

# Reconocimiento de patrones en clasificación de agroalimentos

**Distéfano, Mario; Rivera, Selva; Fernández, Marcela;  
Iriarte, Eduardo; Ponzo, Mauricio**

Instituto de Automática y Electrónica Industrial - Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional de Cuyo

## **ABSTRACT:**

Se describe un entorno informático-electrónico de bajo costo aplicado al control de calidad de los productos agroalimentarios, basado en visión artificial, orientado al análisis de propiedades físicas como el tamaño, forma, color, peso, defectos superficiales, densidad y textura. Comprende la implementación de algoritmos de Reconocimiento de Patrones, orientados en esta etapa a la determinación del tamaño de frutas en movimiento con imágenes monocromáticas, de acuerdo con los calibres del Nomenclador de la Secretaría de Agricultura y Ganadería de la Nación. El sistema prevé la determinación de la secuencia de activación de los derivadores de frutas a los receptáculos correspondientes, en el orden y temporización necesaria.

Visión Artificial

Control de Calidad

Control Automático

## **1. INTRODUCCIÓN**

Se ha desarrollado un sistema informático-electrónico para resolver problemas de control de calidad de los productos agroalimentarios, con la incorporación de visión artificial en los sistemas de clasificación y valoración de los frutos (Ceres, 1993) para el análisis de diferentes propiedades físicas como el tamaño, color, peso, defectos superficiales, densidad y textura.

Se determina en esta etapa el tamaño, aplicándose al caso particular de frutas (manzanas, ciruelas, peras, etc.). Las técnicas desarrolladas pueden extenderse a otros frutos.

El proyecto comprende el ajuste y calibración de los algoritmos de Reconocimiento de Patrones para el caso particular de objetos irregulares en movimiento y la discriminación por medio de señales externas para la secuencia de activación de los derivadores a los receptáculos correspondientes en el orden adecuado y con la temporización correcta, para el sistema mecánico asociado.

Se ha tomado como modelo de experimentación a la manzana, por cuanto se trata de un producto de volumen importante en la región y además están en Mendoza fuertes productores y exportadores interesados en estas tecnologías.

En este trabajo, la determinación del parámetro tamaño se ha implementado de acuerdo con las especificaciones de la Secretaría de Agricultura y Ganadería (Ministerio de Economía de la Nación). Capítulo XXIX - Manzanas: calibres 85/ 82/ 79/ 75,5/ 72/ 69/ 68/ 66/ 64/ 62/ 61.

La implementación comprende: cámara monocromo, placa de digitalización, computadora, placa de entrada/salida y el software correspondiente.

En una etapa siguiente se estudiarán las restantes condiciones: color, manchas, heridas, «Bitter-pit», podredumbre y granizo, bajo el concepto de texturas.

### 1.1.Reconocimiento Automático por tamaños

El universo de trabajo del sistema se dividió en clases o patrones según los calibres determinados por la Secretaría de Agricultura de la Nación.

La etapa de segmentación no es necesaria en este trabajo ya que se dispone de cintas transportadoras por las que se desplaza un fruto por vez. Esto permite la reducción del tiempo empleado en el procesamiento general de la imagen.

El reconocimiento automático del fruto se efectuó mediante una extracción de bordes y su posterior codificación según el código cadena extendido. A partir de él se realizó la extracción de características y se efectuó el reconocimiento en base a la distancia euclídea a los centroides de cada clase.

## 2. EXTRACCIÓN DE BORDES

El primer paso para determinar el tamaño de las frutas fue efectuar una extracción de bordes. Se ensayaron distintos filtros espaciales y en ningún caso se pudo obtener un borde continuo y de un pixel de espesor.

Algunos de los filtros que se aplicaron para mejorar una imagen son los siguientes:

- a. Filtro de la Media
- b. Aumento de contraste
- c. Recorte y umbralización
- d. Binarización
3. Negativo de una imagen digital

### 2.1 Filtros para detección y mejora de bordes

Se analizaron y experimentaron 2 métodos para determinar los puntos del borde.

#### 1. Método basado en las derivadas primeras:

A través del cálculo de la derivada primera se miden los cambios de intensidad en todos los puntos de la imagen y se seleccionan como puntos de borde sólo aquellos en los que la intensidad de cambio supera un valor determinado

Se aplicaron los siguientes filtros (Schalkoff, 1989):

- \* Del gradiente
- \* De Roberts
- \* De Sobel
- \* De Prewitt
- \* Isotrópico

#### 2. Método basado en las derivadas segundas:

A través de la derivada segunda se determinan directamente los puntos de la imagen en los cuales aparecen picos de cambios de luminancia, aplicándose en este caso el filtro laplaciano.

