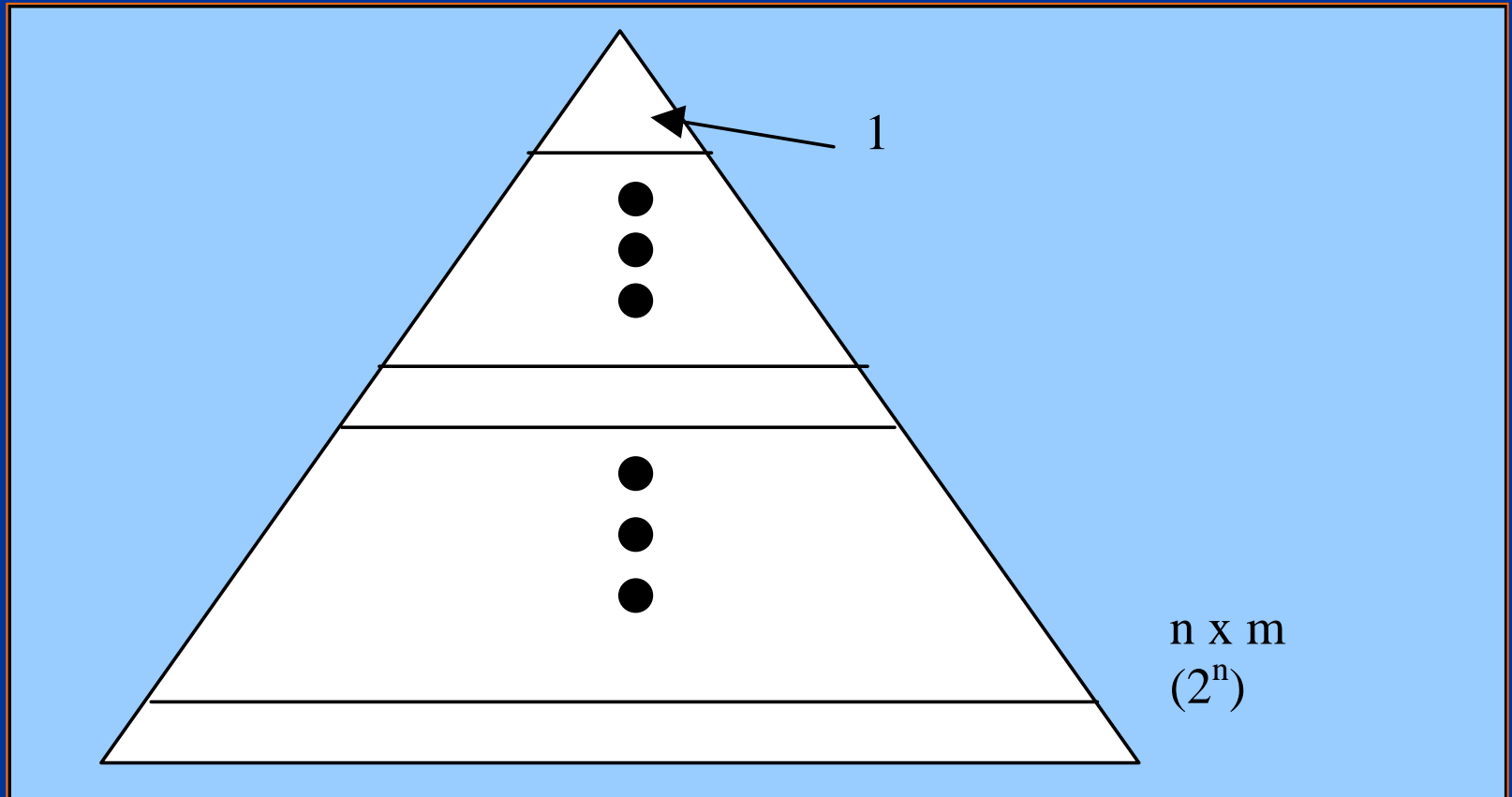
Agrupamiento de orillas

- Las orillas obtenidas mediante los operadores de detección de orillas se agrupan en bordes o contornos
- Tres técnicas principales:
 - transformada de Hough,
 - búsqueda en grafos,
 - agrupamiento perceptual.
- Diversas técnicas utilizan una representación multi-resolución basada en *pirámides y quadrees*

Pirámides y *Quadrees*

- Se considera una imagen a diferentes niveles de resolución - desde el nivel mayor con todos los píxeles, hasta niveles menores que consideran una reducción de resolución
- Esta imagen a multi-resolución la podemos representar como una pirámide

Estructura Piramidal



Ejemplo de Estructura Piramidal



256 x 256



128 x 128



64 x 64

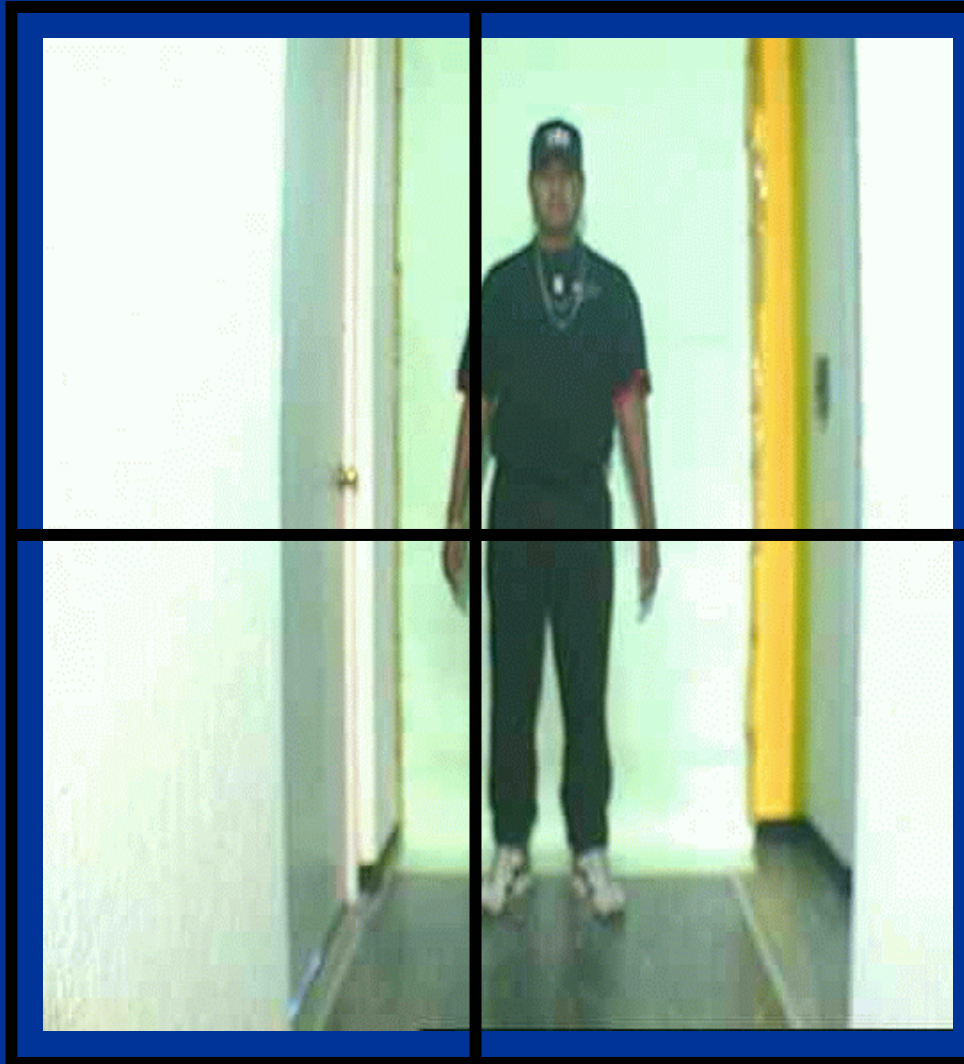


32 x 32

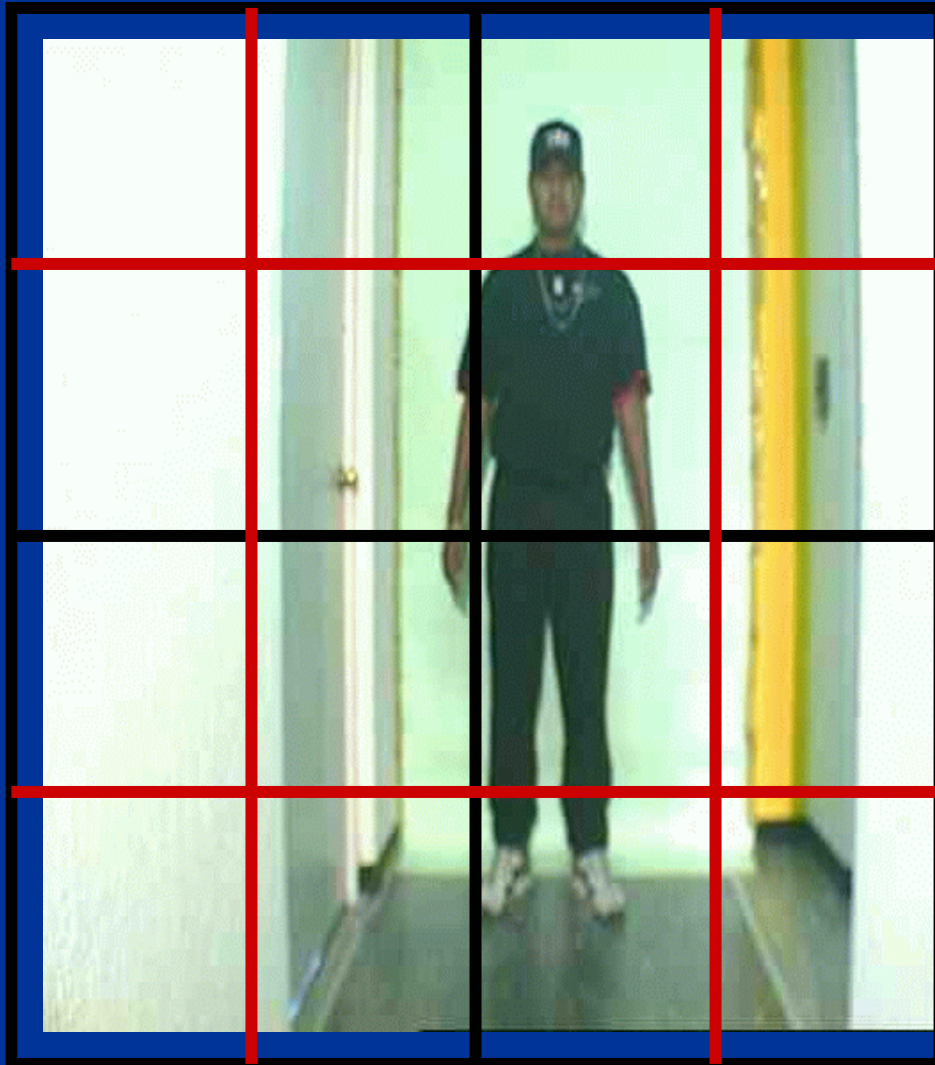
Árboles Cuaternarios (*Quadrees*)

- Una forma de obtener una estructura multi-resolución es mediante la división sucesiva de la imagen en cuadrantes
- La imagen se divide en cuatro partes iguales, cada parte a su vez en 4, ..., hasta llegar al nivel pixel
- Se facilita si la imagen original tiene un tamaño de 2^N

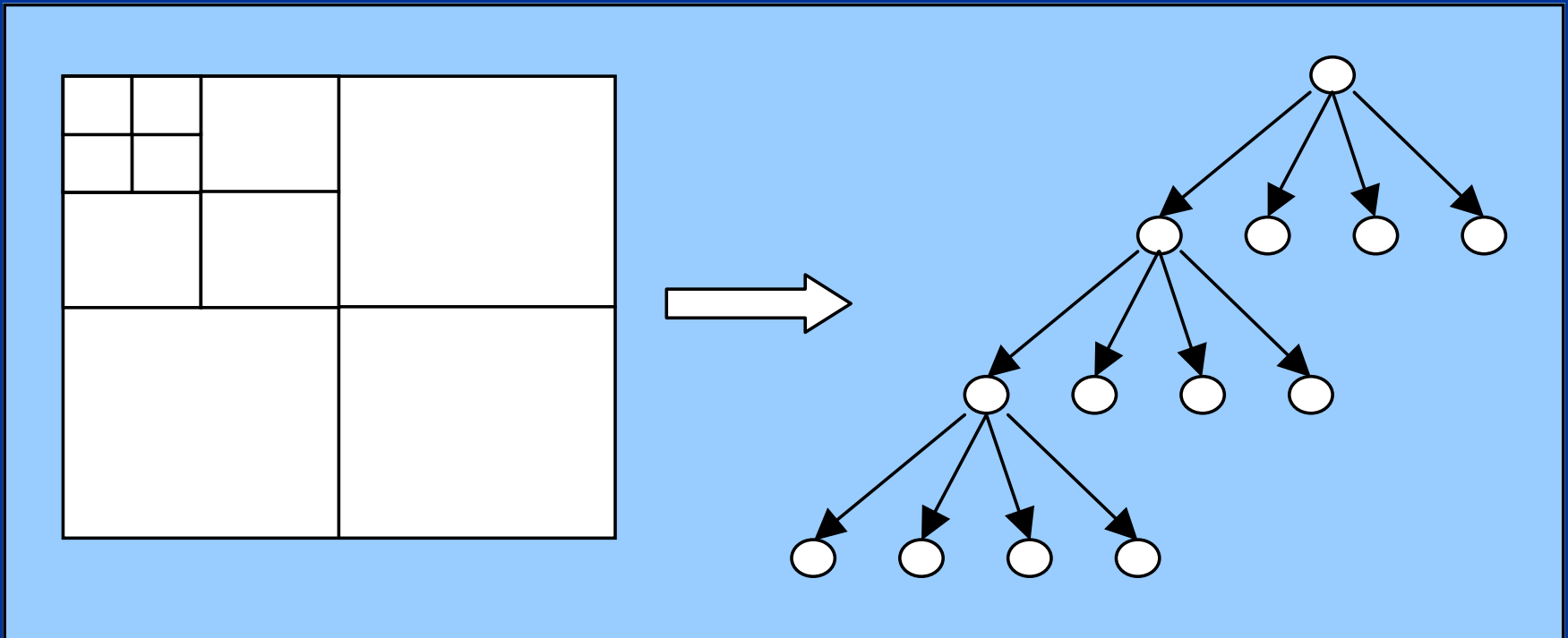
Construcción de un *Quadtree*



Construcción de un *Quadtree*



Quadtree



Obtención del Quadtree

“Bottom-up”:

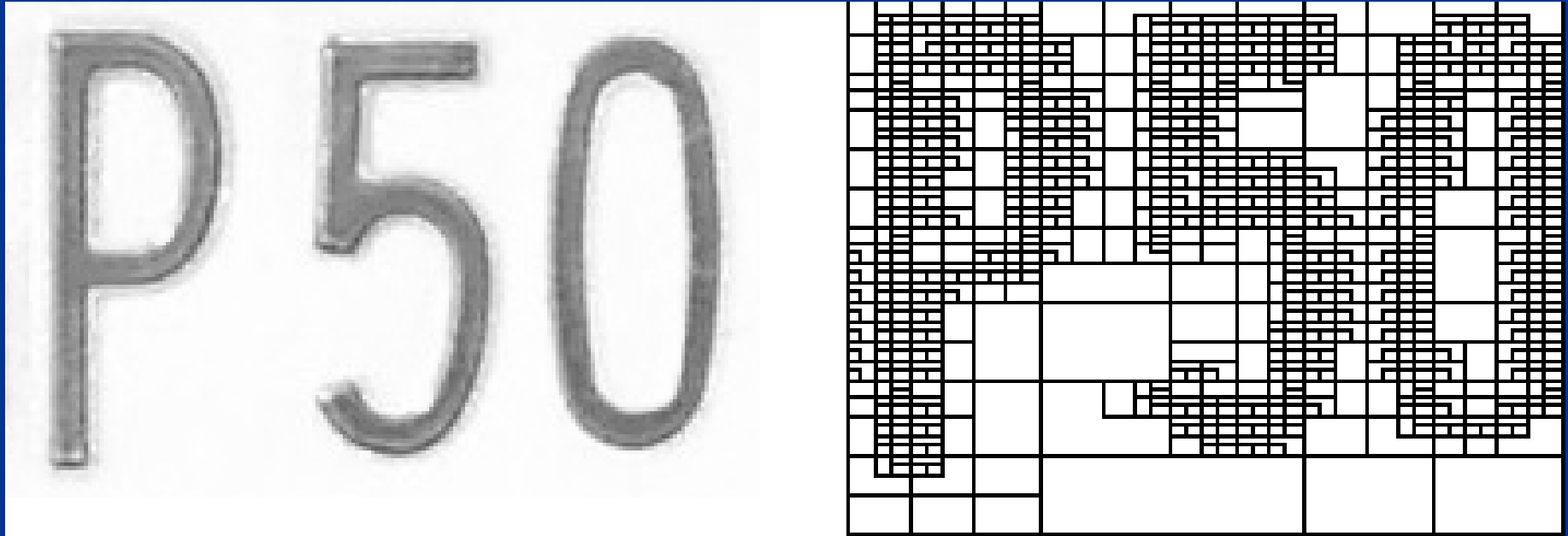
- Para obtener esta representación, se realiza de abajo (mayor resolución) hacia arriba (menor resolución)
- Normalmente se promedian 4 píxeles para obtener un “pixel” en el siguiente nivel, reduciéndose en 4 el tamaño de la imagen

