

Ayuda al diagnóstico médico de la mamografía mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes

*David Stephen Fernández Mc Cann**

Resumen

El presente artículo ofrece una visión de la contribución del procesamiento digital de la imagen al diagnóstico médico de la mamografía. Se hace énfasis en el procesamiento de la imagen mamográfica digitalizada y de cómo diferentes aspectos son susceptibles de ser mejorados e identificados mediante procesos algorítmicos. Al final, se mencionan los proyectos en desarrollo a este respecto en el departamento de comunicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia.

----- *Palabras clave:* procesamiento digital de imágenes, análisis de mamografía.

Abstract

The present article offers a vision of how the digital processing of the image contributes to the medical diagnosis of mammography. Emphasis is made in the processing of the digital mammography and how different aspects of it are susceptible to improve and even identified by algorithm processes. At the end, the projects that are being executed in the department of communications of the Polytechnic University of Valencia are mentioned.

----- *Keywords:* digital image processing, mammography analysis.

* Profesor del Departamento de Ingeniería Electrónica. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Estudiante de doctorado en la Universidad Politécnica de Valencia. Email:dfernan@udea.edu.co.

1. Introducción

Muchas mujeres mueren anualmente por cáncer en el mundo. Una buena parte de ese grupo muere a causa del cáncer de pecho. Este cáncer es especialmente agresivo cuando se encuentra en su etapa de desarrollo, pero es fácilmente controlable e incluso puede ser erradicado cuando está en sus inicios, esto es, cuando el organismo aún tiene control sobre aquél. Después de experimentar muchas técnicas en el transcurso del desarrollo de la tecnología para el diagnóstico de ese cáncer, se ha demostrado que hasta el momento la mamografía es el mejor medio de detección del mal cuando se encuentra en su etapa temprana. No obstante, debido a la proliferación de esa enfermedad, cada día es mayor la demanda del examen y se realizan, incluso, campañas masivas de prevención; actividad que requiere el despliegue de gran cantidad de recursos técnicos y médicos especializados en la tarea. Esto último es el cuello de botella de la actividad. Los equipos de rayos X necesarios y sus respectivos elementos de funcionamiento son de relativamente fácil consecución, pero encontrar especialistas sobre el tema del diagnóstico de la imagen mamográfica es realmente difícil, y, aun en el caso de encontrarlos, la naturaleza de la imagen mamográfica hace que su diagnóstico no sea fácil, y menos aún si la frecuencia del diagnóstico es alta para el especialista. Con el procesamiento digital de la imagen es posible ofrecer ayuda al diagnóstico de la mamografía, bajo procedimientos que mejoren la imagen y resalten aspectos que pueden ser del interés del especialista, aumentando la eficiencia del proceso, e incluso se puede llegar a crear sistemas totalmente automáticos para el diagnóstico de algunos signos de cáncer. En este artículo se presenta de forma global cómo es posible ayudar al diagnóstico médico del cáncer de pecho mediante el procesamiento de la imagen digitalizada que proviene de la mamografía y se ofrece una visión introductoria del procesamiento digital de la imagen aplicada al diagnóstico médico de la

mamografía. La exposición está orientada hacia estudiantes de pregrado y posgrado y busca motivar futuros trabajos de investigación sobre el tema. Para un estudio más especializado de los temas expuestos se remite al lector a la bibliografía que se encuentra al final del documento.

2. El cáncer de pecho

2.1. Antecedentes

El cáncer de pecho es la segunda causa de muerte por cáncer de la mujer norteamericana y su incidencia continúa creciendo [1]. De igual forma, algunos estudios han mostrado que una de cada diez mujeres canadienses contrae cáncer en su vida y que el cáncer de pecho es la principal causa de muerte para aquellas cuyas edades oscilan entre los 35 y 45 años [2]. Estudios similares en Colombia han corroborado esta tendencia. Para la medicina moderna, la prevención y el diagnóstico temprano es lo más importante desde el punto de vista del tratamiento de posibles enfermedades. En este orden de ideas, la prevención primaria del cáncer de pecho no es posible debido a que su causa es hasta el momento desconocida. No obstante, la detección temprana es la mejor vía para manejar esta epidemia, debido a que los métodos actuales para el tratamiento del cáncer de pecho son muy efectivos si se detecta en esa etapa; esto es, cuando el factor de crecimiento con respecto al de control por parte del organismo que lo hospeda es favorable a este último. Estudios han mostrado el descenso en la incidencia de muerte por cáncer de pecho en las mujeres que se hacen un estudio mamográfico frecuente, debido a la detección temprana que permite el tratamiento efectivo. Por lo anterior, cada día se practican con mayor frecuencia chequeos preventivos, que permiten el diagnóstico temprano de la enfermedad. Se recomienda, como medida de control efectivo, la realización del diagnóstico mamográfico por lo menos una vez por año, en aquellas mujeres cuyas características de susceptibilidad a la enfermedad sean altas.

