IV CAPÍTULO

Aplicación: SEGMENTACIÓN DE QUEMADURAS

4.1. Introducción

El objetivo de este trabajo es ayudar a los médicos no expertos en el diagnóstico del grado de las quemaduras. Como ya se ha comentado anteriormente, este estudio es la continuación de la tesis doctoral [Acha, 2002], se trata de seguir las líneas futuras de investigación planteadas en dicha tesis. En [Acha, 2002] se trabajaba con un sistema que, a través de una fotografía digital, trata de segmentar la quemadura y, una vez realizado este paso, clasifica la parte segmentada en un determinado grado: 2º grado superficial, 2º grado profundo o 3er grado. Dependiendo de la severidad de la quemadura (aumenta con el grado) hay que aplicar un tratamiento u otro al paciente.

La segmentación y clasificación de las quemaduras se implementan con algoritmos que se basan en las características de color y textura que puedan extraerse de las fotografías de la piel, es decir, imitan la forma de diagnosticar de los médicos.

La parte de clasificación no se trata en este estudio, sólo se trata de mejorar los algoritmos de segmentación, mejorando las técnicas ya aplicadas o bien introduciendo algunas nuevas.

El protocolo para la toma de fotografías por parte de los médicos se definió en [Acha, 2002], en este estudio se hace referencia al mismo.

Se presentarán el estado de los trabajos de investigación existentes relacionados con la segmentación de imágenes en color. Se hace un repaso de los estudios y artículos más recientes.

Por tanto en este capítulo se describe el problema que se acaba de presentar.

4.2. Estado del Arte. Antecedentes y estado actual del tema.

Para una evolución adecuada de una quemadura es fundamental el primer tratamiento o tratamiento de choque a aplicar [Franco, 1985]. Para llevarlo a cabo es necesario conocer el grado o profundidad de la quemadura, así como el porcentaje de superficie corporal quemada. El diagnóstico del grado es difícil de dar cuando el médico no es un experto en la materia, ya que requiere mucha experiencia, difícilmente adquirible si no se trabaja en una Unidad de Quemados [Pruit, 1980].

La Organización Mundial de la Salud (OMS) exige que al menos exista una cama en una Unidad de Quemados por cada 500.000 habitantes. Sin embargo esta cifra no se cumple en muchas ocasiones, por ejemplo la Unidad de Quemados se encuentra en el Hospital Universitario Virgen del Rocío de Sevilla y cubre a toda Andalucía, Badajoz y las islas Canarias. Cuando aparece un paciente quemado en cualquier centro hospitalario sin unidad especializada, se establece una comunicación telefónica con la Unidad de Quemados de Sevilla, y se realiza una descripción subjetiva por parte del no especialista de la forma, colores y otros aspectos de la quemadura que considere importantes para su caracterización. En muchos casos esta descripción lleva al diagnóstico erróneo de la quemadura. El resultado es la aplicación de un primer tratamiento (fundamental, por otra parte, para una correcta evolución de la quemadura) inadecuado, o la realización de desplazamientos innecesarios, con el consiguiente gasto sanitario y trauma psicológico para el paciente y familiares [Hammond, 1987] [Laing, 1991] [Acha, 2002].

El procesamiento de imágenes tiene ciertas ventajas cuando se aplica al diagnóstico de heridas y lesiones de piel: las técnicas de procesamiento de imagen son objetivas y reproducibles. El tratamiento de imágenes en color tiene un potencial considerable, puesto que el análisis y la comparación de imágenes en color es una tarea que los humanos encuentran particularmente difícil, y se adquiere únicamente con una amplia experiencia. Sin embargo, el procesamiento de imágenes en color es un campo muy poco explorado.

4.3. Artículos de Segmentación

En los siguientes apartados se hace un resumen de los artículos publicados recientemente en lo referente a la segmentación de imágenes en color. La referencia a la segmentación de quemaduras es muy escasa, esto es debido a lo poco explorado que se encuentra el tema.