Obtención del Quadtree

“Top-down”:

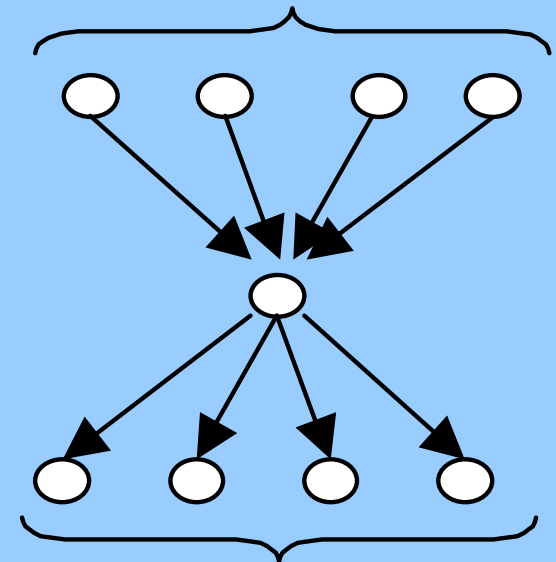
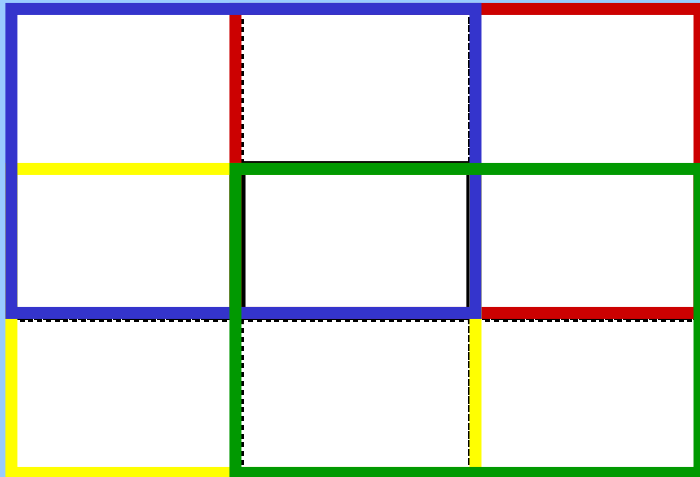
- Se parte de la imagen total, la cual se divide en 4, c/u en 4, etc.
- Cada cuadrante se deja de dividir cuando dicha región es uniforme (se puede considerar cierta tolerancia)
- Esto produce una imagen representada por particiones homogéneas

Ejemplo de partición en regiones homogéneas



Pirámide Traslapada

- En ciertas aplicaciones es conveniente que los cuadrantes de traslape, por ej. 50%



Técnicas para Agrupamiento de Orillas

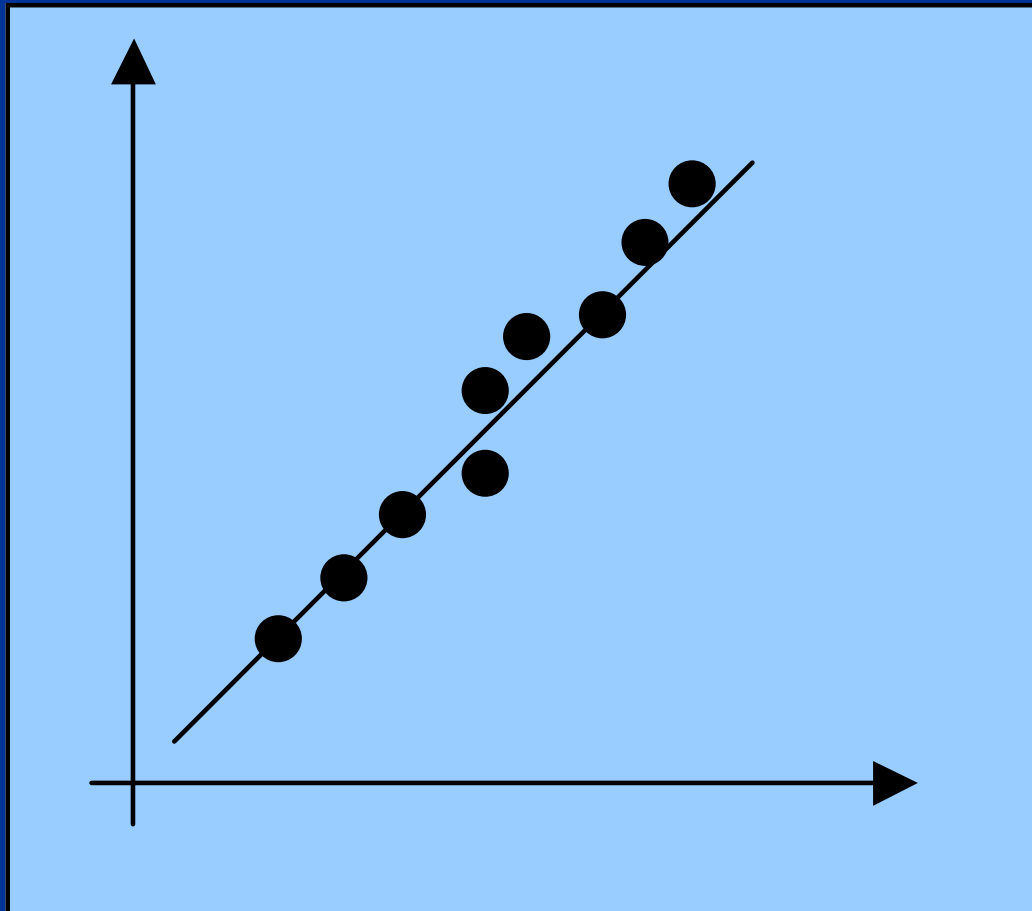
Transformada de *Hough*

- Técnica para detección de contornos que se puedan representar por una curva paramétrica: líneas, círculos, elipses, etc.
- Agrupa las orillas en la imagen (o en una sección de la imagen) en la curva que "mejor" las describa

Transformada de Hough para Líneas

- Consideraciones iniciales:
 - borde es una línea recta
 - sólo un borde en la imagen
 - se tienen orillas “faltantes” y orillas extra por ruido
- Encuentra la línea recta que mejor “explique” las orillas existentes

Detección de Líneas



Desarrollo

- Ecuación de la línea:

$$y = m x + b$$

- Considerando una orilla, (x_1, y_1) , puede pertenecer a todas las líneas que pasen por dicho punto:

$$y_1 = m x_1 + b$$

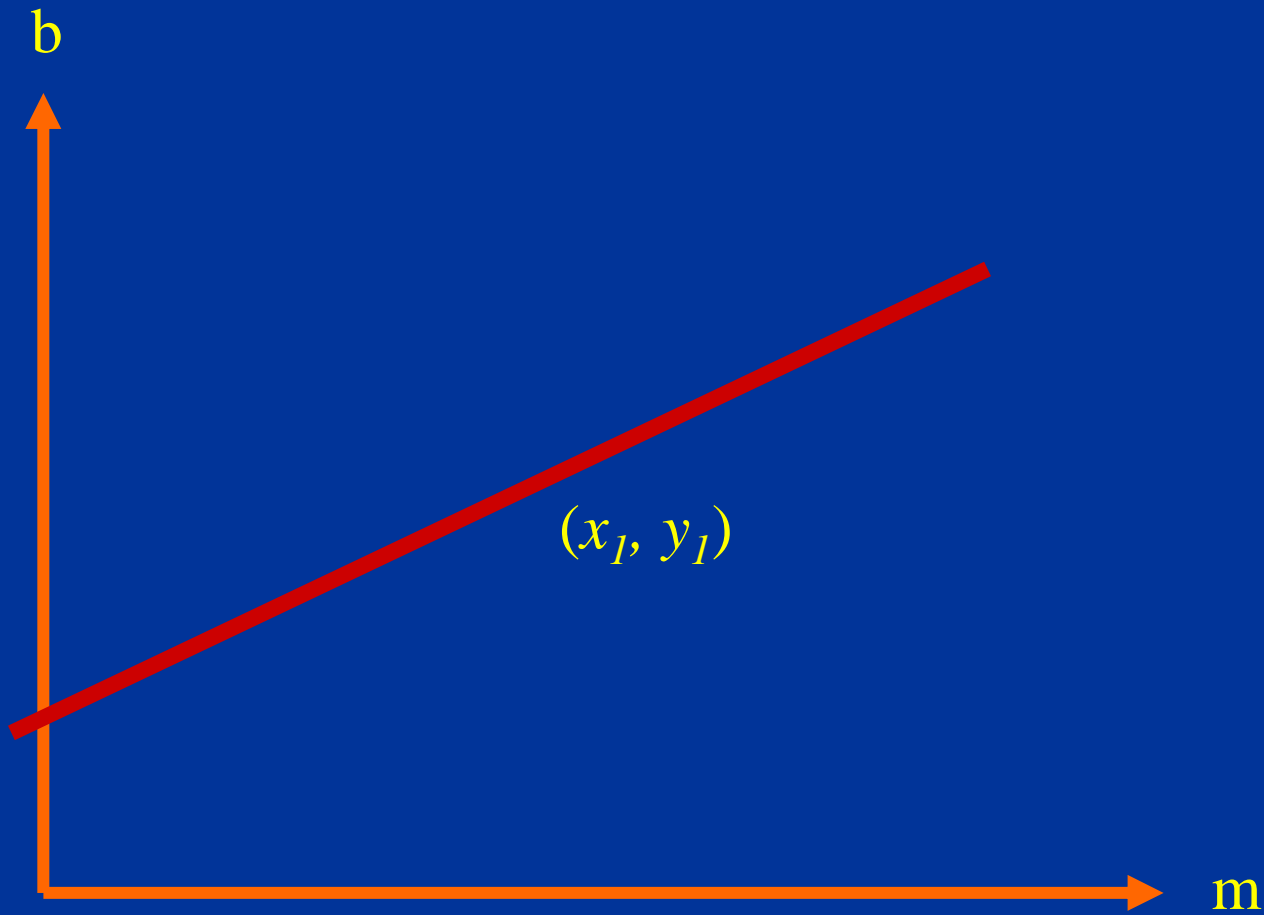
Espacio Paramétrico

- Transformación del *espacio de la imagen*, x - y , al *espacio paramétrico*, m - b
- Un punto en el espacio de la imagen, corresponde a una línea en el espacio paramétrico:

$$y_1 = m x_1 + b$$

$$b = -x_1 m + y_1$$

Espacio Paramétrico



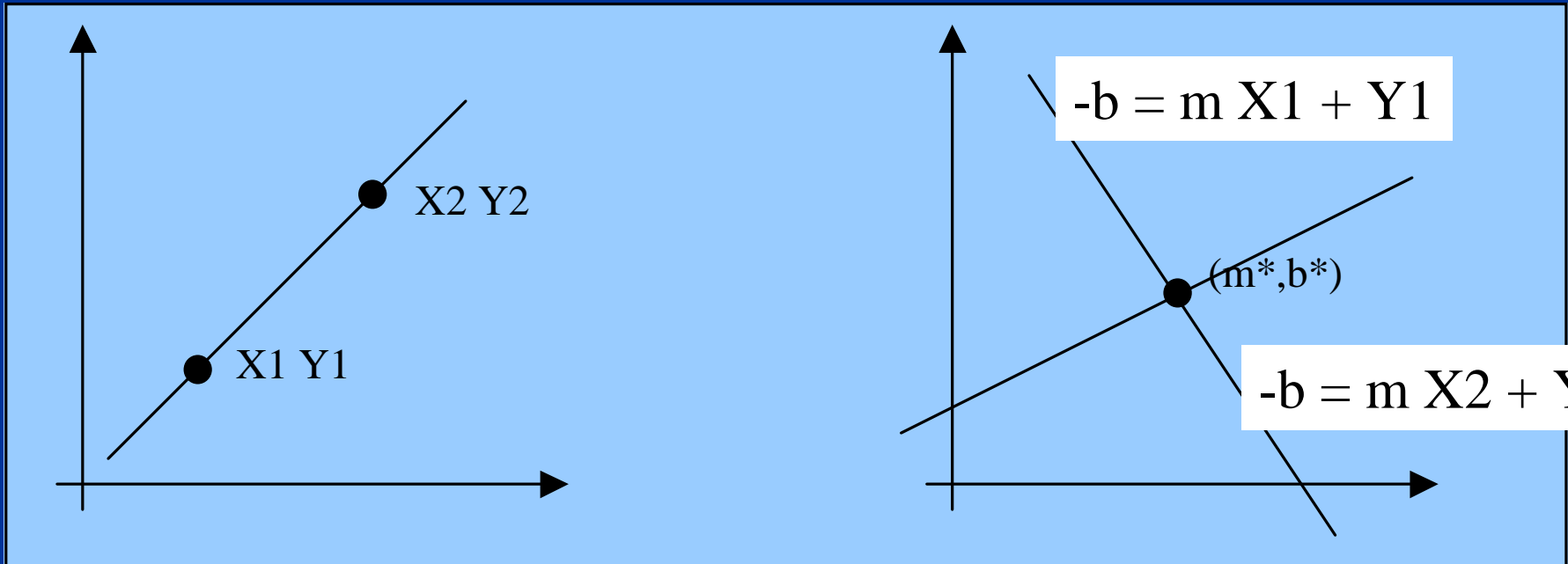
- Si se consideran dos puntos, (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , se obtienen dos líneas en el espacio paramétrico:

$$b = -x_1 m + y_1$$

$$b = -x_2 m + y_2$$

- La intersección de las rectas da el valor de los parámetros de la línea en que están los dos puntos, (m^*, b^*)

Espacio de la imagen - paramétrico



Acumulador

- En la práctica, se consideran todos los puntos (orillas)
- Se discretizan los parámetros en un número limitado de valores - formando un arreglo llamado acumulador: $A(m,b)$
- Cada orilla en la imagen se refleja como una línea en el acumulador, incrementando las celdas correspondientes

Acumulador

b

	1				1		
x1,y1		1		1			
x2,y2			11				
	1	1	11	1	11	1	1
x3,y3		1				1	
	1						1

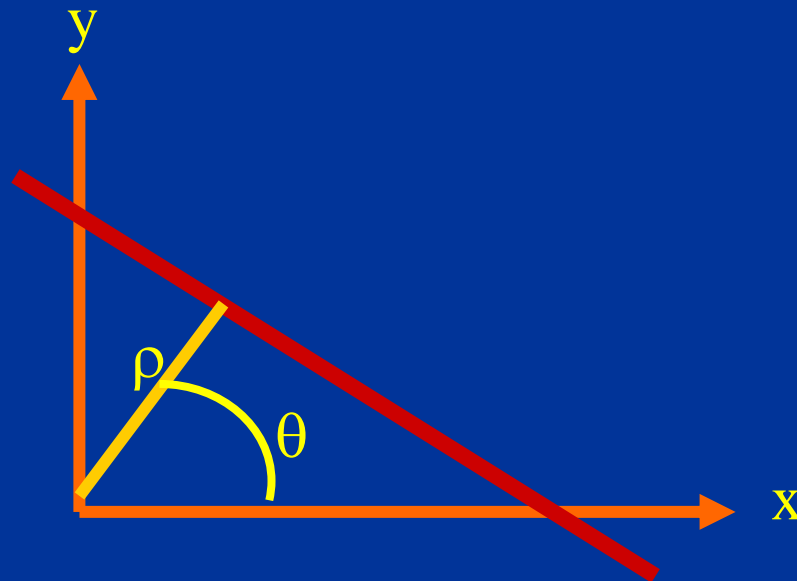
Algoritmo

- Inicializar el acumulador en cero
- Para cada orilla:
 - obtener los posibles valores de (m,b) de acuerdo a la discretización
 - incrementar las celdas correspondientes en el acumulador: $A(m,b) = A(m,b) + 1$
- Seleccionar la celda con mayor valor como los parámetros de la línea: (m^*, b^*)