1.2. Diagnóstico y prevención del cáncer de mama

Debido a las características detectadas en el desarrollo temprano del cáncer de pecho, se ha concluido que el mejor método de detección temprana del mal es la mamografía [3]. Otras técnicas, como la tomografía computacional, la imagen de resonancia magnética, el ultrasonido y la transiluminación han mostrado su importancia en el momento de tratar el cáncer, pero no son eficaces en el momento de detectar el desarrollo temprano. La evidencia de un cáncer de pecho se indica, usualmente, por signos en la mamografía debidos al desarrollo del mal en el tejido. Los principales signos de malignidad en el tejido pueden ser, entre otros: agrupaciones de microcalcificaciones, masas extrañas, distorsiones estructurales, densidades crecientes, asimetrías, ductos dilatados, etc. Debido a que el cáncer de pecho es un fenómeno en expansión, cada día es más frecuente que el análisis mamográfico se efectúe de forma masiva, aplicado a comunidades de alto riesgo. Estas actividades exigen una intensa jornada de trabajo que se hace más pesada si se tiene en cuenta que son pocos los especialistas en el tema y la dificultad para leer correctamente la mamografía debido a las características de la imagen misma.

2. El análisis mamográfico

3.1. El análisis médico

La mamografía es una de las imágenes radiológicas más difíciles de interpretar, debido al bajo contraste existente entre los elementos que se desea localizar y el “fondo” de la misma mamografía. En ella se trata de ubicar anomalías que puedan manifestarse como signos de presencia de cáncer en cualquiera de sus etapas. Los elementos más importantes para localizar son los conglomerados de microcalcificaciones, ya que con ellos se puede anticipar el crecimiento del cáncer en el tejido o se puede poner de manifiesto la presencia de éste sin que hubiera sido detectado de otra manera. Otras anomalías pueden ser detectadas como masas “sospechosas”

o ductos igualmente “sospechosos”. Del análisis mamográfico se desprende el diagnóstico que regularmente conduce a una biopsia para corroborar la sospecha. En procedimientos rutinarios el asunto puede ser bastante difícil, si se tiene en cuenta que la sensibilidad del ojo humano decrece a medida que la labor de identificación se intensifica, como ocurre durante campañas masivas, haciendo que la probabilidad de error se incremente si el número de casos en los que se encuentra el mal es pequeño comparado con el volumen de mamografías por analizar. Esto hace que el análisis mamográfico sea labor de verdaderos expertos radiólogos, que deben estar bajo condiciones relativamente favorables cuando tratan de identificar signos para la detección temprana del mal. Lo anterior posibilita la apertura de nuevas propuestas tecnológicas e investigativas para que el análisis mamográfico sea una tarea más amable y eficaz. Varias de estas propuestas están orientadas al procesamiento digital de la imagen, que mediante procedimientos algorítmicos permiten el mejoramiento de la misma, y avanzan, incluso, hacia la identificación automática de signos que orienten al especialista hacia un diagnóstico fácil y certero del cáncer de pecho.

3.2. La imagen mamográfica

La radiografía ha sido uno de los métodos más empleados para el diagnóstico médico, debido a que permite auscultar el interior del cuerpo sin necesidad de invadirlo. Normalmente se utiliza en aquellas situaciones donde la afección causa trastornos o modificaciones estructurales dentro del organismo.

La mamografía o radiografía del pecho es la exposición del seno a los rayos X, por cualquiera de los ángulos posibles, buscando producir una placa fotográfica expuesta a los rayos resultantes con el ánimo de obtener información del interior del órgano. Quien primero realizó mamografías, con resultados positivos desde el punto de vista del diagnóstico médico, fue el doctor Stafford L. Warren en 1926. Para ello utilizó un equipo convencional de rayos X y placas indus-

triales ordinarias. En 1930 publicó los primeros resultados de sus experiencias, orientadas al diagnóstico, mostrando el amplio beneficio de la técnica. Desde entonces, el análisis mamográfico para el diagnóstico médico de afecciones del pecho, especialmente aquellas relacionadas con el cáncer, se ha utilizado ampliamente.