Los filtros antes mencionados determinan los límites internos y externos de un objeto definiendo sus bordes, los cuales como ya se mencionó antes, están definidos por cambios en la intensidad de los pixels a lo largo de cierta línea.

Estos filtros presentan las siguientes desventajas:

- 1) Suponen que la iluminación no crea sombras excesivas ni otros efectos ópticos y que la textura del objeto en estudio no crea la apariencia de un falso límite.

2. Se obtienen bordes gruesos, lo cual requiere un procesamiento posterior para adelgazarlo.
3. Los bordes son discontinuos, lo cual requiere un procesamiento posterior que permita interpolar los valores faltantes.
4. Requieren mucho tiempo de procesamiento, ya que el análisis se realiza sobre la imagen completa considerando cada vez un pixel y sus vecinos, lo cual implica que cada pixel sea procesado más de una vez.

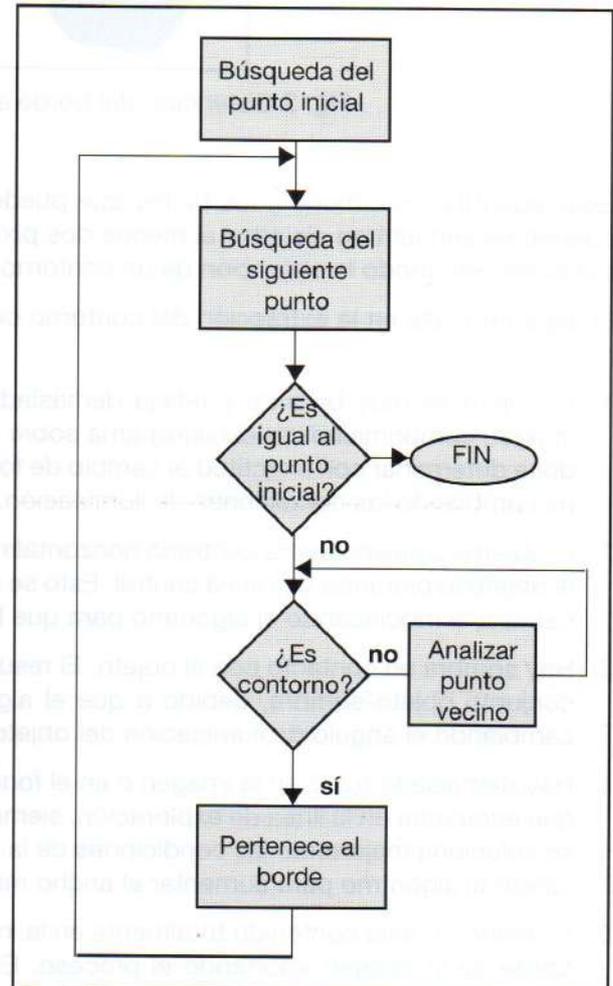
## 2.2 Algoritmo para la detección de la silueta de un objeto.

Una vez binarizada la imagen, se aplica el algoritmo para la extracción de la silueta de un objeto. Dicho procedimiento se basa en recorrer los vecinos de un pixel genérico y detectar cuál de todos ellos es negro. Luego se utiliza este nuevo pixel como punto genérico y se repite el proceso. La búsqueda termina cuando el nuevo punto coincide con el punto de origen (ver Fig. 1).

Los inconvenientes a solucionar con este método son:

1. Se debe encontrar una transición de blanco a negro o de negro a blanco para que el punto pertenezca al borde.
2. El nuevo punto no puede ser ninguno de los puntos anteriormente tratados (para que el contorno no retroceda sobre sí mismo).
3. Si no hubiera un punto de continuación del borde, el algoritmo debe retroceder un paso para retomar el análisis desde un punto anterior y descartar los puntos conflictivos que se consideran como «ruido» de la imagen.

Fig. 1 Diagrama de flujo básico de extracción de bordes



Para solucionar estos inconvenientes se adoptan los siguientes criterios:

1. Se define un sentido de circulación dextrógiro (horario).
2. Se define una codificación única creciente en el sentido de giro para los pixels vecinos de tal manera de detectar si el elemento a tratar ya fue considerado (retroceso).