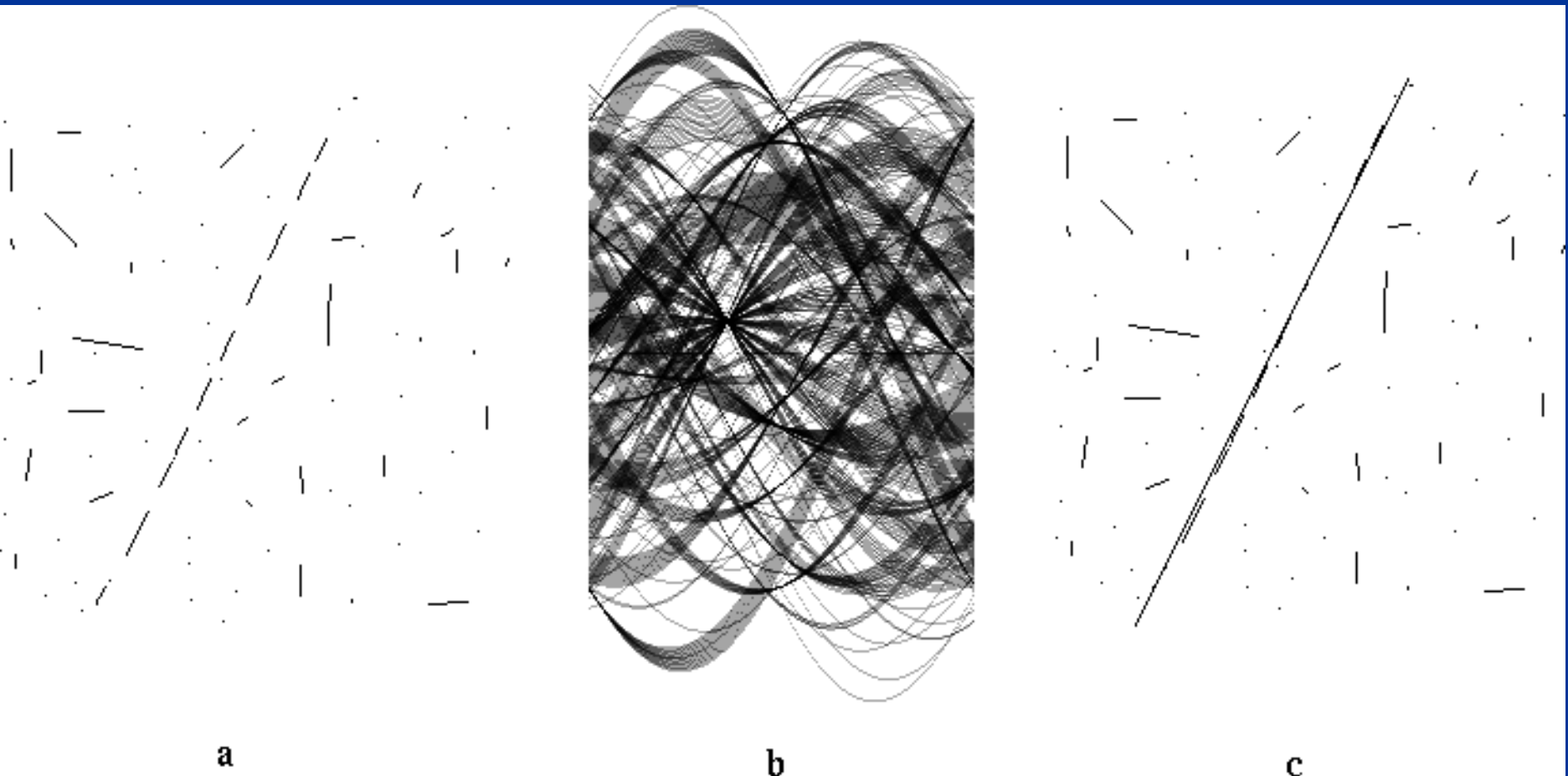
Parametrización

- Ya que m puede ser infinita, en la práctica se utiliza otra parametrización de la línea:

$$x \cos \theta + y \operatorname{sen} \theta = \rho$$



Ejemplo de Transformada de Hough



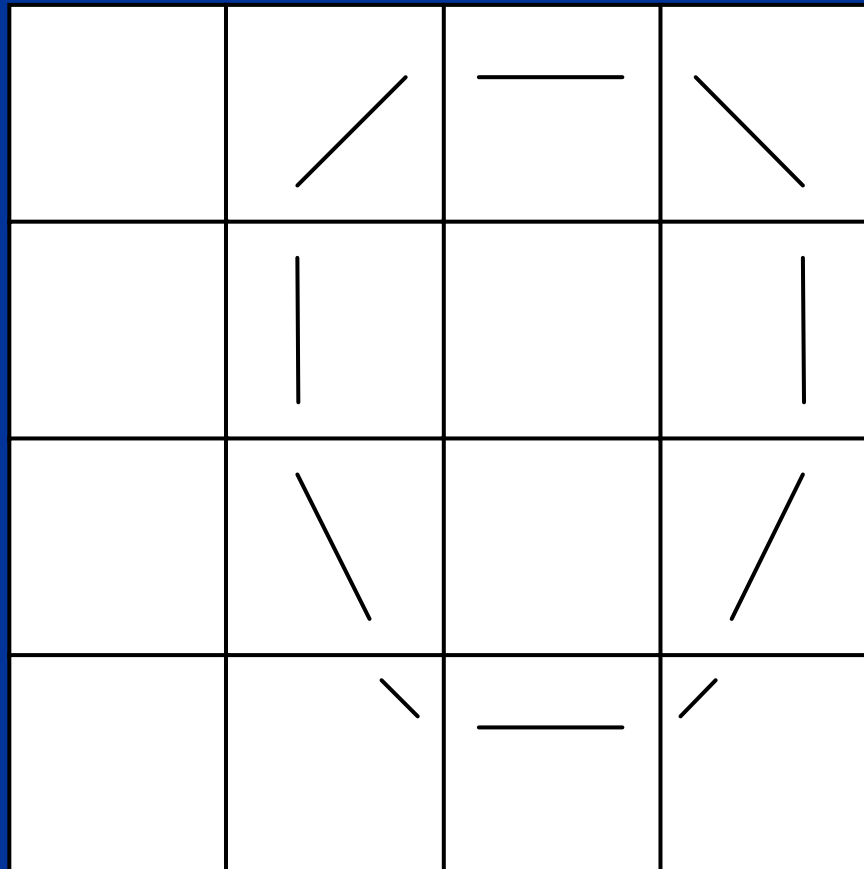
Limitaciones

- Efectos de discretización – precisión de la curva detectada
- Cúmulos de puntos en el acumulador – en particular cuando se desean extraer diversas curvas
- Complejidad computacional – si se amplía la discretización o se extiende a curvas con más parámetros

Extensiones

- Aplicar a otras curvas paramétricas (círculos, ...)
- En forma local (con Quadrees)
 - se divide la imagen en una serie de ventanas
 - se aplica la T.H. en cada ventana, obteniendo segmentos de recta
 - se integran los segmentos en curvas
- Transformada de Hough generalizada
 - se utilizan representaciones genéricas de curvas en base a parámetros

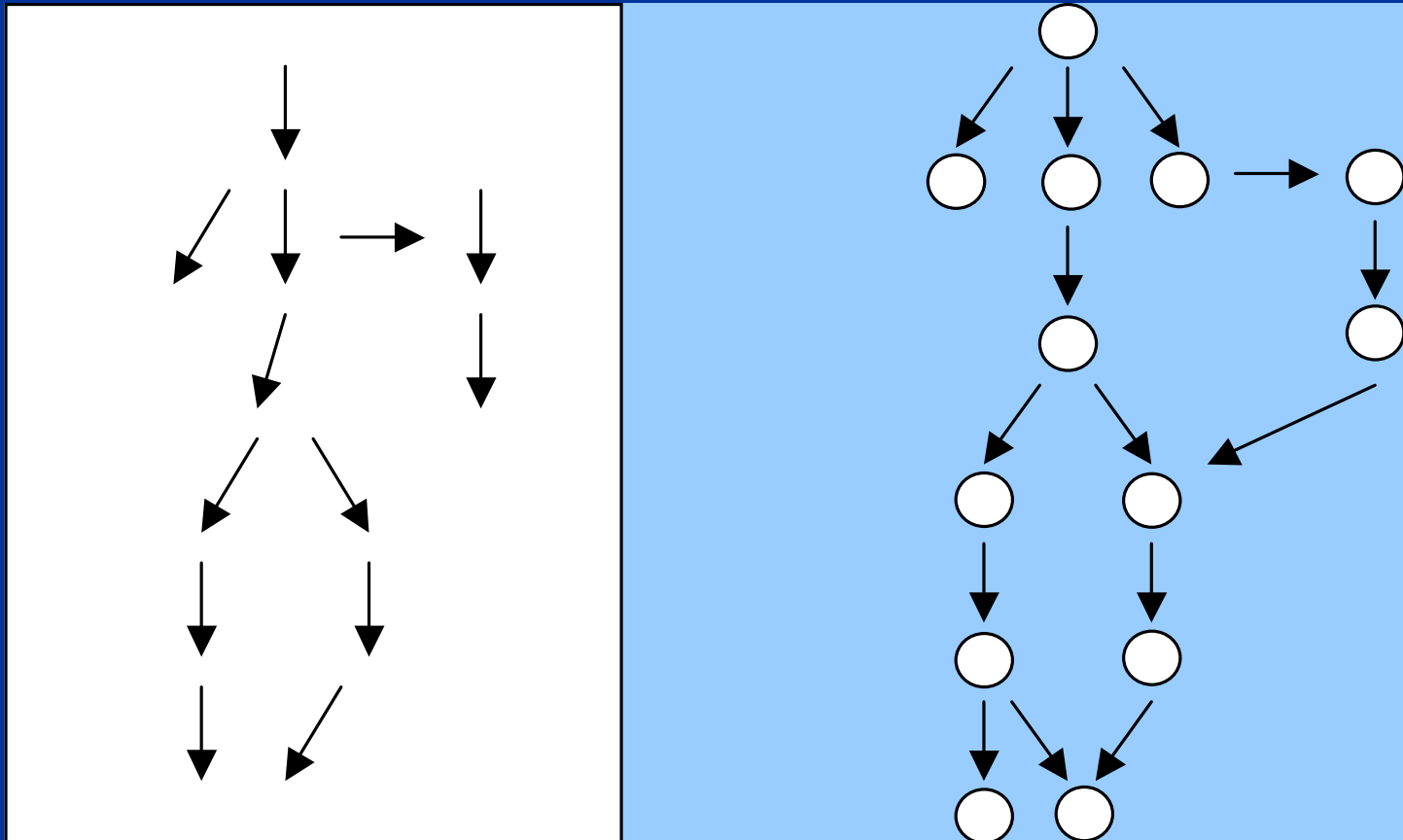
Ejemplo de T. Hough con *Quadrees*



Técnicas de Búsqueda

- Se considera a las orillas (magnitud, dirección) como un grafo
- El agrupamiento de orillas se basa en la búsqueda de una trayectoria en el grafo