La mamografía se caracteriza por ser una imagen con muy poco contraste (véase figura 1); esto es, los elementos internos que se desea observar aparecen en la exposición con niveles de luminosidad semejantes a los contenidos en el trasfondo mismo de la imagen. En este sentido, la imagen se presenta medianamente homogénea para quien la observa y se destacan sólo aquellas zonas donde la densidad de tejido es mayor. Es parecido a la imagen de telescopio de una galaxia en medio del espacio, donde los objetos de interés son sistemas planetarios que, a su vez, son de difícil identificación debido a que se confunden con el trasfondo que los contiene.

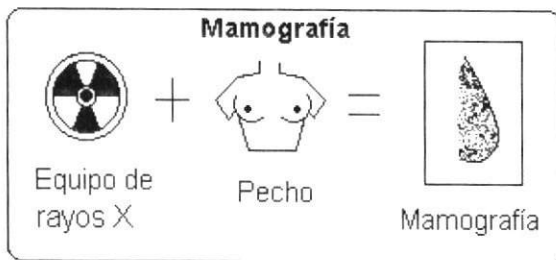


Figura 1 La mamografía o radiografía de la mama

Para el especialista que observa una mamografía son muchos los elementos identificables (véase figura 2). El interés del artículo se centra en aquellos que permitan identificar el desarrollo temprano del cáncer de pecho, y, específicamente, unos cuantos de los existentes, con los que se presentan a modo de ilustración los procedimientos basados en el procesamiento digital de imágenes para la ayuda al diagnóstico. Estos elementos son las microcalcificaciones, las masas y los ductos anormales. Se ha identificado que las microcalcificaciones son el signo temprano del desarrollo de cáncer de pecho, general a todo

tipo de cáncer. Éstas se presentan como granulaciones independientes, con tamaños detectados desde 0,1 hasta 0,2 mm, en agrupaciones cuyas formas interpreta el especialista pero que son de muy difícil análisis, debido a lo confusas que se presentan en la imagen por causa del bajo contraste con el fondo que las contiene. Las masas aparecen como agregados de tejido que, debido a su forma, localización y densidad, pueden ser interpretados como anomalías que son consecuencia de un cáncer. Los ductos pueden presentarse como tejidos de forma alargada, con densidad diferente a la del tejido en el que se encuentran, y pueden interpretarse como signo de anomalías internas. Existen más elementos que pueden tomarse como información para el diagnóstico, pero no es objetivo de este artículo ahondar en éstos ni en los mencionados antes. Se insiste en que el objetivo es ilustrar cómo el procesamiento digital de la imagen puede ser de gran ayuda para el diagnóstico médico, resaltando aspectos que puedan poner de manifiesto anomalías como las antes mencionadas. De aquí en adelante se tomarán como base de ejemplo las microcalcificaciones, las masas y los ductos para el desarrollo del tema.

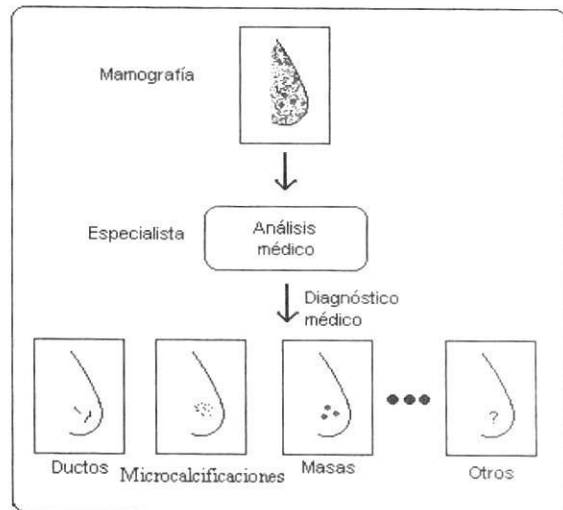


Figura 2 Elementos para identificar en la mamografía por el especialista: alteración de ductos, distribución de microcalcificaciones, localización de masas y otros

4. La imagen mamográfica digitalizada

El error y la duda están ligados con el diagnóstico mamográfico, especialmente si se desea identificar signos tempranos del desarrollo del cáncer. Esto se debe a la característica misma de la imagen mamográfica, la cual presenta bajo contraste entre los elementos que se quiere identificar y el trasfondo que los contiene. Un diagnóstico erróneo a partir de la mamografía puede implicar, como consecuencia de las acciones tomadas, el uso innecesario de recursos debido a las nuevas exposiciones y repetición de procedimientos. La duda con respecto a la calidad de la mamografía para efectuar el diagnóstico implica la realización de nuevas exposiciones que llevan, a su vez, al consumo reiterado de recursos.