4.3.1. "A novel multiresolution color image segmentation technique and its application to dermatoscopic image segmentation", [J. Gao, 2000]

En este trabajo se describe una nueva técnica para la segmentación de imágenes en color. Esta técnica consta de tres partes: una transformación al espacio de color; una segmentación MRF-EM (Markov Random Field-Expectation Maximization); y la implementación de multirresolución denominada "banda-estrecha". La transformación en el espacio de color, de *RGB* a $L\,u^*v^*$, contribuye a la obtención de un resultado de la segmentación razonablemente perceptible. El algoritmo MRF-EM permite una segmentación no supervisada y fuerza el suavizado a las regiones. La "banda-estrecha", la implementación de multirresolución, conlleva buena resolución de procesamiento a una pequeña fracción de la imagen, por tanto se obtiene una significativa aceleración sobre los esquemas de multirresolución tradicionales. Resultados experimentales en imágenes microscópicas de dermatología demuestran la eficacia de la técnica propuesta.

4.3.2. "Segmentation and classification of burn color images", [Acha, 2001]

En este artículo se presenta un algoritmo que trata de separar la piel quemada de la piel sana en imágenes a color de quemados y las clasifica de acuerdo con la profundidad de la quemadura. El proceso de segmentación consiste en un elaborado tratamiento de la representación a color, seguido de un algoritmo de segmentación en la escala de grises basado en la creación de una estructura de árbol para la descripción de la imagen. Este algoritmo propuesto se desarrolla para ser aplicado a imágenes de heridas en la piel, pero funciona correctamente como un método de segmentación general. En la parte de clasificación, se toma ventaja de la información de color obtenida realizando clusters, mediante un algoritmo de cuantización, de los centroides de los pequeños cubos, tomados de la parte de la imagen quemada y segmentada, en el plano (V_1, V_2) en dos posibles grupos, donde V_1 y V_2 son los dos componentes de la crominancia en la representación de CIE Lab.

4.3.3. "A novel skin color model in YCBCR color space and its application to human face detection", [Phung, 2002]

Los colores de la piel son modelados mediante tres agrupaciones (*clusters*) con forma gaussiana, cada uno de los cuales está caracterizado por un centroide y una matriz de covarianza. Los centroides y las matrices de covarianza son obtenidas de un gran número de ejemplos después de un proceso de formar agrupaciones mediante *K-means*. Los píxeles en una imagen de color de entrada pueden ser clasificados como pertenecientes a la piel o no, basándose para ello en las distancias Mahalanobis a los tres clusters. Operaciones de post-procesamiento, tales como eliminación de ruido, criterio de forma, ajuste a la curva elíptica y clasificación de perteneciente a la cara o no, son propuestas para mejorar los resultados de la segmentación piel con el propósito de la detección de caras.

4.3.4. "Unsupervised color image segmentation", [Rujie, 2002]

Conociendo la importancia de la segmentación de la imagen en color en numerosos campos, tales como el realce de la imagen, el reconocimiento de objetos, etc, este trabajo presenta un nuevo método para la segmentación no supervisada de imágenes en color. Consta de dos pasos: el primero de ellos los coeficientes de alta frecuencia son usados para dividir toda la imagen en "objetos de interés" perceptibles y fondo de la imagen. El segundo paso aplica el criterio de "buena segmentación" de Deng a las áreas de los objetos extraídos para obtener el contorno de los objetos. Este método es automático en el sentido de que no necesita ningún tipo de interacción. La eficiencia se ha demostrado mediante resultados experimentales.

4.3.5. "Unsupervised multiresolution image segmentation based on color moments", [Qiang, 2002]

Este trabajo describe un nuevo algoritmo diseñado para separar un objeto de interés del fondo de la imagen. De acuerdo con el sistema visual humano, el algoritmo en primer lugar busca los bloques salientes en el dominio global de la imagen. La clasificación dependiendo del contexto de estos bloques se realiza mediante una aproximación multiescala basada en los momentos de color. El algoritmo es completamente automático, todos los parámetros son independientes de la imagen. Al contrario que otras aproximaciones basadas en el color que usan métodos de optimización global, este algoritmo realiza un proceso de multirresolución que obtiene mejores resultados en segmentación y a una velocidad mayor.

4.3.6. "Adapatative skin segmentation in color images", [Phung, 2003]

La técnica propuesta usa un modelo de color para imágenes de piel humana que está basado en la teoría de decisión de Bayes y está desarrollado sobre un gran número de imágenes en color de pruebas de piel y de no piel. La técnica que se propone es nueva y única en el sentido de que las características de textura de la piel humana son usadas para seleccionar los umbrales apropiados para la segmentación de la piel. También se proponen dos medidas de homogeneidad para las regiones de piel que consideran tanto las características globales como locales de la imagen. Resultados experimentales demuestran que la técnica propuesta obtiene una buena segmentación de la piel.