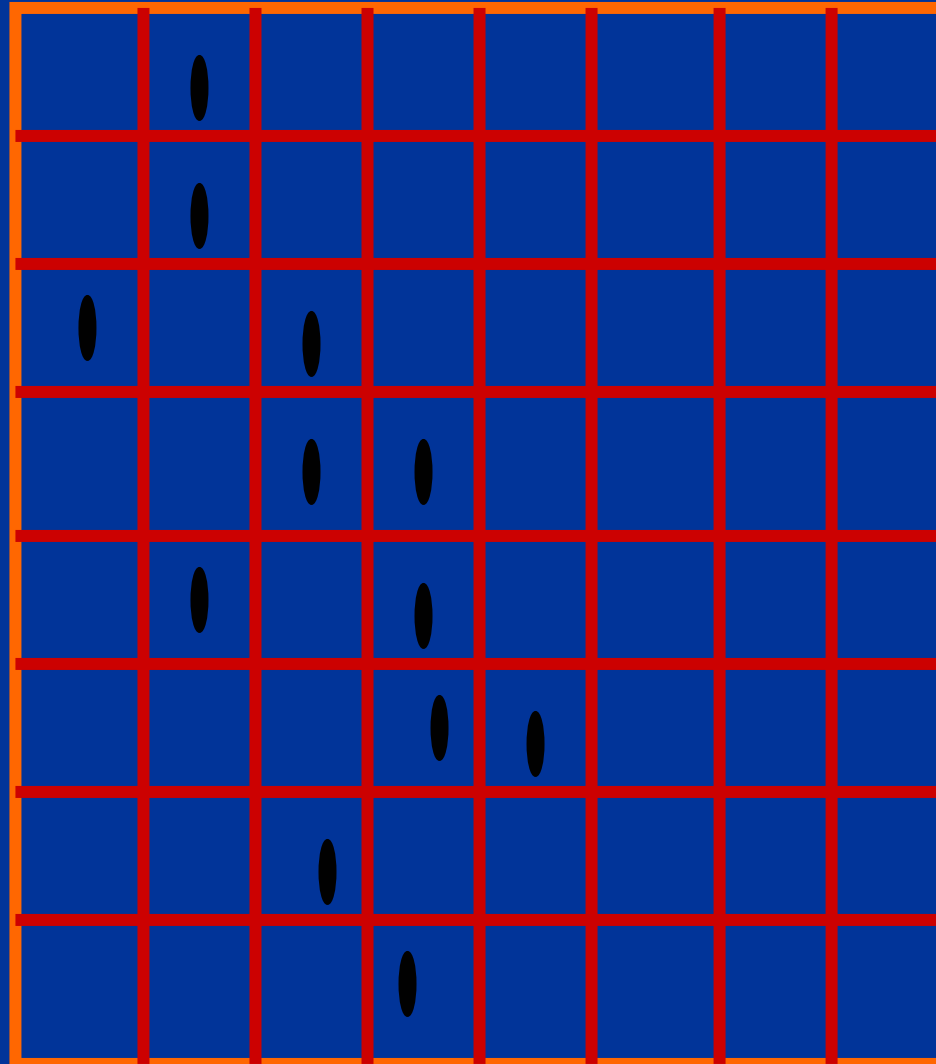
Orillas y Grafo Correspondiente

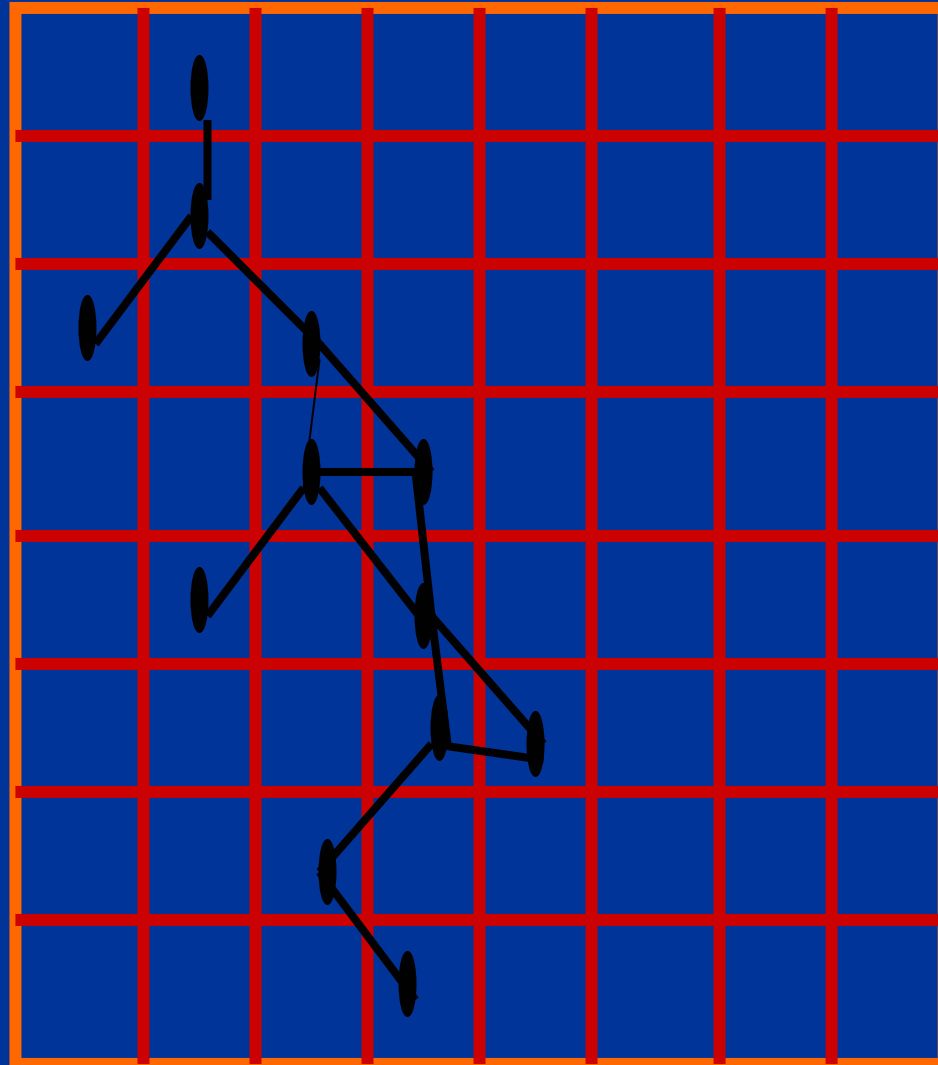


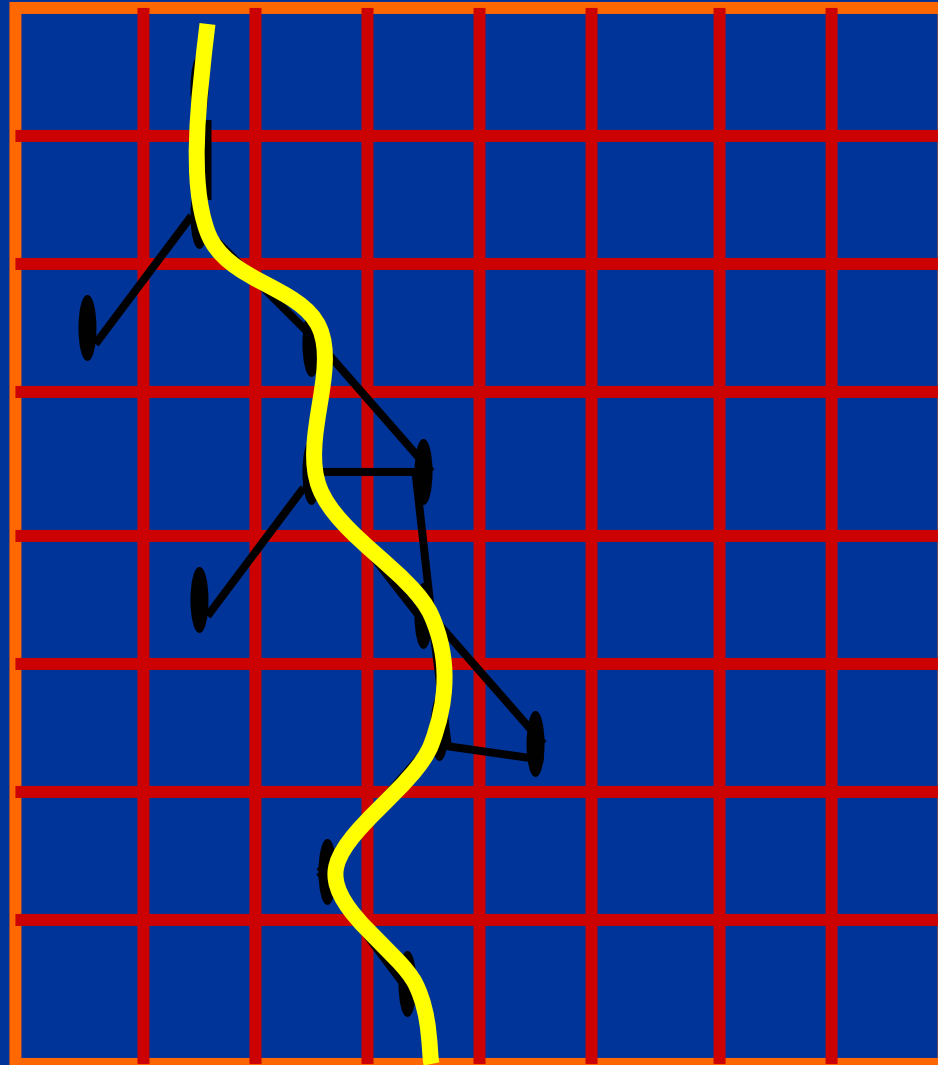
Algoritmo

- Obtener magnitud y dirección de las orillas
- Convertir cada orilla en un nodo del grafo:
 - peso del nodo = magnitud de la orilla
 - arcos - en función de la dirección de la orilla
- Partir de una orilla (inicio) y buscar una trayectoria en el grafo que una las orillas
- La trayectoria corresponde al contorno

Proceso de Búsqueda







Criterios

- Pueden existir varias trayectorias, por lo que se establecen ciertos criterios para seleccionar la “mejor”:
 - magnitud de las orillas,
 - curvatura,
 - proximidad (posición estimada),
 - distancia a la meta.

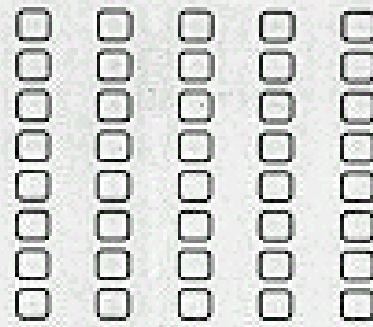
Agrupamiento Perceptual

- Se basa en estudios psicológicos de como los humanos agrupamos elementos en una imagen
- Se han encontrado una serie de reglas heurísticas en que se basa nuestra percepción para agrupar elementos en contornos

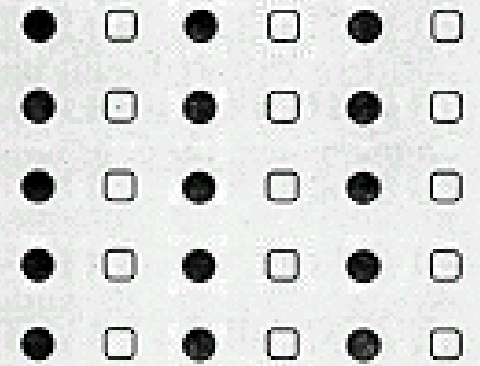
Reglas de Agrupamiento Perceptual

- Proximidad
- Similaridad
- Continuidad
- Cerrado
- Simetría
- Simplicidad

Reglas de Agrupamiento Perceptual



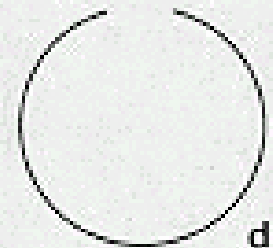
a



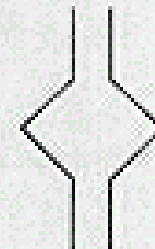
b



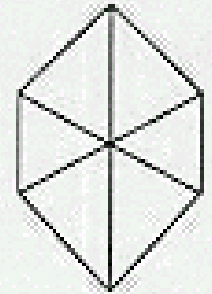
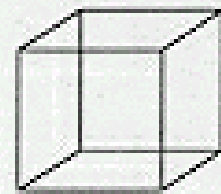
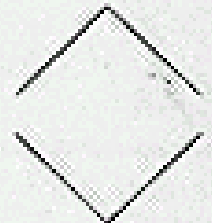
c



d



e

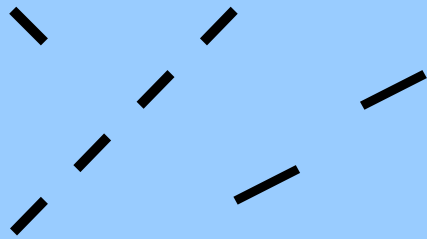


f

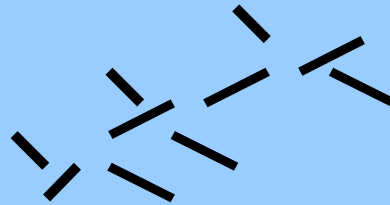
Reglas para agrupar orillas

- Para el agrupamiento de orillas, se utilizan básicamente 3 reglas:
 - Proximidad - orillas cercanas o que forman segmentos de línea recta
 - Continuidad - orillas que forman líneas o curvas continuas
 - Similaridad, orillas similares en intensidad, contraste u orientación

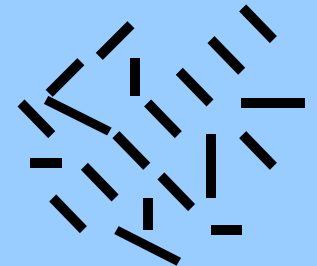
Agrupamiento perceptual de orillas



Proximidad



Continuidad

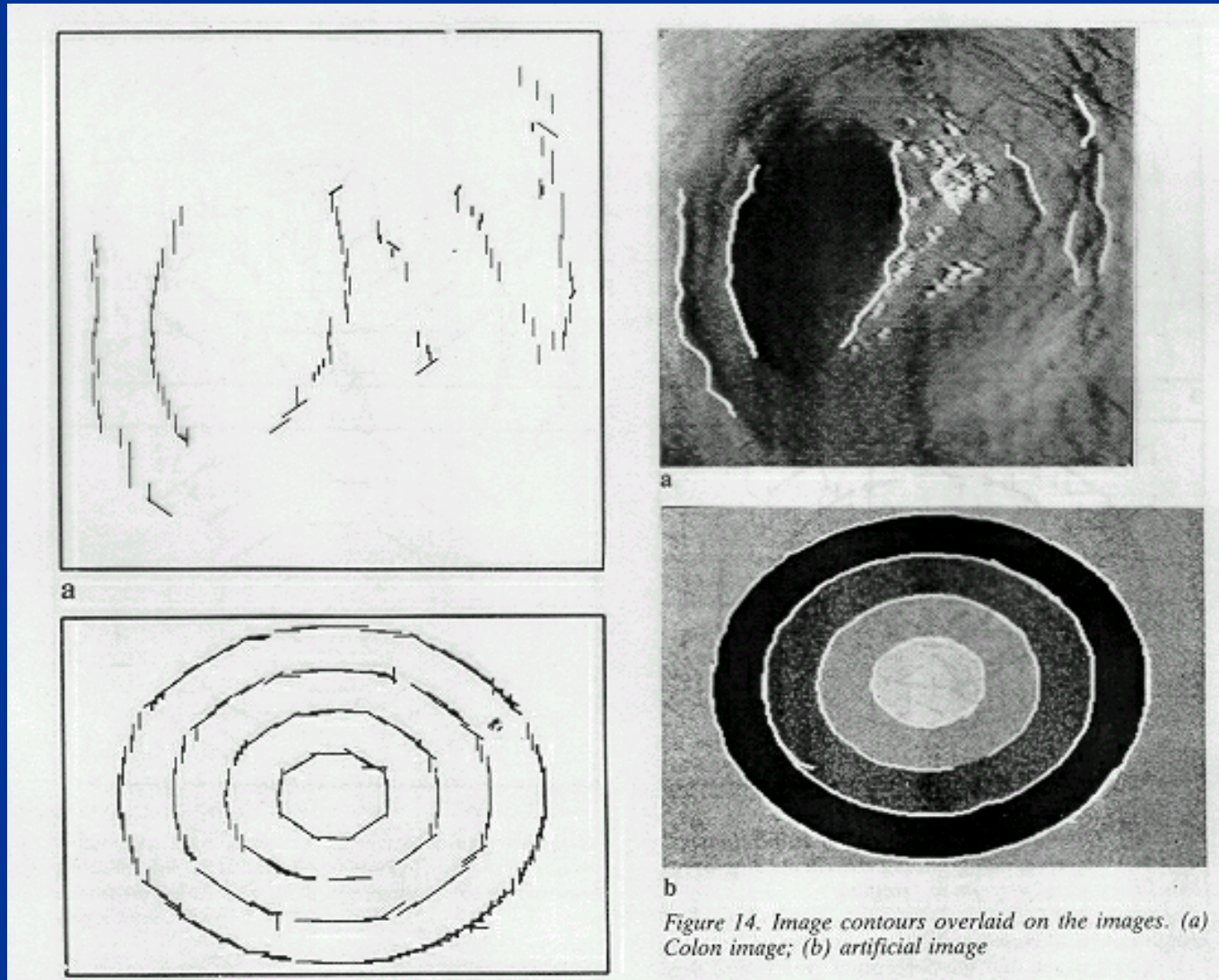


Similaridad

Algoritmo

- Se puede combinar con la representación en *Quadrees* en el siguiente algoritmo:
 - obtener orillas en la imagen, eliminar las menores a un umbral
 - en cada ventana, eliminar orillas que no cumplan reglas perceptuales y unir las restantes en segmentos de recta
 - unir los segmentos de recta en contornos en base a los criterios de continuidad y similaridad

Ejemplo de Agrupamiento Perceptual en Imágenes



Segmentación

- Segmentación es separar una imagen en *unidades significativas*
- Las regiones se determinan en base a criterios de “homogeneidad”, en atributos como intensidad, color, textura, profundidad

Segmentación

- Se considera que *pixels* de un mismo objeto comparten propiedades similares
- Dificultades:
 - variaciones de intensidad (u otro atributo) por la naturaleza de los objetos y condiciones de iluminación
 - posible confusión de objetos similares
 - otros artefactos como sombras, oclusiones, etc.