Pueden adoptarse varias estrategias para el mejoramiento del contraste de la imagen mamográfica. Una de ellas consiste en adecuar el equipo radiológico a la naturaleza del tejido que se va a exponer, de manera que se resalten los signos de interés. Otra estrategia consiste en el mejoramiento de la imagen mamográfica mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes, aplicado a la identificación de signos específicos. A partir de los recursos físicos y conceptuales para el análisis de una imagen digital, desarrollados en los últimos tiempos, se han logrado amplios progresos en el desarrollo de herramientas algorítmicas que permiten mejorar la imagen digitalizada de la mamografía e, incluso, se han desarrollado sistemas automatizados para la detección de elementos contenidos en la imagen, determinantes para el diagnóstico de una afección. En los apartados posteriores se enfatizará en esta última estrategia. En ellos se expone la manera como se asume el problema del mejoramiento de la imagen mamográfica y cómo pueden identificarse elementos mediante el reconocimiento de formas en la imagen.

4.1. La imagen mamográfica digitalizada

La imagen mamográfica digitalizada (véase figura 3) está compuesta por elementos básicos,

llamados pixel o PEL (picture element), a los cuales se asocia un valor de luminancia cercano al obtenido en la mamografía original.



Figura 3 La mamografía es digitalizada para su procesamiento

Una imagen digitalizada puede verse como una cuadrícula impuesta sobre la imagen original, cuya dimensión mínima depende del grado de resolución del equipo empleado para efectuar la digitalización (véase figura 4). Cada elemento de esta cuadrícula está en correspondencia con el lugar que ocupa y al grado de luz o luminancia que posee. Este grado de luz no se toma exactamente en la digitalización, debido a que el valor asociado está sometido a un rango limitado por efectos de la cuantización empleada. Esto es parecido al efecto de redondeo al que se somete una cantidad numérica en un procesador digital. Por ejemplo, un valor de luminancia de 1,3 podría ser tomado por 1,5 o 1,0 si el sistema de cuantificación tiene resolución de 0,5. Ello, al final, influye en las características de los elementos que se desea identificar y a la efectividad como éstos pueden separarse del resto de la imagen. Una vez

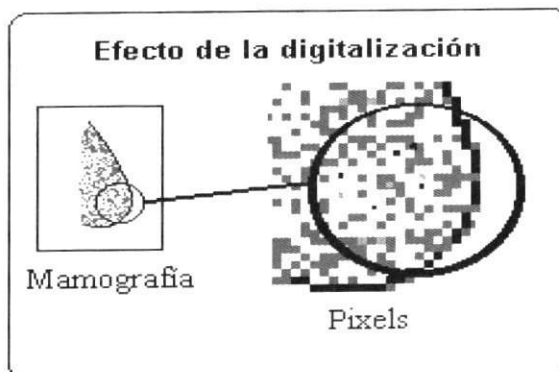


Figura 4 La imagen digitalizada de la mamografía esta compuesta por pixeles que tienen un valor discreto en la intensidad y área digitalizada

se obtiene la imagen digitalizada, se mejora en aspectos como el contraste y se extraen características importantes para el diagnóstico médico, mediante técnicas algorítmicas que operen sobre la luminancia de los píxel o sobre la relación entre áreas de la imagen que tienen aspectos de interés particular [6]. A continuación se menciona la manera como, mediante el procesamiento digital de la imagen, es posible hacer mejoras en ésta o reconocer formas específicas.

4.2. El procesamiento digital de la imagen mamográfica

El tratamiento de la imagen digital cubre muchos aspectos que están en continuo perfeccionamiento. Entre otros, se mencionan los métodos de obtención de la imagen, las técnicas de almacenamiento y modificación de la imagen, la extracción de información, la reproducción de la imagen, la transmisión, etc. Para el procesamiento digital de la mamografía, dos de estos aspectos son dominantes: la modificación de la imagen para su mejoramiento y la extracción de información mediante el análisis de aquélla. Con el mejoramiento de la imagen se pretende adecuar la mamografía digitalizada a alguna necesidad específica. Una de éstas puede ser el aumento del contraste de la imagen o filtrar la imagen bajo patrones predeterminados para realzar características, etc. Mediante el análisis de la imagen es posible realizar tareas como la del reconocimiento de formas que permitan agilizar el proceso de diagnóstico médico, ubicando y señalando objetos particulares contenidos en la imagen.