Dependiendo de cuál sea la posición del siguiente punto encontrado se le asigna el número que le corresponde de acuerdo con la Fig. 2

1	2	3
0	X	4
7	6	5

Fig. 2 X representa el punto genérico.

Aplicando este algoritmo a una manzana se obtuvo el resultado que se observa en la Fig. 3.

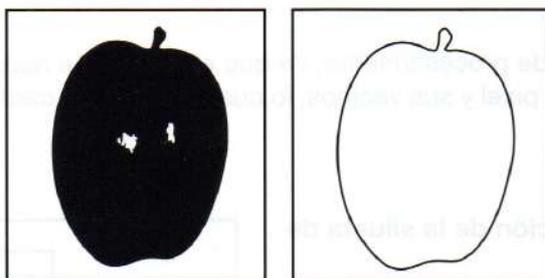


Fig. 3 Obtención del borde a partir de la imagen binarizada.

Este algoritmo es inmune a los brillos que pueden producirse sobre el objeto en estudio, siempre y cuando se encuentren alejados al menos dos pixels del borde o su intensidad no sea tan alta, asegurando de este modo la obtención de un contorno delgado y continuo.

El algoritmo falla en la extracción del contorno cuando se presenta alguna de las siguientes situaciones:

1. El objeto es muy brillante y refleja demasiada luz. En este caso se confunden los puntos de la imagen comprimiéndose el histograma sobre el nivel de gris correspondiente al fondo, no pudiéndose determinar con exactitud el cambio de fondo a objeto en la imagen. Este problema se soluciona cambiando las condiciones de iluminación, y/o el nivel de saturación de la cámara.
2. El objeto no se encuentra centrado horizontalmente. El algoritmo, para optimizar la velocidad, busca el objeto explorando una línea central. Esto se soluciona centrandolo horizontalmente el objeto ante la cámara, o modificando el algoritmo para que busque en otra línea, aún vertical.
3. Hay sombra en contacto con el objeto. El resultado que se obtiene del algoritmo es el contorno del conjunto objeto-sombra, debido a que el algoritmo sólo determina la silueta. Esto se soluciona cambiando el ángulo de iluminación del objeto.
4. Hay demasiado ruido en la imagen o en el fondo. El algoritmo trazará el contorno del primer objeto que encuentre en la línea de exploración, siempre y cuando sea de un ancho de 2 o más pixels. Esto se soluciona mejorando las condiciones de la imagen, cambiando el fondo (si es posible), o modificando el algoritmo para aumentar el ancho mínimo exigido al objeto.
5. El objeto no está contenido totalmente en la imagen. El algoritmo trazará el contorno hasta llegar al borde de la imagen abortando el proceso. Esto se soluciona cambiando la distancia focal de la cámara.
6. El objeto tiene una tonalidad muy similar a la del fondo. El algoritmo no encuentra ningún objeto abortando el proceso. Esto se soluciona cambiando las características del fondo. Es necesario recalcar que la placa es monocromo, por lo tanto un objeto azul sobre un fondo rojo, por ejemplo, podrán verse con la misma intensidad de gris. En este caso puede agregarse un filtro de color a la cámara.

### 2.3 Extracción de características

Para calcular la superficie es necesario codificar el contorno.

Esta codificación se realiza a través del «Código Cadena» que consiste en asignar a un contorno específico una cadena de símbolos que determine unívocamente el correspondiente contorno.

$$CC = \{(x_0, y_0), c_1, c_2, c_3, \dots, c_n\} \quad (1)$$

El cálculo del tamaño de una manzana se realiza a través de la obtención del «Momento de orden 0».

$$m_{00} = \frac{1}{2} \sum_{c=1}^N (x_c \Delta y_c - y_c \Delta x_c) \quad (2)$$

Las ecuaciones (1) y (2) pueden verse en (Gómez-Allende, 1993) y (Kiryati et al., 1995).

### 3. IMPLEMENTACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN

La implementación comprende la utilización de una PC 386, una placa de vídeo digitalizadora, una cámara de vídeo, placa de entrada/salida y líneas de sincronización y control (ver Fig. 4).