Ejemplo de Segmentación



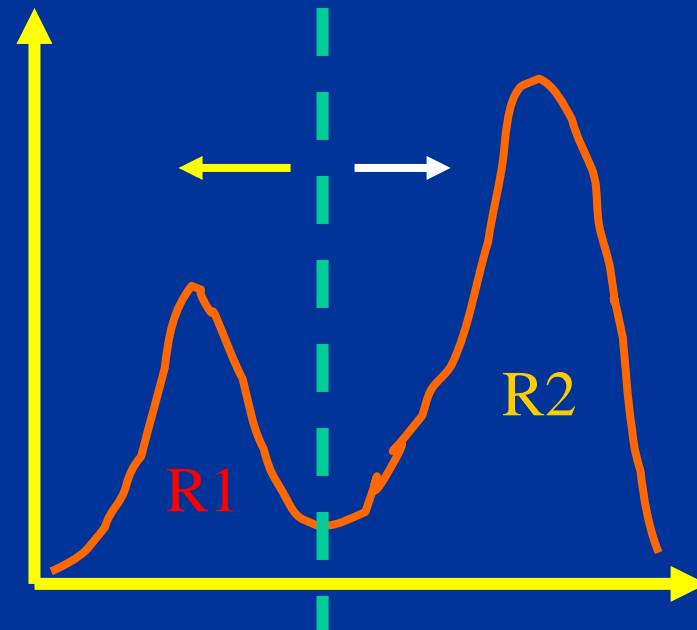
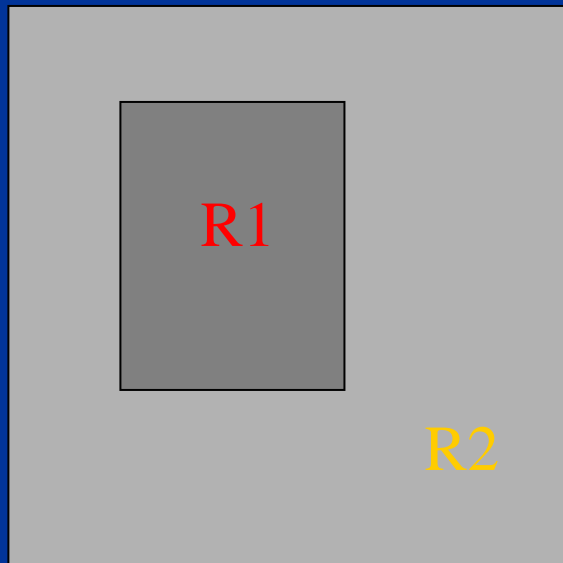
Técnicas de Segmentación

- Locales - agrupan *pixels* en base a sus atributos
- Globales - dividen la imagen en base a propiedades globales
- División-agrupamiento - combinan propiedades locales y globales

Segmentación por Histograma

- Técnica global
- Se asumen inicialmente dos regiones en la imagen
- Se divide la imagen en base al histograma de intensidades
- Al existir dos "regiones" en la imagen, se esperan dos "picos" en el histograma

Histograma bimodal



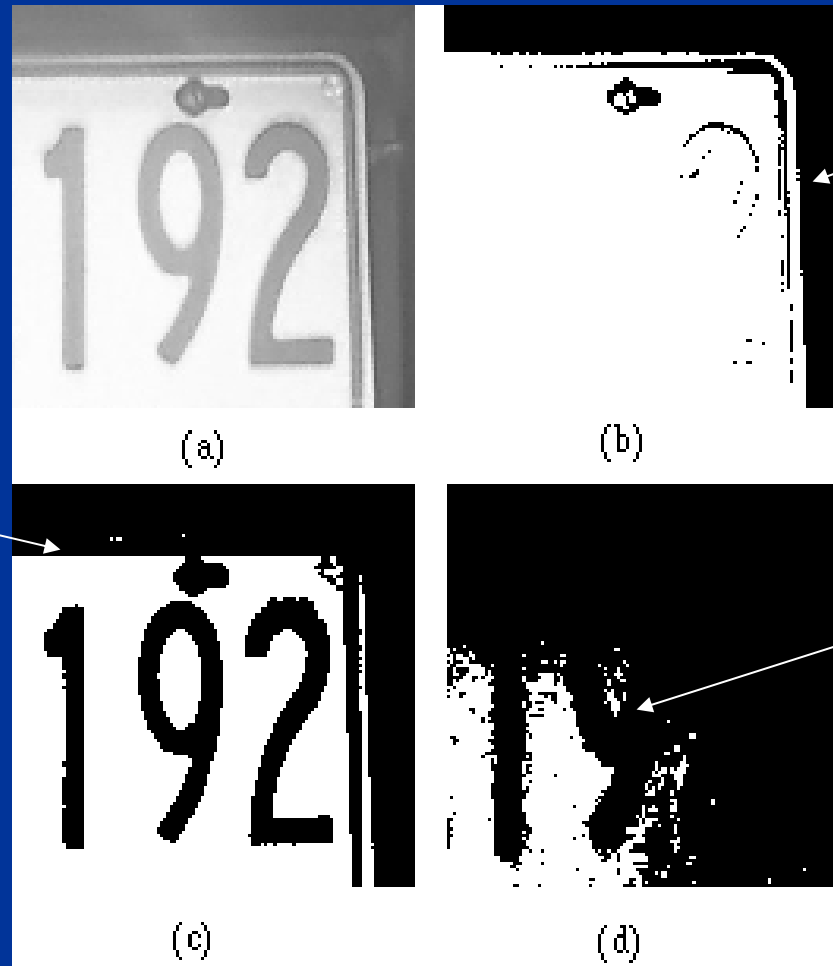
Algoritmo

1. Obtener el histograma de la imagen
2. Encontrar el "mínimo" entre los dos "picos" del histograma - I_m
3. Considerar las intensidades menores a I_m como la región 1 y a las mayores como región 2
4. Etiquetar los *pixels* correspondientes en la imagen

Mínimo

- Existen diversas *heurísticas* para encontrar el mínimo del histograma, basadas:
 - magnitud de los picos
 - distancia entre picos
 - derivadas de la función (aprox.) del histograma
 - etc.

Técnicas globales



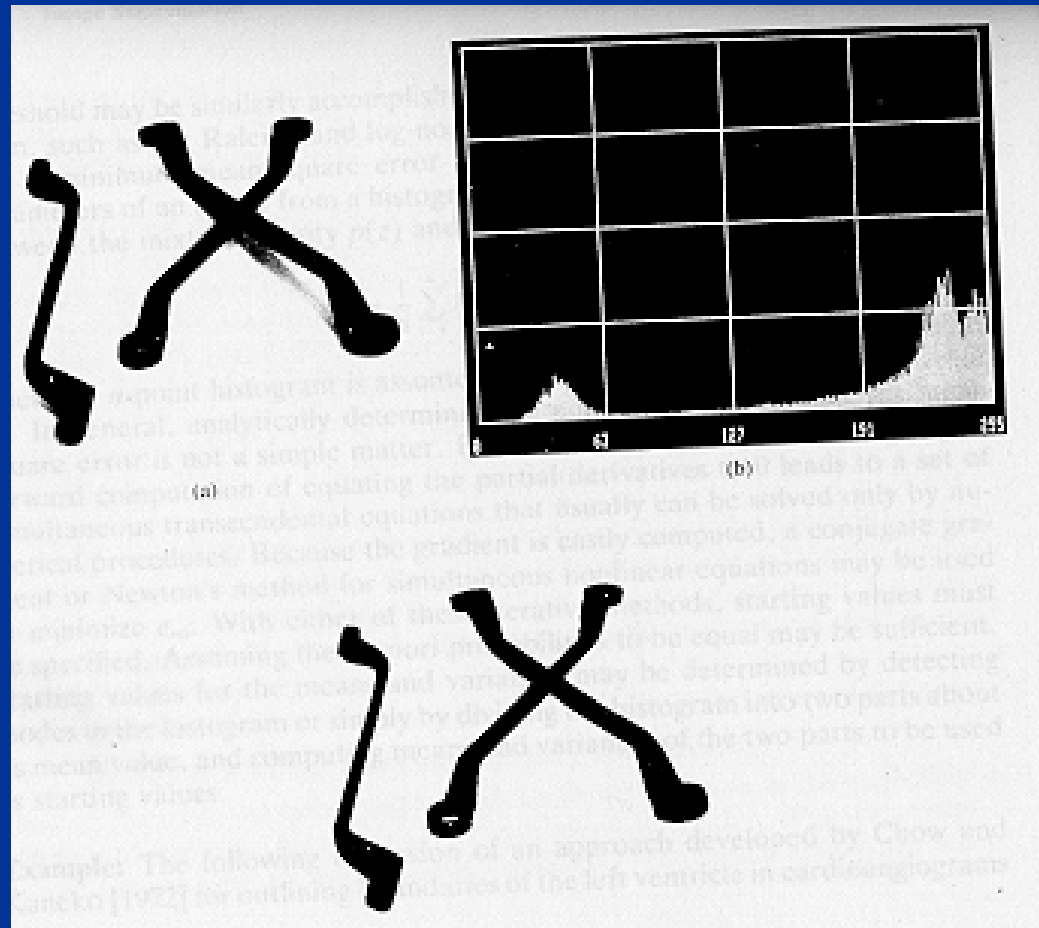
Umbral más cercano a 255

Buen compromiso entre los resultados y el umbral

Umbral próximo a 0

Segmentación por Histograma usando diferentes umbrales

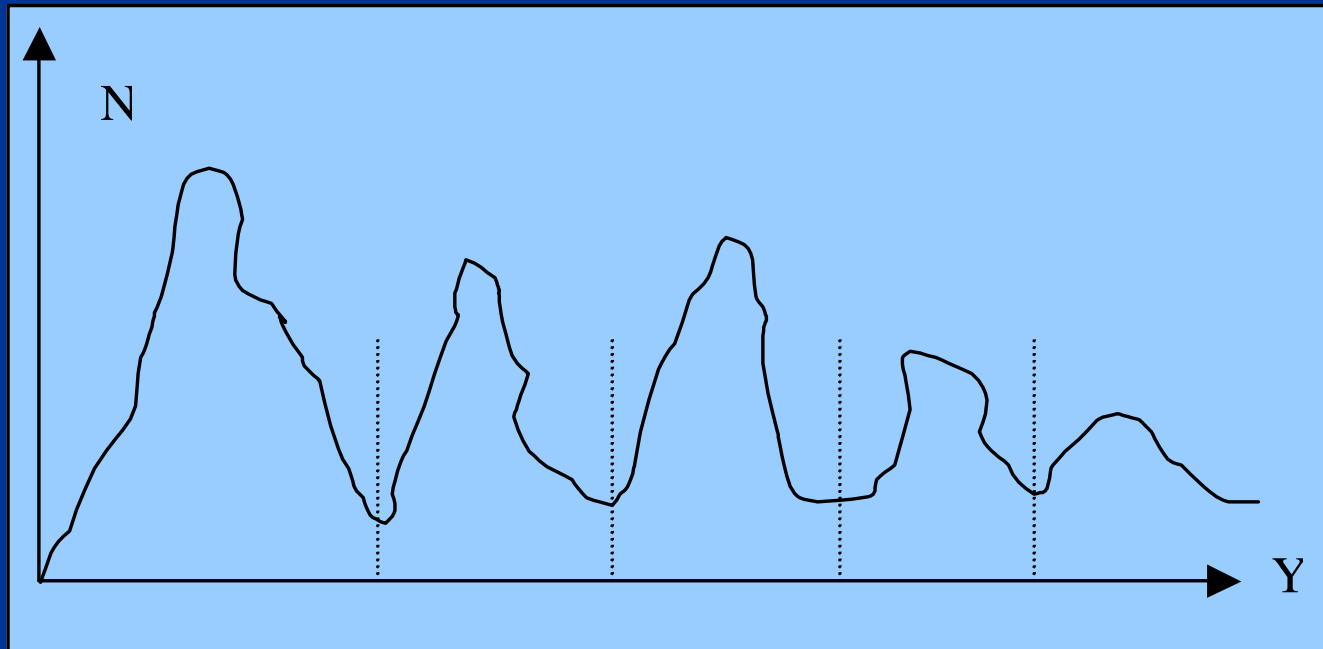
Técnicas globales



Ejemplo 2. Segmentación por Histograma

Extensión a "N" regiones

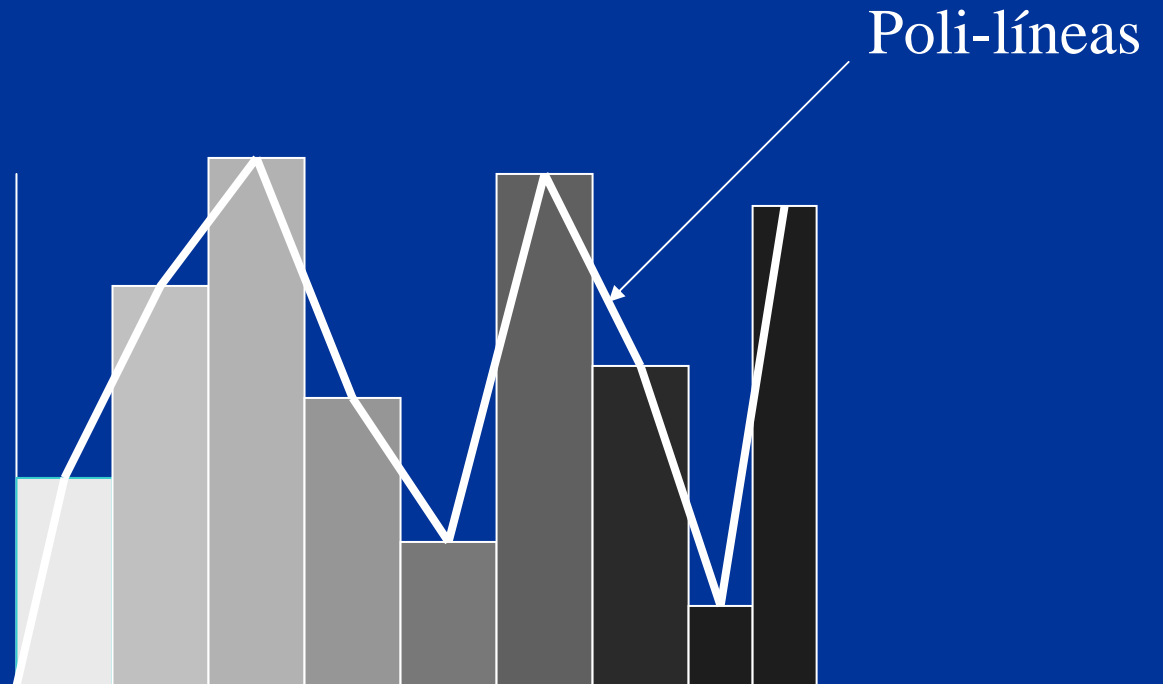
- Se toma cada pico del histograma como una región, encontrándose los mínimos entre ellos



“N” regiones

- Un método llamado *evolución discreta de la curva* para encontrar los umbrales.
- El histograma se trata como *poli-líneas* la cual se simplifica hasta que sólo quedan algunos vértices.
- La idea es representar la “forma” de la distribución con el menor número de vértices posibles.
- Los vértices que representan mínimos locales se toman como umbrales.

"N" regiones



"N" regiones

- El algoritmo es iterativo, donde se crea una secuencia de poli-líneas $P=P^0, \dots, P^m$.
- P^{i+1} se obtiene al eliminar de P^i los vértices "v" que tengan poca relevancia:

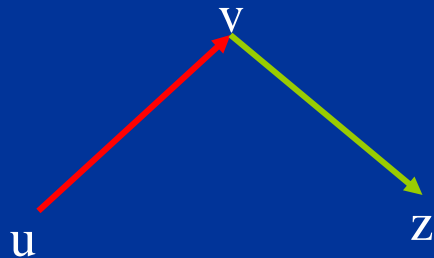
$$K(u,v,w,P^i) = |d(u,v)+d(v,w)-d(u,w)|$$

donde u y w son los vecinos inmediatos de v.

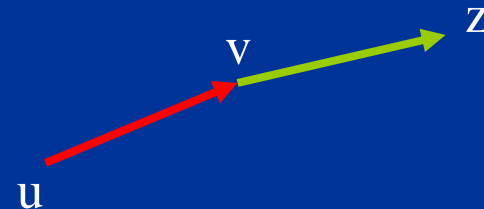
- El algoritmo termina cuando el vértice menos relevante es mayor que un umbral

“N” regiones

La intuición es que los vértices que representen cambios de dirección “bruscos” en el histograma son más relevantes que los que representan cambios “suaves”:

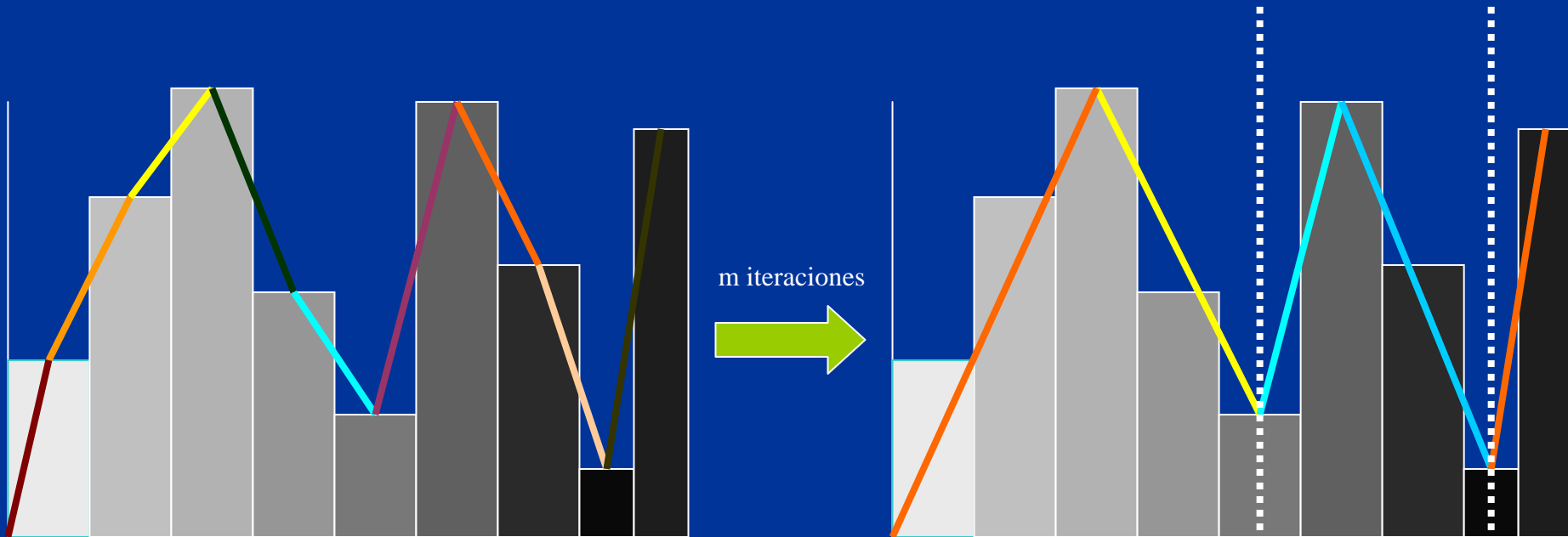


Cambio de dirección
“brusco”