El principal objetivo del mejoramiento de la imagen mamográfica digitalizada es el de resaltar características específicas para el posterior análisis o exposición. En este proceso la imagen se somete a filtros que permiten aumentar su contraste o resaltar patrones específicos correspondientes a alguna anomalía particular. El proceso puede adecuarse a las necesidades de observación del especialista que pretende hacer un diagnóstico y es de gran importancia en algunos procesos automáticos para el reconocimiento de formas.

El mejoramiento de la imagen se logra mediante la operación sobre los píxel que la forman, bajo parámetros algorítmicos que pueden responder a criterios generales en cada píxel o correlativos a la posición y valor relativo del píxel con sus vecinos. En la figura 5 puede verse cómo se transforma la imagen a) en b) bajo el criterio de suprimir todos aquellos píxel que no son “totalmente negros”. (Para mayor información sobre el mejoramiento de la imagen mamográfica puede verse la bibliografía [5, 14]).

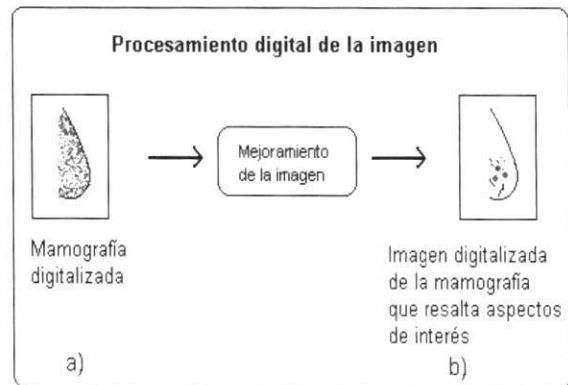


Figura 5 Transformación mediante un algoritmo computacional de la imagen a) en b) bajo el criterio de suprimir todos aquellos píxel que no son “totalmente negros”

Con el reconocimiento de formas se pretende identificar objetos en la imagen que puedan ayudar en la tarea del diagnóstico médico. Esto implica la localización y el aislamiento de los objetos en la imagen y luego clasificarlos mediante técnicas algorítmicas basadas en funciones discriminantes deterministas, estadísticas o heurísticas. El diseño de un sistema para el reconocimiento de formas dentro de la mamografía digitalizada debe contener una serie de procesos que se pueden discriminar en las siguientes etapas: preparatoria, operativa y evaluativa.

La etapa preparatoria es el paso más importante para el reconocimiento de objetos. En ella se cuantifican los objetos que se quiere ubicar de tal forma que mediante procedimientos algorítmicos posteriores sea posible su identificación dentro de un grupo de objetos diferentes.

En el reconocimiento de formas es importante definir con claridad qué objetos se desea identificar. Éstos se pueden llamar las “clases” [4] y forman el universo de trabajo del sistema. Para el caso de las mamografías se podrían tomar, a manera de ejemplo, los objetos en las imágenes que puedan identificarse y que sean interesantes para el diagnóstico, como las masas, las microcalcificaciones y los ductos “sospechosos”. El proceso para determinar los objetos más representativos para ser identificados por el sistema se lleva a cabo por los médicos especialistas que, basados en su amplia experiencia, los indican a los diseñadores de un sistema de reconocimiento de objetos en la imagen mamográfica. En algunos casos se pueden establecer objetos particulares, comunes a una serie de casos fácilmente identificables. En otros, si no lo es en la gran mayoría, los objetos se presentan como tendencias que deben ser finalmente evaluadas por métodos estadísticos o heurísticos.

Una vez identificados claramente las clases u objetos de interés, es necesario pasar a un proceso de caracterización, donde los elementos cualitativos anteriores pasen a ser elementos cuantitativos, susceptibles de ser utilizados en un proceso de reconocimiento automático. Esta caracterización asocia un “vector de características” a cada uno de los objetos o clases que van a ser identificados (véase figura 7). Este es el punto realmente crítico en el diseño de un sistema de reconocimiento automático de formas, debido a que categorías que no corresponden a una caracterización podrían ser fácilmente atribuidas a otras en el proceso de identificación. Debido a esto, después de elegir esos “vectores de características” sigue una etapa de prueba de los mismos, la cual evalúa la capacidad de la caracterización para discriminar las clases y la fiabilidad total de éstas. Las propiedades más importantes de los vectores de caracterización y que deben tenerse en cuenta en el momento de su elección son: [11]