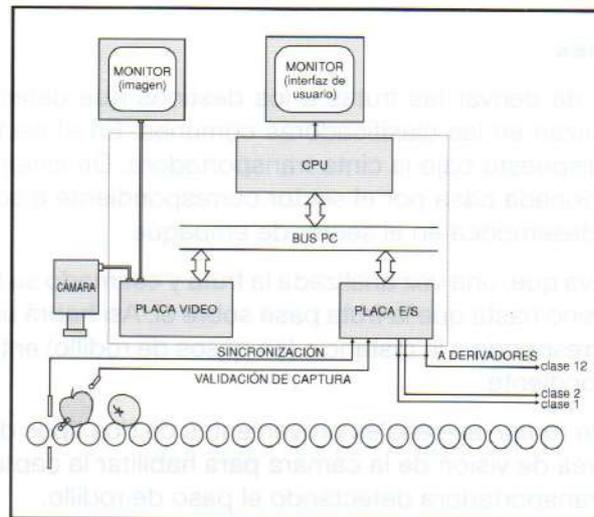


Fig. 4 Clasificador implementado

El software utilizado es una combinación del algoritmo desarrollado, en lenguaje C y funciones de la biblioteca propia de la placa de vídeo.

La cámara, enfocada sobre la cinta transportadora, entrega señal de vídeo compuesto CCIR entrelazado 2:1.

Cuando el fruto pasa por el campo de visión de la cámara, es detectado por una barrera asociada a un bit de la placa interfaz de entrada. El programa verifica la activación de este bit y comanda a la placa de vídeo para que realice la captura de imagen, esto es, la digitalización de un cuadro completo de vídeo.

La imagen digitalizada y preprocesada por hardware queda en la memoria de la placa, y sobre ella se realiza la aplicación del algoritmo de extracción de contorno y determinación de tamaño y clase.

A través de la placa interfaz de salida, y en función de los valores de clase obtenidos previamente, se realiza la activación simultánea e independiente de los 12 dispositivos electromecánicos de derivación, dispuestos a lo largo de la cinta transportadora.

#### 3.1 Digitalización de la imagen

La imagen se captura con una cámara CCD Panasonic WV 1410.

La digitalización de la imagen se realiza con una placa ITEX VS-100 de Imaging Tech, (Imaging Technology, 1990a, 1990b, 1990c) monocromática de 8 bits, comienza con el próximo pulso de sincronismo vertical de la cámara y se realiza en 40 ms.

Al tiempo que se digitaliza, mediante una RAM de la placa de vídeo actuando como tabla de conversión (LUT) de 8 x 8 bits se realiza la binarización de la imagen, necesaria para aplicar el algoritmo de determinación de contorno. La LUT se escribe luego de inicializar la placa y antes de comenzar la

captura de imágenes. Hay 16 LUT's seleccionables que pueden reescribirse durante la ejecución del programa, por lo que el umbral figura-fondo es modificable por reescritura de la LUT actualmente en uso o por cambio por otra. Cualquiera de las dos operaciones es muy breve y puede efectuarse entre dos capturas de imágenes.

La imagen digitalizada y binarizada se almacena en la memoria de cuadro de la placa de vídeo, con dirección base configurada en el segmento A0000 h. y con un formato de 1024x1024 pixels. El área de imagen es de 768 x 512 pixels.

La lectura de cada elemento de la imagen se realiza mediante una función cuyos argumentos son las coordenadas X-Y- del elemento en el cuadro. No es necesario realizar una conversión X-Y a dirección, porque la placa soporta direccionamiento indexado con registros punteros X e Y, que son escritos con los valores de los argumentos en forma automática en el momento del acceso.

### **3.2 Activación de derivadores**

Los actuadores encargados de derivar las frutas a los destinos que determine el programa son los electromecánicos que se utilizan en las clasificadoras comunes. En el sector de derivación de cada categoría hay un derivador dispuesto bajo la cinta transportadora. De este modo, cuando la fruta que ha sido previamente inspeccionada pasa por el sector correspondiente a su categoría, el derivador la vuelca en una canaleta que desemboca en el sector de empaque.

En este mecanismo se observa que, una vez analizada la fruta y estimado su tamaño, no debe activarse el derivador de su categoría sino hasta que la fruta pase sobre él. Así habrá un retardo de activación fijo para cada derivador, que corresponde a la distancia (en pasos de rodillo) entre el sector de análisis y la canaleta de la clase correspondiente.

La interfaz de entrada permite tomar las señales provenientes de dos tipos de detectores: uno indicará la presencia del fruto en el área de visión de la cámara para habilitar la captura de imagen, y otro dará el sincronismo con la cinta transportadora detectando el paso de rodillo.