4.3.7. "Skin segmentation using color and edge information", [Phung, 2003]

En este trabajo se detectan en primer lugar las diferentes regiones en la piel usando un modelo Bayesiano para el color de la piel humana. Estas regiones serán segmentadas en regiones de piel candidatas que satisfagan la propiedad de homogeneidad de la piel humana. Resultados experimentales muestran que el algoritmo de segmentación propuesto reduce la detección falsa causada por píxeles del fondo de la imagen que tengan colores de piel, y aún más significativo es que es capaz de separar regiones de verdadera piel de aquellas regiones que erróneamente fueron detectadas.

4.3.8. "An efficient color compensation scheme for skin color segmentation" [Wong, 2003]

El color de la piel es un medio muy útil para ser utilizado en la detección de caras humanas. En este artículo, se propone un eficiente método de compensación del color para la segmentación de imágenes de color de la piel bajo variaciones de las condiciones de iluminación. Uno de los mayores problemas del uso de los colores de la piel es que alguna región de la cara puede no ser detectada bajo pobres condiciones de luz. Esta aproximación considera la distribución de las componentes de color de los píxeles de la piel y la respuesta al color de máquinas capturadoras bajo diferentes iluminaciones. Resultados experimentales muestran que este algoritmo puede mejorar la segmentación de caras bajo pobres o fuertes condiciones de iluminación.

4.3.9. "Color image segmentation usin density-based clustering", [Ye, 2003]

Se propone en este trabajo un método para la segmentación de imágenes en color que se basa en la integración de la conectividad espacial y la característica de color de los píxeles. Considerando que una imagen puede ser vista como un conjunto de datos en el que cada píxel tiene una localización espacial y un valor de color, la segmentación de la imagen de color puede ser obtenida formando agrupaciones de estos píxeles en diferentes grupos que guarden coherencia con la conectividad espacial y el color. Para descubrir la conexión espacial de los píxeles se emplean agrupaciones basadas en la densidad. La similitud de los colores de los píxeles se mide en el espacio de color Munselt (HVC), en éste la uniformidad de percepción asegura que el cambio de color en las regiones segmentadas es suave en términos de percepción humana. Resultados experimentales utilizando el método presentado demuestran su eficacia.

4.3.10. "Multi-band segmentation using morphological clustering and fusion—Application to color image segmentation", [Xue, 2003]

Se propone una nueva aproximación para la segmentación de la imagen en color. Esta aproximación está basada en la segmentación de diferentes subconjuntos de bandas usando morfología matemática seguida de la fusión de los "canales" de segmentación resultantes. Para imágenes de color los subconjuntos de bandas elegidos son los pares *RG*, *RB* y *GB*, cuyos histogramas en dos dimensiones son procesados como proyecciones de histogramas de tres dimensiones. La segmentación en dos dimensiones en el espacio de color es obtenida usando el algoritmo de *Watershed*. Estas segmentaciones en dos dimensiones son entonces combinadas para obtener un resultado final usando proceso de *Split-and-merge*. El espacio de color $L^*a^*b^*$ de CIE es usado como medida de color de distancia. Esta aproximación obtiene una gran mejora y puede ser generalizada a la segmentación multibanda de imágenes multiespectrales tomadas desde satélite.

4.3.11. "A quick and coarse color image segmentation", [Lambert, 2003]

Este trabajo se centra en el problema de la segmentación de la imagen usando la clasificación del color. Se presenta un robusto algoritmo que realiza aglomeración de agrupaciones basándose en un criterio de validez de la agrupación derivado de las particiones fuzzy. El resultado es una segmentación simplificada que tiene un menor número de regiones grandes. La gran ventaja de este algoritmo es que tan sólo necesita un solo parámetro y que la complejidad computacional es muy baja.

4.3.12. "Natural color image segmentation", [Jie, Peng-fei, 2003]

En este estudio se propone un método que realiza en primer lugar la detección de los bordes en la imagen en escala de grises. El método de *K-means* se utiliza para etiquetar las largas líneas de bordes basándose en la información global del color para estimar a groso modo la distribución de los objetos en la imagen, mientras que las líneas cortas emergen basándose en sus posiciones y en las diferencias de color locales para eliminar el efecto negativo causado por la textura u otras características triviales de la imagen. La técnica del crecimiento de regiones se emplea para obtener el resultado final de la segmentación. El método propuesto unifica los bordes, tanto las distribuciones de color globales como locales, así como la información espacial para resolver el problema de la segmentación de imágenes de color natural. La viabilidad y efectividad del este método ha sido demostrada en varios experimentos.