1. Características discriminantes, esto es, valores numéricos diferentes para objetos de distintas clases.

2. Las características deben ser fiables, esto es, con cambios pequeños en los valores de los vectores característicos para objetos de una misma clase.
3. Las características deben estar correlacionadas. Si se añadiesen nuevas características al grupo ya existente, éstas deben ser consistentes con lo ya realizado. Por ejemplo, en el caso de agregar como nuevo objeto, para ser identificado, algún tipo de masa, su vector característico debe ser muy parecido a los establecidos para las masas ya existentes con características semejantes.
4. El cálculo de las características debe demorar un tiempo aceptable. Hay que recordar que el reconocimiento se realizará mediante algoritmos computacionales.
5. Los sensores de obtención de las características deben ser económicos. Para el caso de las mamografías esto se refiere a los equipos de digitalización, como son el escáner o un equipo radiológico digital.

Todo esto debe tener sentido desde el punto de vista algorítmico, puesto que en última instancia el desarrollo se realizará en una computadora. A manera de ejemplo, supóngase que se toman los objetos de la figura 6 y se caracterizan de tal forma que sean fácilmente reproducibles bajo procedimientos computacionales. De igual forma se pueden tomar los objetos e inscribirlos dentro de una cuadrícula de tamaño igual y definido para

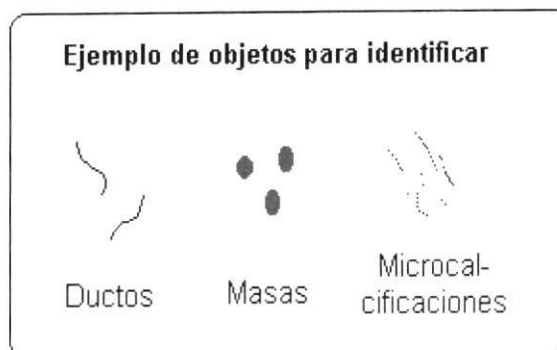


Figura 6 Elementos de imagen para identificar mediante algoritmos

todos, como se muestra en la figura 7, para obtener la caracterización determinista de éstos. Bajo este esquema, puede construirse un vector de características al calcular las proyecciones horizontal (PH) y vertical (PV) del objeto dentro de la cuadrícula, así como la cantidad de píxeles ocupados en la cuadrícula (PO), como puede verse en la misma figura.

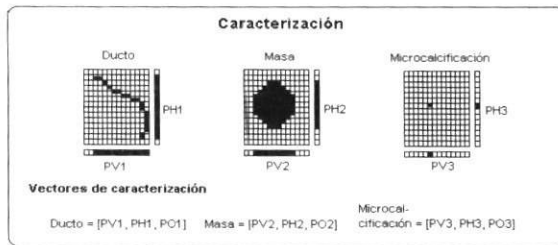


Figura 7 Caracterización de los elementos para identificar en la imagen

Esto constituiría un espacio tridimensional, en el cual los objetos por identificar están contenidos en regiones definidas, y se presenta una lejanía relativa entre una región y otra para asegurar la fiabilidad de un sistema posterior de clasificación. Puede verse que un esquema de caracterización como éste fácilmente puede llevarse a un algoritmo computacional, como objetivo final, ya que cumple las condiciones previamente fijadas.

Una vez diseñado el sistema, donde los objetos para identificar son claros y los vectores de caracterización están definidos, el paso para seguir es implementar un sistema que lleve a cabo la tarea de reconocer objetos en la imagen. Esto puede implicar mejorar la imagen mamográfica, antes de resaltar elementos en ella, para la identificación de objetos y clasificarlos bajo los criterios de los vectores de prueba. Para ello es necesario efectuar los siguientes pasos:

1. Digitalizar la imagen mamográfica.
2. Mejorarla si es del caso.
3. Aislar los objetos que la forman o, lo que es lo mismo, la segmentación de la imagen.

4. Caracterizar cada objeto segmentado.
5. Reconocimiento o clasificación automáticos.

Supóngase que ya se cuenta con la imagen digitalizada y que se ha realizado la operación más simple de mejoramiento de la misma: aumentar el contraste (véase figura 5), y obsérvese cómo pueden desarrollarse los tres elementos que le siguen.