Para ordenar la activación independiente y simultánea de los 12 derivadores se crea en memoria un vector de tipo estático entero sin signo. La cantidad de elementos será igual a la cantidad de pasos de rodillo entre el sector de análisis y el último sector de derivación.

Al inicio todos los elementos deben ser puestos a cero. Cada una de las 12 clases se asocia a una línea de bits del vector. Un contador cíclico de módulo igual al tamaño del vector e incrementado en cada paso de rodillo apuntará a un determinado elemento, que denominaremos elemento actual, y que será el que se transfiera a la salida. Los bits en «1» del elemento actual provocan la activación del derivador de la clase correspondiente.

Cuando se determina la clase de un fruto, se pone en «1» el bit de la línea correspondiente y del elemento que se encuentra a tanta distancia del elemento actual (en sentido ascendente y modo cíclico, ver Fig. 5) como pasos de rodillo existan entre el sector de análisis y la canaleta correspondiente.

## **4. RESULTADOS OBTENIDOS**

Se efectuaron experiencias calculando el diámetro equivalente a un círculo, a partir de los valores obtenidos de la medición de sus superficies.

Se tomaron 80 manzanas de un cajón de calibre 85 mm. Se midieron sus diámetros con un calibre de manera tal que los valores correspondieron al diámetro máximo. Esas mismas manzanas fueron capturadas y medidas con el sistema desarrollado arrojando los resultados que pueden observarse en las siguientes figuras.

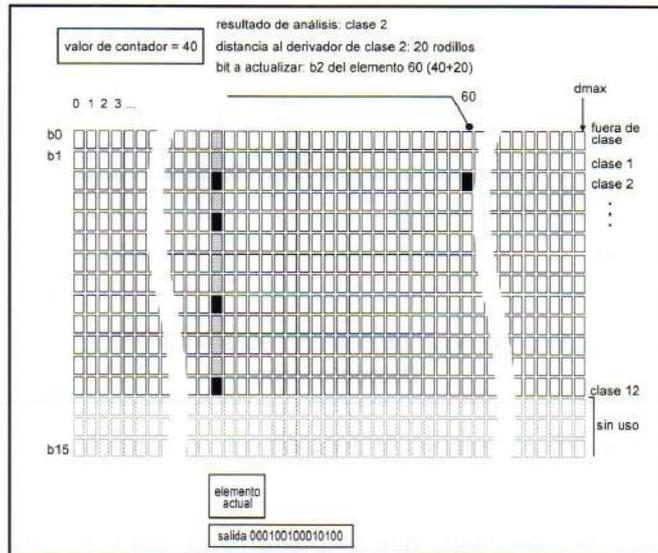


Fig. 5 Actualización de bits de clase y activación

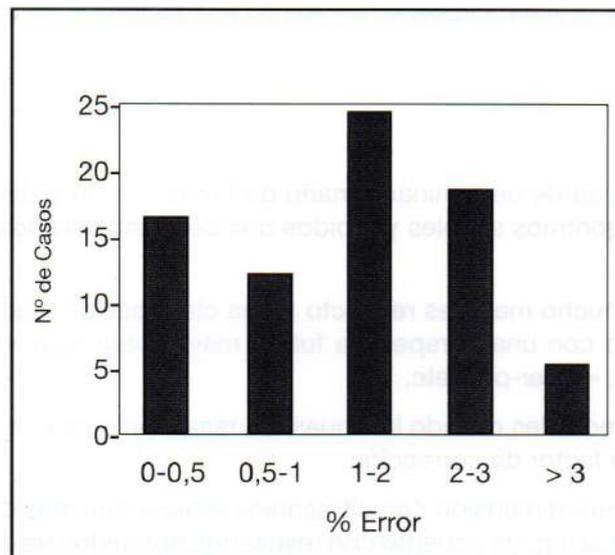


Fig. 6 Número de casos en función del error relativo.