4.3.13. "Segmentation on color images based on watershed algorithm", [Yen, 2004]

Este artículo presenta un esquema para la segmentación de imágenes en color que resuelve el problema de la sobresegmentación. En el espacio de color HSI se adopta un orden léxicográfico, de tal manera que se pueden realizar directamente operaciones morfológicas sobre la imagen en color. Una imagen registro es definida usando tanto la información de crominancia como la de intensidad de la imagen. Junto con la imagen gradiente multiescala y la imagen registro, la segmentación mediante "watershed" asegura la partición de la imagen en objetos con significado y evita más segmentaciones de las regiones homogéneas. Los resultados del algoritmo propuesto se han comparado con aquellos obtenidos mediante otros métodos estándares. Experimentos preliminares muestran que se llega a un mejor resultado y que queda resuelto el problema de la sobresegmentación.

4.4. Caracterización de una quemadura

La estimación de la profundidad de una quemadura tiene una gran importancia para la futura evolución del paciente. Inicialmente suele ser muy difícil determinar la profundidad de una quemadura, excepto en las que claramente son muy superficiales o muy profundas.

Se pueden distinguir cuatro grados de quemaduras:

1. *Quemadura de 1er grado*. Sólo afecta a la epidermis y es producida por agentes de poca intensidad calorífica. La piel presenta un aspecto ligeramente enrojecido y doloroso, pudiendo ir acompañado de un discreto edema, pero sin vesículas. Su representante más característico es el eritema solar.
2. *Quemadura de 2º grado superficial*. Cuando está destruida la epidermis y parte de la dermis, sin afectación del estrato germinativo de la piel, con lo que la cicatrización espontánea puede llevarse a cabo si recibe un adecuado tratamiento. Son producidas generalmente por líquidos calientes. Presentan un aspecto húmedo, con vesículas (ampollas) y edema importante. Son dolorosas.
3. *Quemadura de 2º grado profundo*. Cuando la destrucción ha alcanzado la capa germinativa, pero respetando los folículos pilosos y las glándulas sudoríparas y sebáceas, a partir de las cuales se efectuará la regeneración de la piel, aunque de forma tan lenta que propicia la aparición de cicatrices hipertróficas de más o menos cuantía. Presentan un aspecto blanco rosado, menos vesículas, con algunas zonas moteadas de colores diferentes entre las que pueden hallarse algunas más pálidas.
4. *Quemadura de 3er grado*. Está destruido todo el espesor de la piel y la epidermización sólo puede conseguirse a partir de los bordes o por la aplicación de injertos. Generalmente están producidas por llama, electricidad o agentes químicos. Su aspecto es blanquecino o marmóreo, o bien de color marrón. Son insensibles, duras y con poco edema al no poderse distender los tejidos profundos. No son dolorosas y los vellos presentes en la zona pueden ser arrancados con facilidad.

En este trabajo no se tratan las quemaduras de primer grado por ser éstas fácilmente identificables. Por tanto nos restarían quemaduras de tres clases diferentes para detectar (2º grado superficial, 2º grado profundo y 3º grado). Sin embargo, se pueden distinguir cinco apariencias o aspectos diferentes:

- *Vesículas o ampollas*. Son quemaduras de 2º grado superficial con una textura brillante y un color rosa-marrón.
- *Rojo brillante*. Son quemaduras de 2º grado superficial con colores rojos brillantes y aspecto húmedo.
- *Blanco-rosado*. Son quemaduras de 2º grado profundo, que presentan muchas veces un aspecto moteado.
- *Blanco-amarillento*. El primero de los aspectos que presenta el 3er grado es blanquecino-amarillento, de color pergamino.
- *Marrón*. El segundo de los aspectos del 3er grado es marrón oscuro (piel quemada).