Cambio de dirección
“suave”

"N" regiones



Obtención de los “mínimos” deseados usando
evolución discreta de la curva

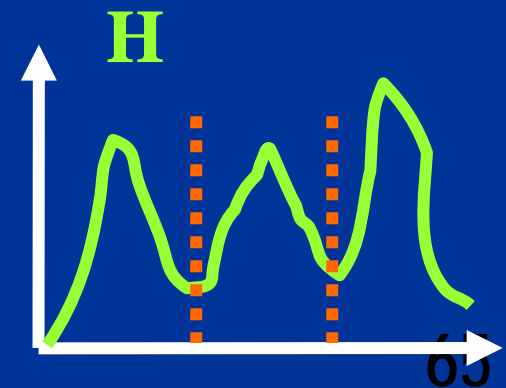
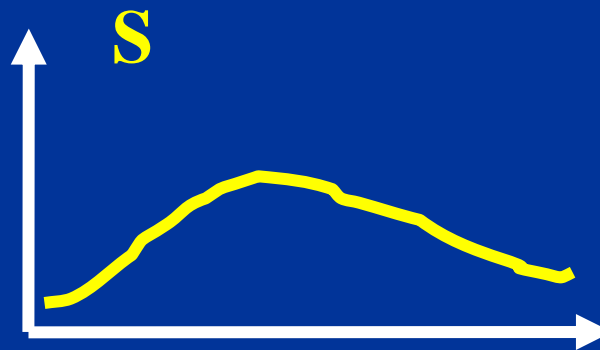
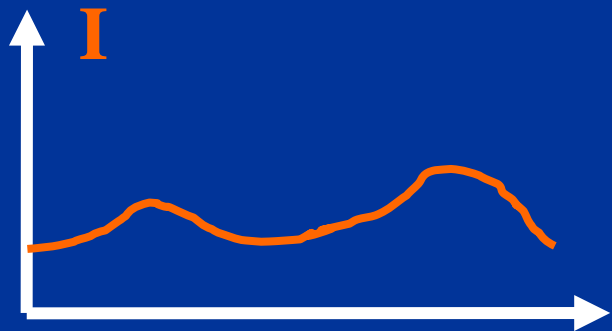
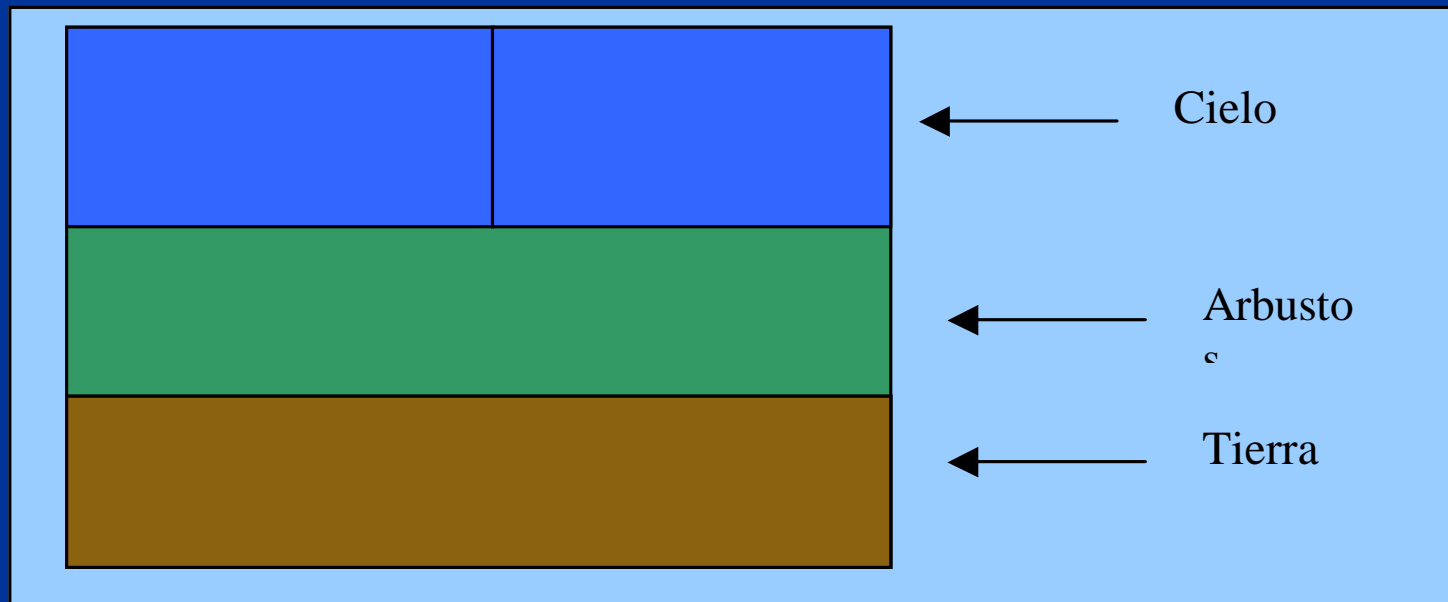
Aplicación a imágenes a color

- Se obtiene el histograma para cada color en diferentes modelos (R,G,B; H,S,I; etc.)

Algoritmo:

1. Obtener histogramas de cada componente en la región (inicialmente la imagen)
2. Tomar el pico "más significativo" en la región, y en base a esto dividir región en 3
3. Repetir (1) y (2) hasta que ya no existan picos significativos

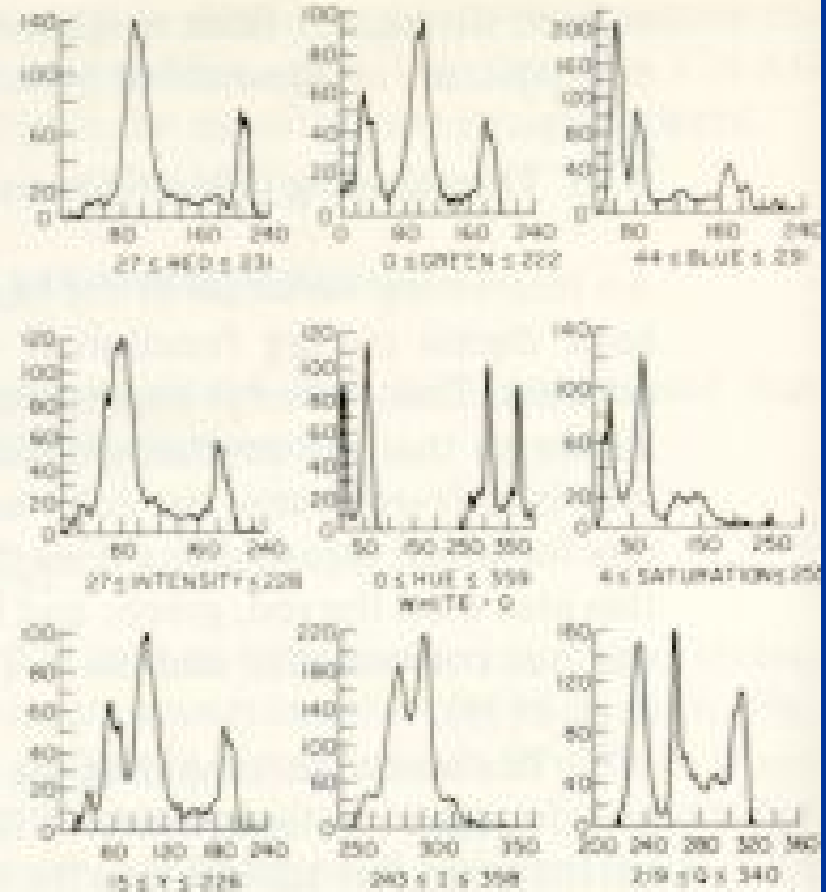
Segmentación por histograma de imágenes a color



Segmentación por histograma de imágenes a color



(a)

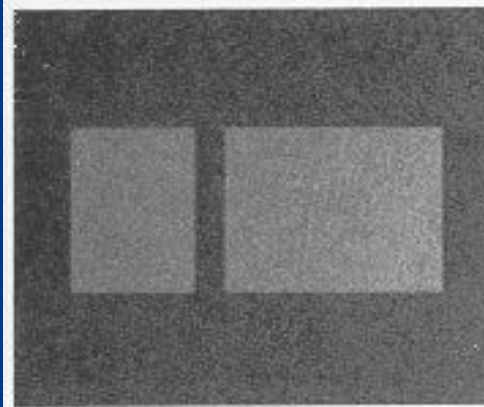


(b)

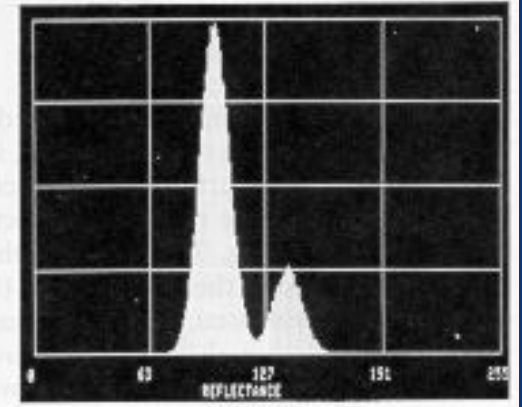
Limitaciones

- Dificultad para obtener “mínimos”
- Problemas cuando las regiones varían suavemente (p. ej. Sombras)
- Útil cuando hay pocas regiones
- No se toma en cuenta conectividad

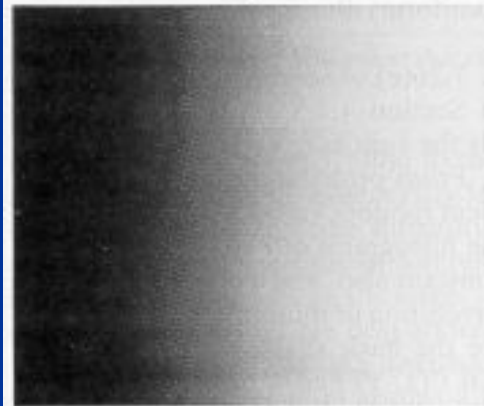
Ejemplo de Limitaciones



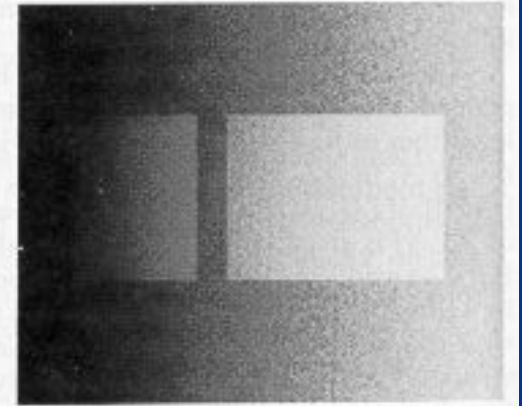
(a)



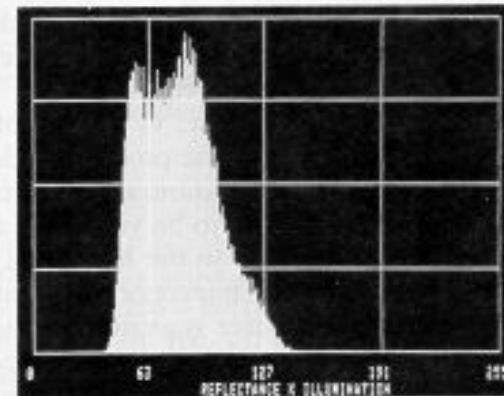
(b)



(c)



(d)

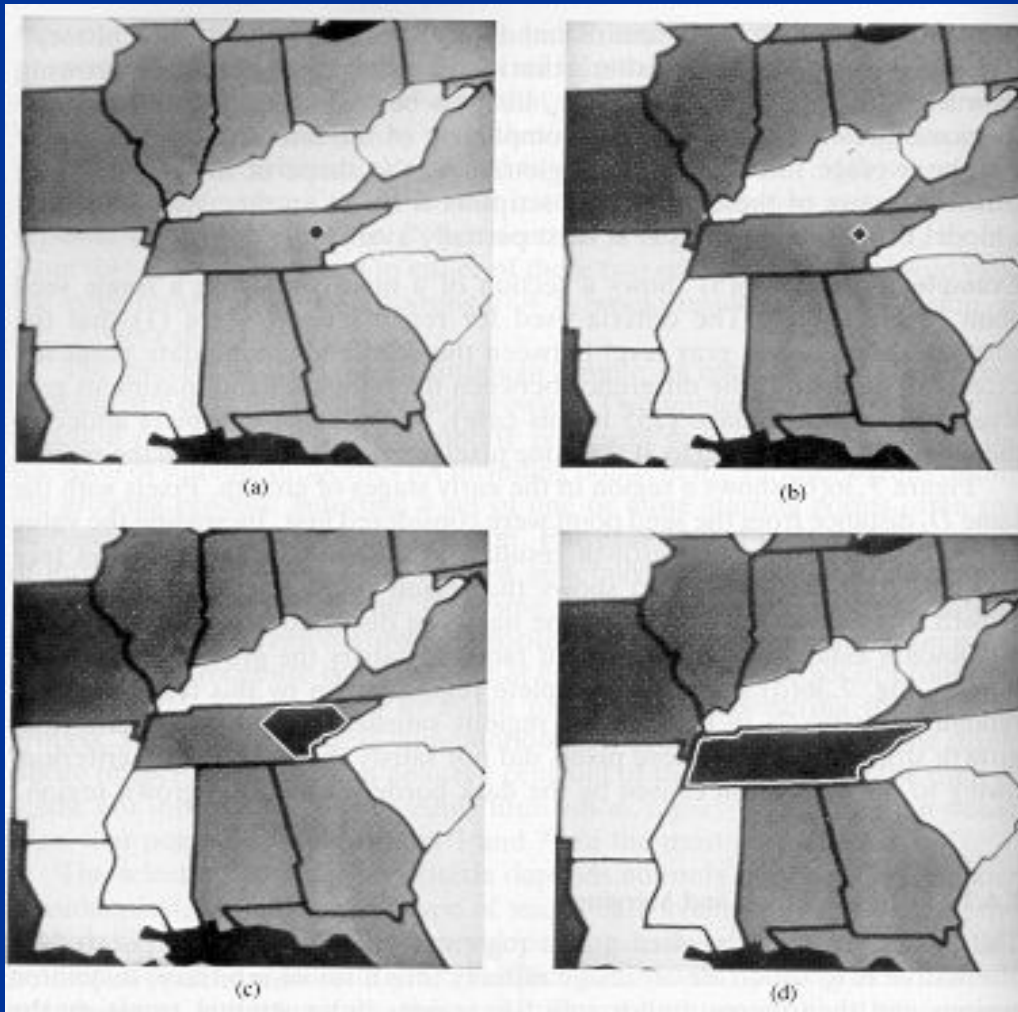


(e)

Crecimiento de Regiones

- Técnicas locales
- Se toma uno o más *pixels* como “semilla”, que se crecen hasta que se encuentren cambios significativos
- Aspectos básicos:
 - selección de puntos iniciales
 - criterio de similitud