En la etapa de separación de objetos de interés en la imagen, o segmentación, se trata de identificar las clases en la imagen. Usualmente, a esta etapa precede otra para el mejoramiento de la imagen (véase figura 5) o pueden estar incluidas varias etapas de filtrado de la imagen, que permitan resaltar objetos de interés para luego separarlos (véase figura 8). Luego puede implementarse un algoritmo encargado de pasar una máscara con las características del objeto por encontrar, de tal forma que, cuando coincida, se obtenga un valor indicador.

En el cálculo de las características de cada objeto, o clasificación, a cada objeto se le asigna un vector bajo las características de los vectores generados para las clases. Se trata de evaluar los objetos encontrados mediante los parámetros establecidos en la caracterización. Aquí se generan los vectores expuestos en la figura 7 para luego compararlos con los preestablecidos. En este punto, son importantes las estrategias computacionales utilizadas, ya que de ellas depende el tiempo de procesamiento y, en parte, la eficiencia del sistema.

En la etapa de reconocimiento, o clasificación automática, los vectores de características obtenidos a partir de los objetos segmentados se evalúan bajo diferentes técnicas, que determinan la proximidad de uno de estos vectores a los vectores patrón. Para ello se emplean herramientas matemáticas, en la mayoría de los casos de tipo determinista y estadístico, en otros pueden emplearse técnicas heurísticas, basadas en la iteración del especialista con el proceso de reconocimiento. Esto último permite desarrollar sistemas de reconocimiento con aprendizaje.

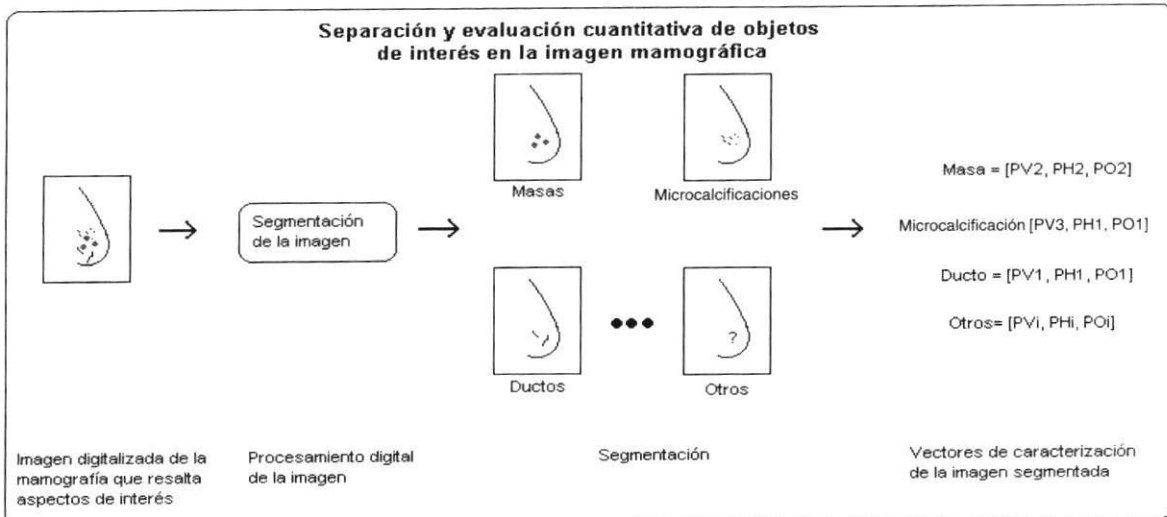


Figura 8 Procesamiento de la imagen digitalizada de la mamografía: separación y evaluación cuantitativa de los objetos para identificar

5. Perspectiva

Como se ha tratado de mostrar hasta el momento, mejorar el proceso de diagnóstico de la imagen mamográfica depende de dos circunstancias: mejorar la imagen de la mamografía y optimizar el proceso de identificación de los elementos que tengan significado para el diagnóstico. En el primer caso, los esfuerzos se podrían centrar en el mejoramiento de la tecnología existente para la realización de la mamografía, de tal forma que permita al médico especialista identificar con mayor certeza y rapidez los signos tempranos del cáncer de pecho. Igualmente, se podrían alcanzar grandes logros mediante nuevas técnicas de procesamiento digital de la imagen mamográfica, orientados a su mejoramiento para el análisis. Actualmente, estas técnicas se están centrando en mejorar digitalmente la imagen mamográfica, con la perspectiva de encontrar un mal específico [5, 9, 14]. En el caso de la identificación de objetos, en la imagen mamográfica digitalizada, son muchas las aproximaciones y amplio el camino para lograr sistemas algorítmicos automatizados en el diagnóstico del cáncer de pecho (Pueden verse algunos ejemplos de éstos en los apartados bibliográficos) [4, 6, 7, 8, 9, 12 y 13]. El proceso de caracterización puede ser implementado mediante nuevas técnicas, al igual que el de segmen-