En la figura **IV-1** se muestran ejemplos de estos cinco aspectos:

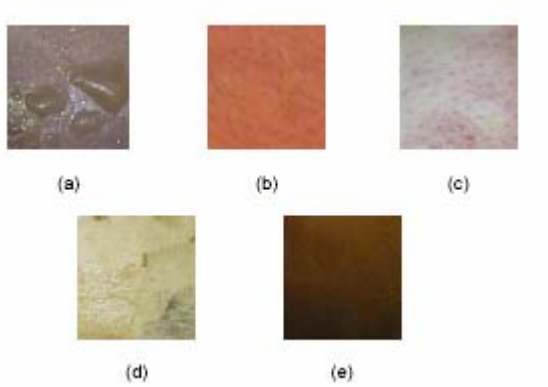

Figura IV-1 Aspectos que puede presentar una quemadura, (a) 2º grado superficial (vesículas), (b) 2º grado superficial (rojo), (c) 2º grado profundo (blanco-rosado), (d) 3er grado (blanco), (e) 3er grado (marrón).

4.5. Planteamiento del problema y presentación de la solución

Este trabajo se centra en la investigación sobre imágenes en color de quemaduras. Con ello se buscan soluciones que permitan la asistencia rápida a los enfermos quemados, con independencia del lugar del accidente. Esta idea surge ante la necesidad de una solución alternativa al traslado del paciente desde el Centro de asistencia primaria a la Unidad de Quemados, o a la instalación *in situ* de una Unidad de Quemados y gracia a la existencia de tecnologías disponibles para solucionar el problema con un sistema permisible técnica y socio-sanitariamente.

El objetivo de la tesis doctoral [Acha, 2002], y como extensión este trabajo, es generar un sistema que trata de ayudar al médico no especialista realizando un diagnóstico que determine el grado de la quemadura para fijar el primer tratamiento a través de una imagen.

Como objetivos secundarios caben señalar: el desarrollo de un sistema de aprendizaje mediante una base de datos compuesta por imágenes acompañadas del análisis médico de la herida, así como la posibilidad de almacenar, junto con la historia clínica, las imágenes de quemaduras. Esto facilita el empleo de dichas imágenes durante las sesiones clínicas.

La metodología seguida es la siguiente:

- Se deben determinar las necesidades clínicas y en base a ellas se fijarán los requerimientos técnicos necesarios que las cubran.
- Adquisición de las imágenes para el diagnóstico del grado de la quemadura. Para ello se establece un protocolo para la adquisición de las mismas, [Acha, 2002].
- Una vez adquirida la imagen se procesa para obtener la información que se requiera.

Esta metodología fue planteada en [Acha, 2002], tanto la determinación de las necesidades clínicas, así como el protocolo de adquisición de datos fueron definidas. El procesamiento de la imagen que se realiza aparece definido en el siguiente capítulo, Capítulo 5. En él se presentan los algoritmos aplicados, los resultados obtenidos y las conclusiones obtenidas de los mismos.

4.6. Resumen

En los últimos años ha habido un aumento en la investigación sobre el diagnóstico automático de enfermedades dermatológicas. A partir de una imagen digital, y aplicando algoritmos del tratamiento digital de imágenes, se proporciona un diagnóstico automático de la afección de la piel que se esté tratando. En general, se podría decir que la investigación realizada hasta ahora se limita casi exclusivamente a dos aplicaciones: el seguimiento de la cicatrización de heridas o úlceras, y el diagnóstico de lesiones en la pigmentación de la piel, tales como los melanomas.

Este trabajo parte de la tesis doctoral [Acha, 2002] en ella se plantea una aplicación nueva: el diagnóstico por computador del grado de una quemadura. En este proyecto se trata de estudiar y mejorar algunos algoritmos de segmentación presentados en dicha tesis, así como incluir algunos nuevos.

La primera parte de este capítulo resume los trabajos más importantes realizados en el tratamiento digital de imágenes en color en los últimos años. La segunda estudia la caracterización del grado de una quemadura. Y la tercera trata del planteamiento del problema.

Debido al elevado coste de una Unidad de Quemados, los especialistas que se encuentran en ella tienen que cubrir un amplio territorio geográfico a distancia. Por tanto sería deseable una herramienta en los centros sin Unidades de Quemados que ayudasen al médico no experto en el diagnóstico y, por tanto, en el establecimiento del primer tratamiento, fundamental para una evolución satisfactoria de la quemadura. Para crear este sistema de diagnóstico por computador el primer paso consiste en el establecimiento de los protocolos para la adquisición de la imagen con las condiciones técnicas y clínicas adecuadas. Dichos protocolos fueron planteados en [Acha, 2002].

En el siguiente capítulo se trata de la descripción de los algoritmos de segmentación para la aplicación a la detección de quemaduras.