Ejemplo de crecimiento



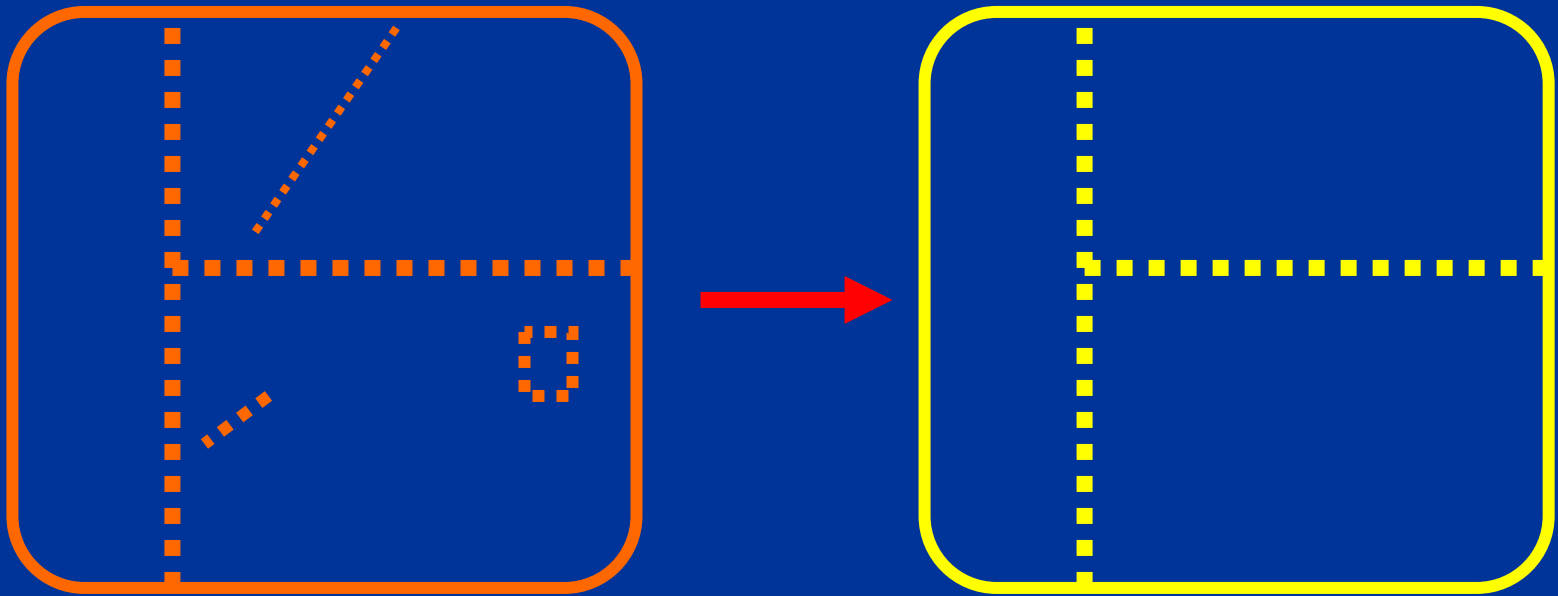
Crecimiento de Regiones

- Técnicas:
 - búsqueda en espacio de estados
 - representación basada en grafos

Búsqueda en espacio de estados

- Se basa en división inicial obtenida mediante orillas
- Se eliminan orillas, para formar regiones mayores, de acuerdo a:
 - eliminar orillas de “baja” magnitud
 - eliminar orillas “aisladas”
 - eliminar orillas entre regiones similares en intensidad
 - eliminar orillas en regiones “pequeñas”

Crecimiento de regiones por eliminación de orillas



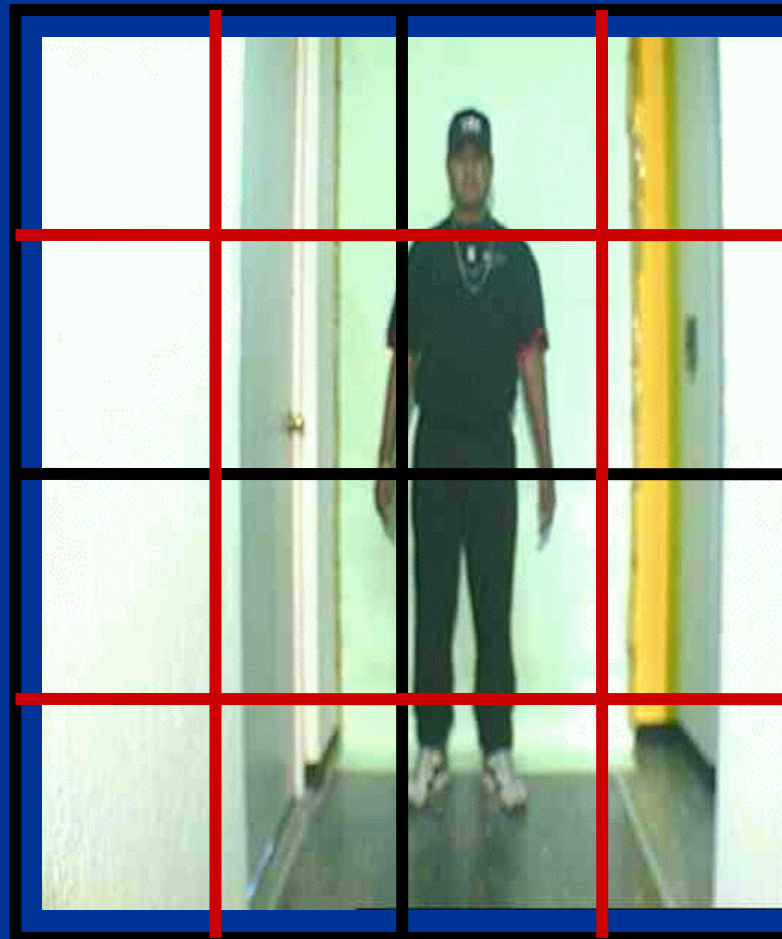
Segmentación por división y agrupamiento (*split & merge*)

- Combina técnicas globales y locales
- Parte de una división inicial, a partir de la cual se dividen / agrupan regiones
- Métodos:
 - pirámide
 - árbol cuaternario

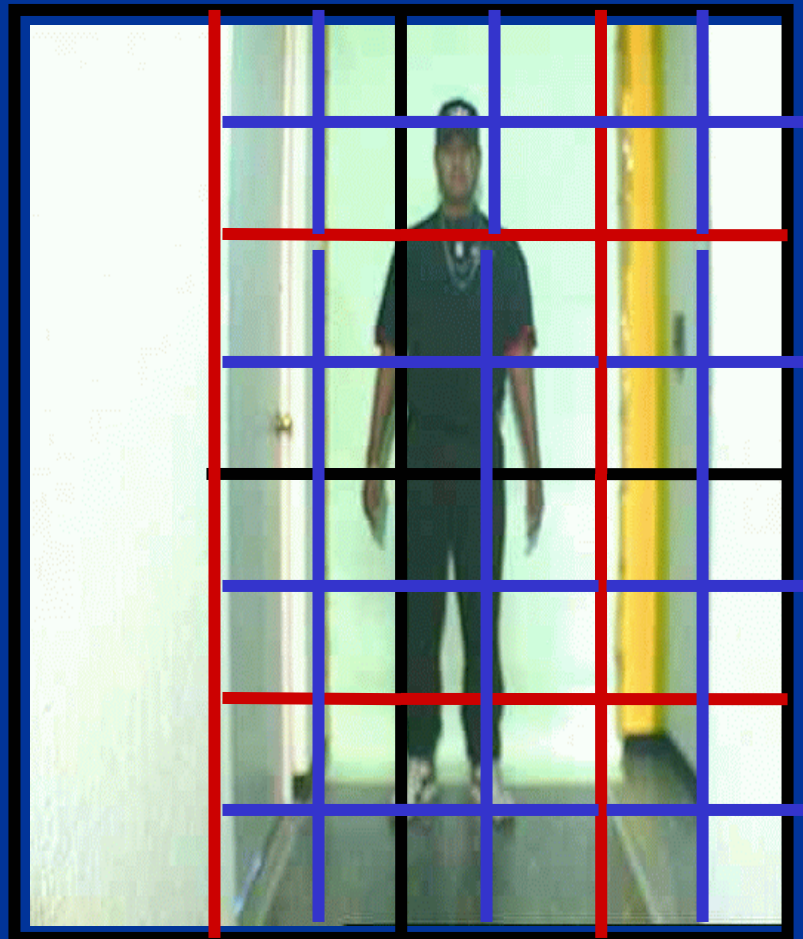
Método basado en pirámide

- Dada una representación piramidal y partiendo de un nivel intermedio:
 - División. Si la región no es homogénea (medida H), dividirla en 4 y continuar a niveles inferiores
 - Agrupamiento. Si 4 regiones contiguas son homogéneas, agruparlas y continuar a niveles superiores

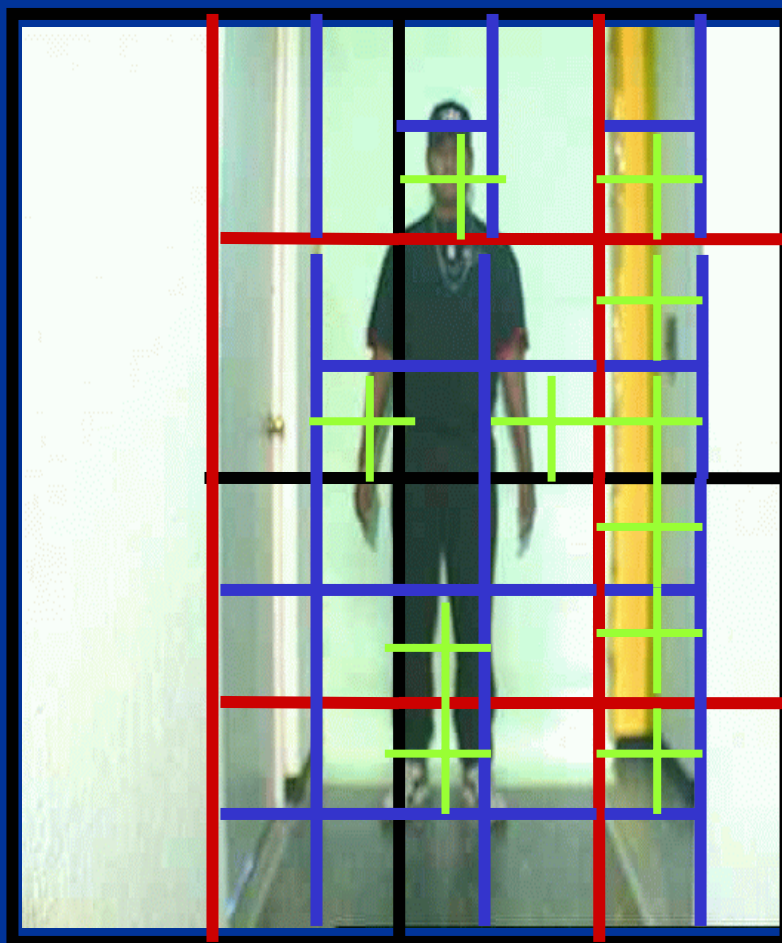
Ejemplo de división-agrupamiento



Ejemplo de división-agrupamiento



Ejemplo de división-agrupamiento



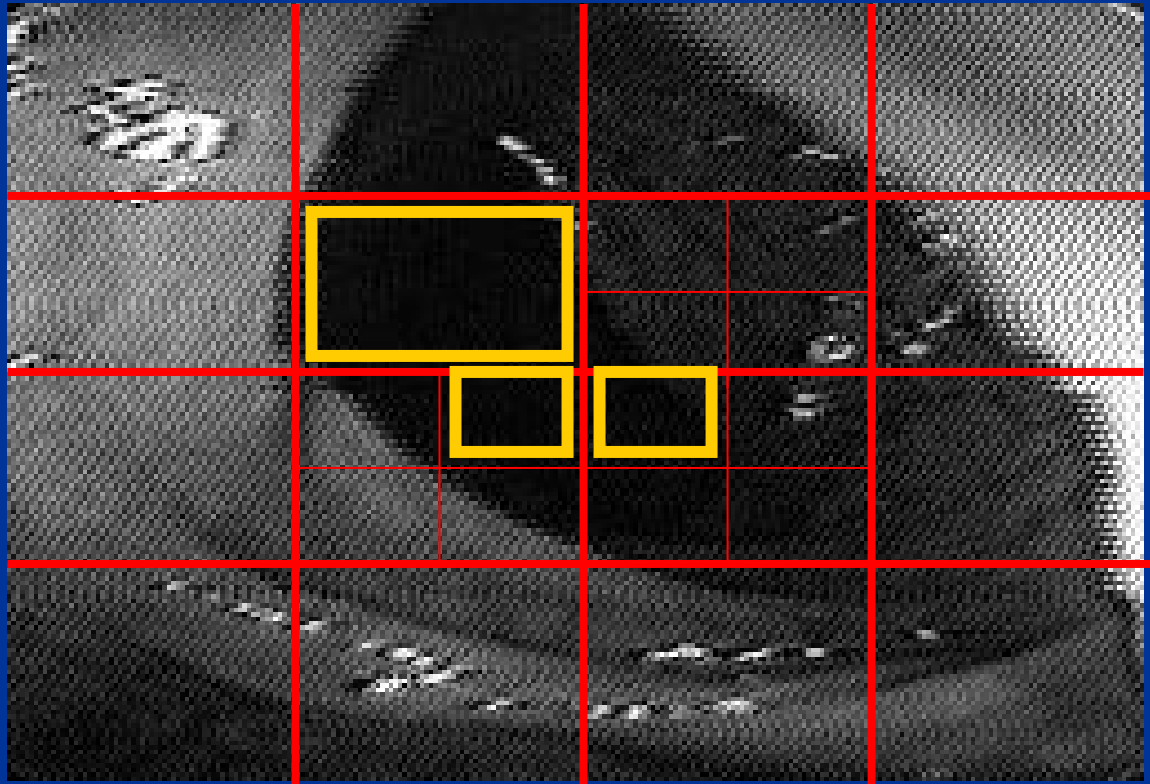
Método basado en *Quadrees*

- Se considera una región de interés de cierto nivel de intensidad (color, textura, ...)
- Medidas de homogeneidad en base a promedio (μ) y desviación estándar (σ):
 - *región uniforme en rango*: μ cerca / y σ baja
 - *región uniforme fuera de rango*: μ lejos / y σ baja
 - *región no uniforme*: σ alta

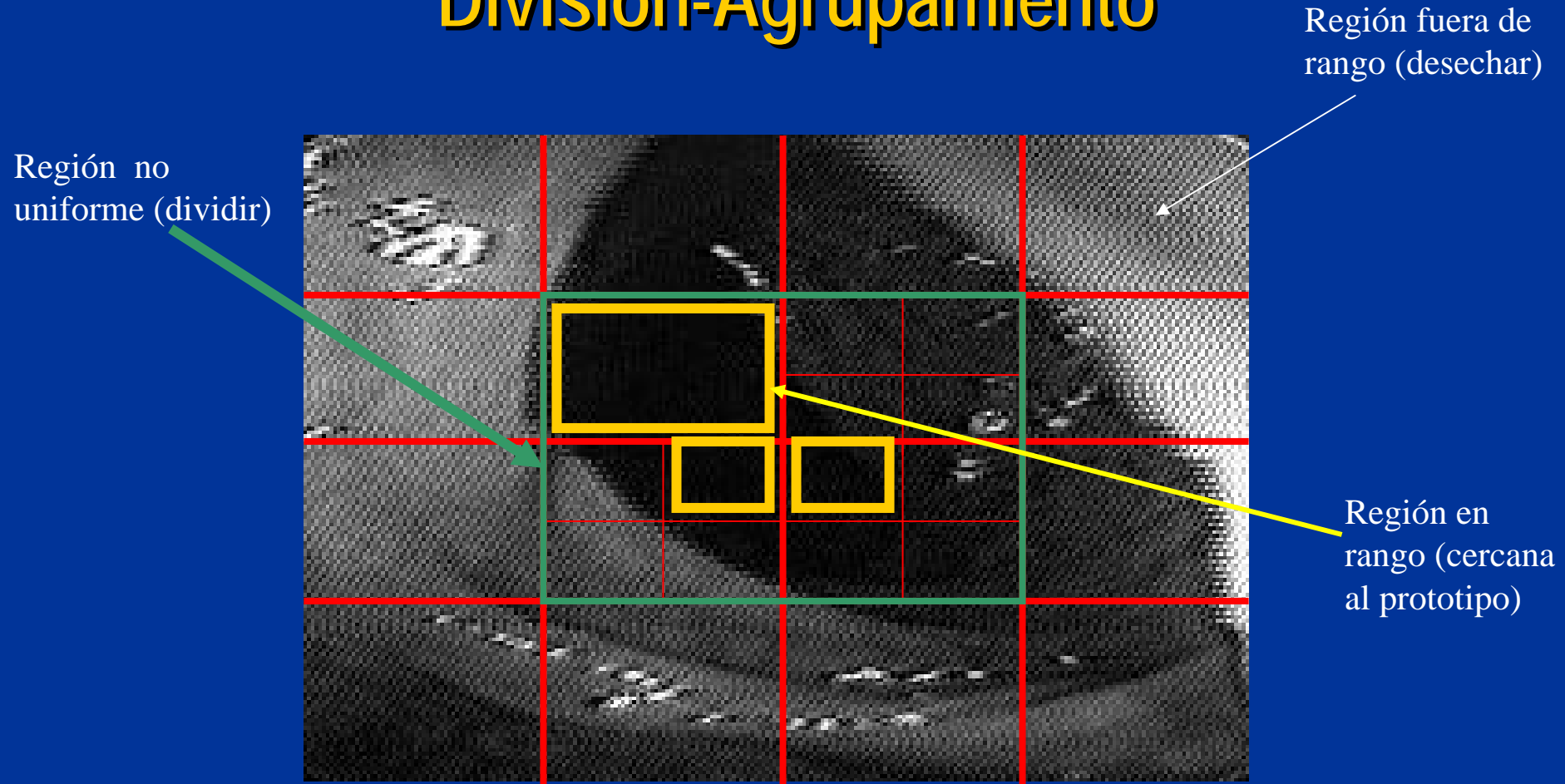
Algoritmo

1. Dividir imagen en 4, calcular (μ) y (σ) en cada cuadrante
2. Si es región uniforme en rango, tomar como región base
3. Si es región uniforme fuera de rango, desechar
4. Si es región no uniforme, dividir en 4 y repetir pasos anteriores
5. Tomar como región base la mayor y unir cuadrantes similares a diferentes niveles