tación. Para esto sólo es necesario el interés y el trabajo de expertos en el campo del procesamiento de la imagen que, mediante nuevas herramientas teóricas, descubran algoritmos nuevos más eficientes en el descubrimiento de elementos en la imagen. El gran objetivo final será el de crear un sistema automático de bajo costo para la detección del cáncer de pecho, en una mamografía y en la etapa más temprana posible del mal, con alta eficiencia en el diagnóstico y utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes.

En el departamento de comunicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia se han realizado varios trabajos, por el grupo del procesamiento de la señal, con el ánimo de contribuir, mediante el procesamiento digital de la imagen, al diagnóstico médico del cáncer de mama. Para mayor información pueden consultarse los diferentes artículos presentados en eventos y revistas internacionales en la dirección <http://gpiserver.dcom.upv.es>.

6. Conclusiones

Con las herramientas computacionales actuales se pueden desarrollar sistemas de reconocimiento de patrones, basados en procedimientos algorítmicos complejos, cuyo tiempo de desempeño es de utilidad. También, debido al desa-

rollo de equipos de digitalización de imágenes de alta resolución, es posible tener detalle de imágenes que, como la mamografía, contienen objetos supremamente pequeños comparados con el tamaño de la información suministrada por la imagen. Tal es el caso de las microcalcificaciones, que pueden tener valores que van hasta 0,1 mm. Todo lo anterior, unido a los proyectos de investigación orientados a obtener informaciones certeras de forma automática sobre la imagen, tienen como resultado nuevos aportes en diferentes aspectos, como son la ayuda al diagnóstico médico y al diagnóstico de la mamografía.

7. Referencias

1. Boring C.C. *et al.* "Cancer statistics, 1994". In: *CA-A Cancer J. Clinician*. Vol. 44. No. 1. Enero, 1994.
2. Canadian Cancer Society. *Facts on breast cancer*. Abril, 1989.
3. Zuckerman H. C. "The role of mammographic in the diagnosis of breast cancer". In: *Breast cancer, diagnosis and treatment*. I. M. Ariel and J.B. Cleary Eds. New York, McGraw-Hill, 1987. pp. 152-172.
4. Kilday J. *et al.* "Classifying mammographic lesions used computerized image analysis". In: *IEEE Transaction on medical imag*. Vol. 12. No. 4. Diciembre, 1993.
5. Morrow W. M. *et al.* "Region-based contrast enhancement of mammograms". In: *IEEE Transaction on medical imag*, Vol. 11. No. 3. Septiembre, 1992.
6. Li H. D. *et al.* "Markov random field for tumor detection in digital mammography". In: *IEEE Transaction on medical imag*, Vol. 14. No. 3. Septiembre de 1995.
7. Karssemeijer N. "Stochastic model for automated detection of calcifications in digital mammograms". In: *Imagin and vision computing*. Vol. 10. No. 6. Julio-agosto, 1992.
8. Sabine J. D. and Desaga J. "Segmentation of microcalcifications in mammograms". In: *IEEE Transaction on medical imag*. Vol. 12. No. 4. Diciembre, 1993.
9. Shen L. *et al.* "Application of shape analysis to mammographic calcifications". In: *IEEE Transaction on medical imag*. Vol. 13. No. 2. Junio, 1994.
10. Bassett L. W. "Mammographic analysis of calcifications". In: *Radiological clinics of North America*. Vol. 30. No. 1. Enero, 1992.
11. Maravall Gómez, D. *Reconocimiento de formas y vision artificial*, Addison Wesley Iberoamericana, 1994.
12. Brzakovic Luo, X. M. and Brzakovic, P. "An approach to automated detection of tumors in mammograms". In: *IEEE Transaction on medical imag*. Vol. 9. No. 3. Septiembre, 1990.
13. Lai, S. M. and Li, X. "On techniques for detecting circumscribed masses in mammograms". In: *IEEE Transaction on medical imag*. Vol. 8. No. 4. Diciembre, 1989.
14. Petrick N. *et al.* "An adaptative density-weighted contrast enhancement filter for mammographic breast mass detection". In: *IEEE Transaction on medical imag*. Vol. 15. No. 1. Febrero, 1996.