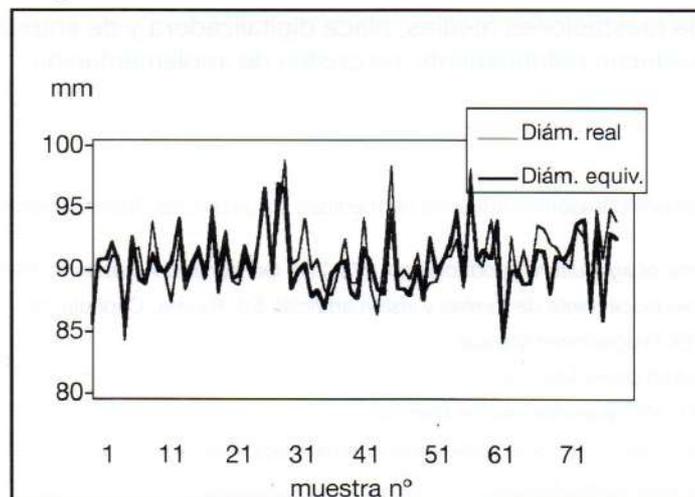


Fig. 7 Diámetros para cada muestra.

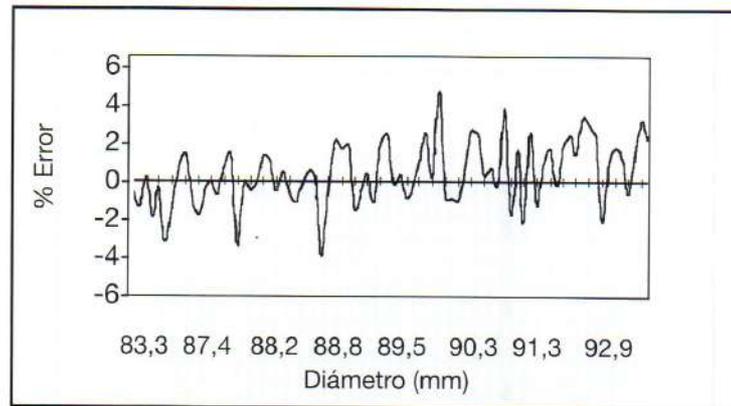


Fig. 8 Error relativo en función de los diámetros.

En la Fig. 6 se observa el número de casos que se presentaron para rangos de error relativo entre el diámetro real y el equivalente.

En la Fig. 7 se muestra la diferencia entre el diámetro real y el equivalente para cada muestra tomada.

En la Fig. 8 puede observarse la variación del error relativo en función de los diámetros reales, ordenados en orden creciente.

## 5. CONCLUSIONES

Se ha establecido la factibilidad de determinar tamaño de frutas con un sistema de visión artificial de bajo costo, desarrollando algoritmos simples y rápidos que permiten velocidades de clasificación del orden de 6 objetos/segundo.

Los errores cometidos son mucho menores respecto a una clasificación mecánica y comparable a la electrónica por pesada, pero con una perspectiva futura mayor para resolver la detección de color, manchas, daños por granizo, «Bitter-pit», etc.

Se originan desviaciones apreciables cuando las muestras reales presentan asimetría. Esto conduce a la necesidad de introducir un factor de corrección.

La incorporación de una tercera dimensión con ultrasonido reduce aún más el error, sin pérdida apreciable de velocidad de clasificación, de acuerdo con resultados obtenidos de experiencias preliminares al respecto (Calderón-Estévez, 1984). La secuencia de activación de la cámara y de los derivados de frutos a los receptáculos correspondientes, no ofrece dificultades mayores.

La utilización de un PC de prestaciones medias, placa digitalizadora y de entrada-salida instaladas en la misma computadora, reducen notablemente los costos de implementación.

## REFERENCIAS

- Calderón Estévez, L.** (1984) Sensor Ultrasónico adaptivo de medidas de distancias. Tesis Doctoral Dep. Informática. Universidad Complutense de Madrid.
- Ceres, R.** (1993) *Valuation sensor of agricultural products*. pp. 275-278. Sensor and Actuator b,15-16.
- Gómez Allende, D.M.**(1993) *Reconocimiento de formas y visión artificial*. Ed. Ra-ma, Capítulo 13.
- Imaging Technology (1990a) *ITEX Programmer Manual*.
- Imaging Technology (1990b) *VS100 Users Manual*.
- Imaging Technology (1990c) *VFG Hardware Reference Manual*.
- Kiryati, N. and Kübler, O.**(1995) *Chain code probabilities and optimal length estimators for digitized three-dimensional curves*. Pattern Recognition, Ed. Pergamino, p.361, UK.
- Schalkoff, R.**, (1977). *Digital Image Processing and Computer Vision*. Ed. John Wiley, p.150. Canadá.