Ejemplo de segmentación mediante árbol cuaternario



División-Agrupamiento



Ejemplo de segmentación mediante árbol cuaternario

Segmentación semántica

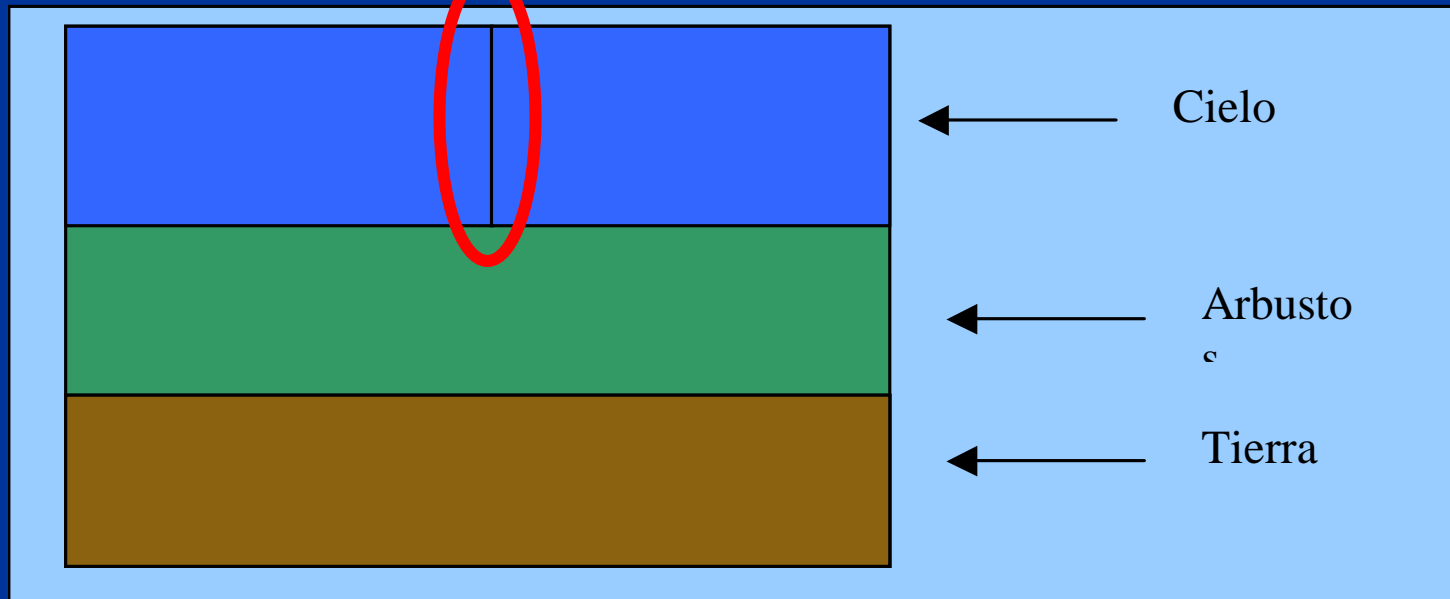
- Se consideran las posibles interpretaciones para cada región en base a atributos como:
 - dimensiones,
 - forma,
 - posición,
 - color,
 - regiones vecinas.
- Dada una segmentación inicial, se agrupan regiones en base a sus posibles tipos

Interpretación

- El tipo o clase de cada región se puede obtener mediante un enfoque bayesiano:
 $P(R \text{ es tipo } X \mid \text{atributos de } R)$
- Esto se puede estimar combinando las probabilidades de cada atributo (obtenidas de ejemplos) mediante el teorema de Bayes
- Regiones contiguas con la misma interpretación se agrupan en una región

Ejemplo de segmentación semántica

Eliminar borde (misma región)



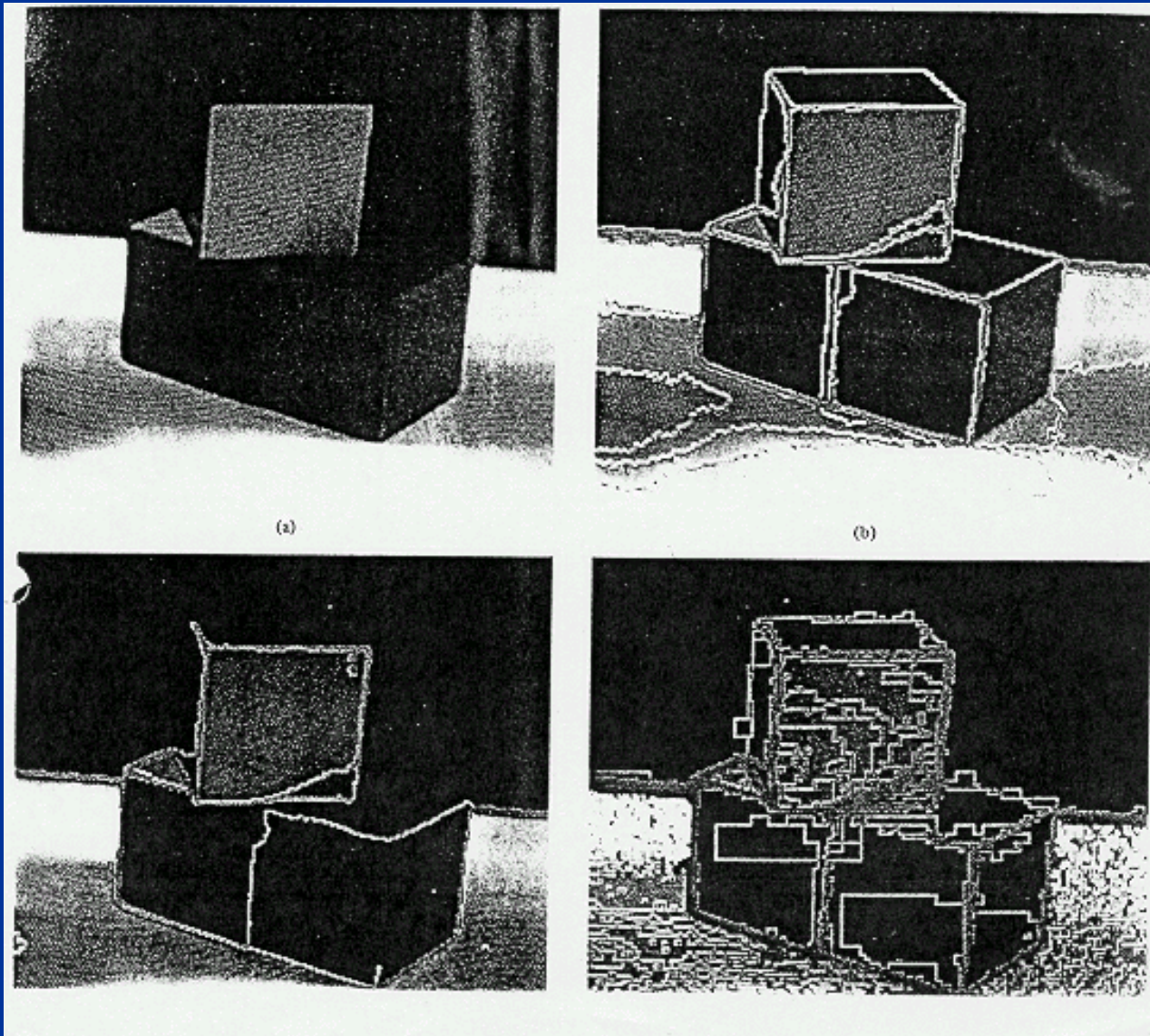
Sistema Experto para Segmentación

- Se combina conocimiento del dominio con diferentes técnicas de segmentación para un sistema experto de segmentación
- Sistema experto:
 - base de conocimiento (reglas)
 - máquina de inferencia (aplica reglas)
 - memoria de trabajo (datos, resultados)

Tipos de reglas de segmentación

- Reglas de segmentación, ej.:
 - *Si dimensión baja, vecindad alta, dif. Baja ENTONCES agrupar regiones*
- Reglas de foco de atención, ej.:
 - *Si gradiente del borde es alto, longitud es grande, existen mismo tipo de región alrededor ENTONCES analiza dichas regiones*
- Reglas de estrategia

Ejemplo de segmentación con el sistema experto



Ejemplo: Detección de piel

Combina dos técnicas: segmentación semántica y crecimiento de regiones

Semántica: utiliza dos modelos de histograma de color, uno de piel y otro de no-piel, construidos mediante muestreo de píxeles de piel y no-piel, respectivamente

Crecimiento: los píxeles de piel se agrupan en regiones a través de unirlos con los píxeles similares vecinos mediante un muestreo radial

Regla de Bayes

Con estos modelos, se clasifican pixeles de piel mediante la siguiente regla de Bayes:

$$p(\text{piel} \mid \text{RGB}) = \frac{p(\text{RGB} \mid \text{piel}) p(\text{piel})}{p(\text{RGB} \mid \text{piel}) p(\text{piel}) + p(\text{RGB} \mid \neg \text{piel}) p(\neg \text{piel})}$$

Regla de Bayes

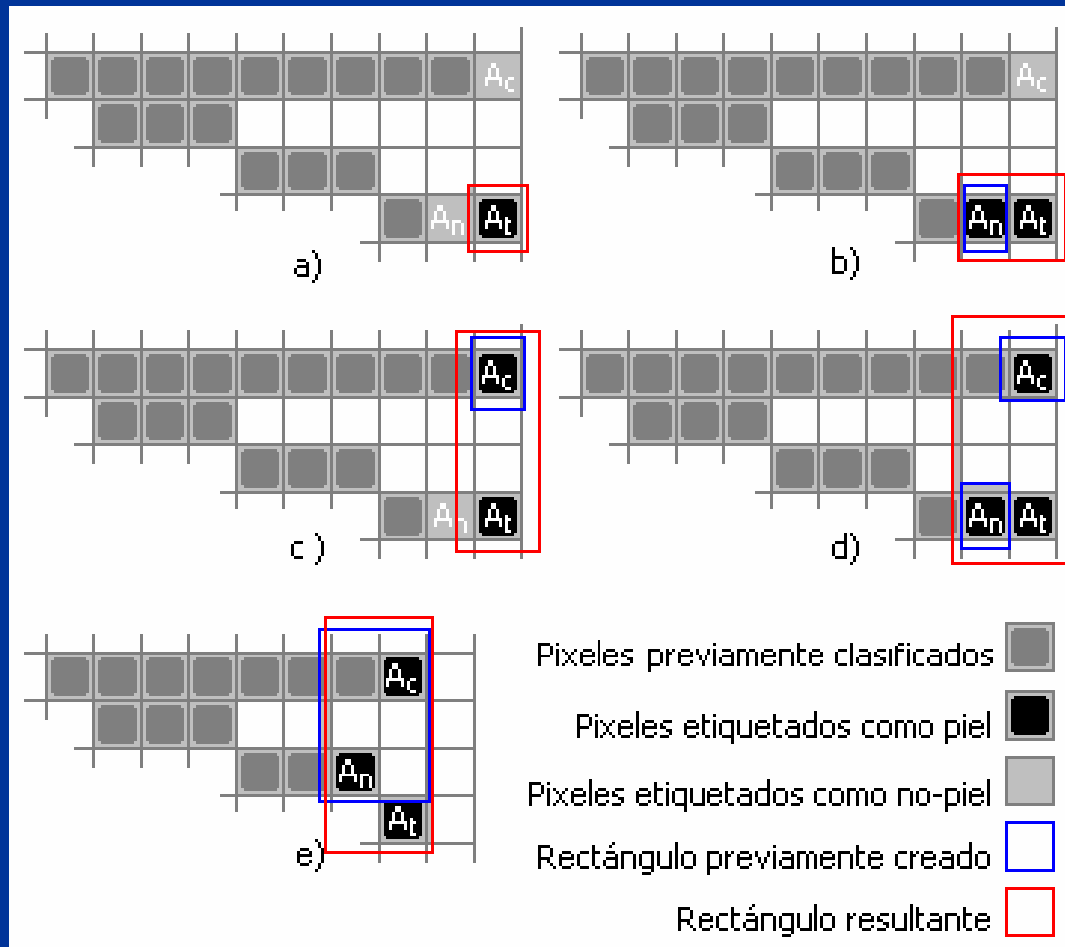
Sin embargo, para aumentar la velocidad se utiliza la siguiente regla para clasificar piel:

$$p(\text{RGB}|\text{piel}) > p(\text{RGB}|\text{no-piel})$$

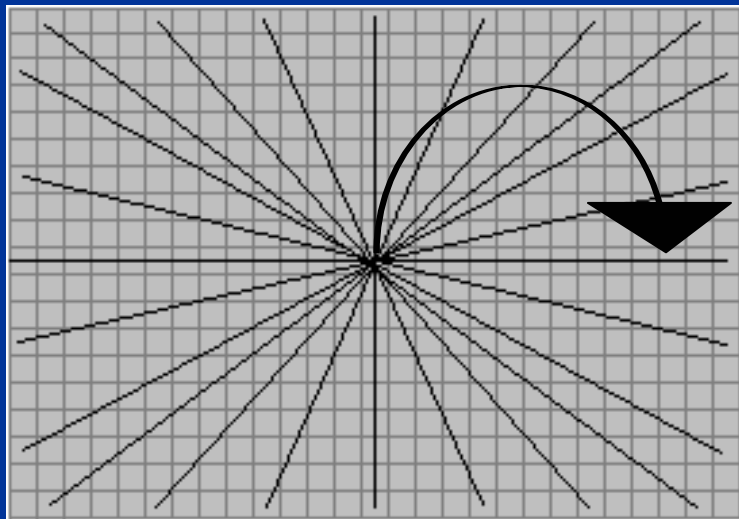
Detección de piel



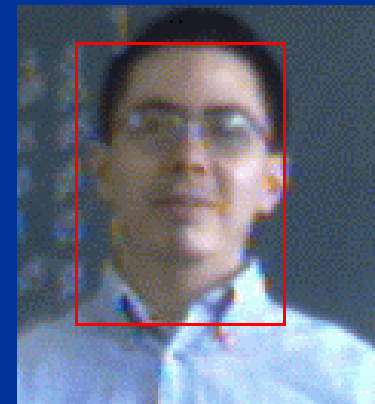
Reglas de segmentación



Búsqueda radial para la segmentación de piel



Segmentación mediante agrupación de regiones homogéneas de piel



Referencias

- Sucar & Gómez: Caps. 8, 9
- Forsyth & Ponce: Caps. 14 – 16