

# V CAPÍTULO

# ALGORITMOS DE SEGMENTACIÓN

## 5.1. Introducción

Como ya se comentó en el capítulo I de introducción, el objetivo de este trabajo es la ampliación y mejora de los algoritmos de segmentación presentados en la tesis doctoral [Acha, 2002]. Este capítulo trata de la descripción de los algoritmos de segmentación para la aplicación a la detección de quemaduras desarrollados en dicha tesis doctoral, explicando la ampliación o mejora que se introduce en dicho algoritmo. Algunas de las ampliaciones introducidas ya fueron formuladas como líneas de investigación futuras en [Acha, 2002], otras sin embargo, aunque no aparecían se ha creído muy conveniente su aplicación.

## 5.2. Sistema selectivo de segmentación

El objetivo de la segmentación es la separación de la piel quemada con respecto a la piel sana en una fotografía digital tomada de un paciente según un protocolo determinado. Las principales características que manejan los médicos especialistas para diferenciar la quemadura de la piel sana son el color y la textura. Esta última es difícil de modelar como un patrón concreto, ya que no presenta siempre la misma forma, sino que más bien es la experiencia humana la responsable de saber qué parte es quemadura y qué parte es piel sana. En cuanto al color, si bien es un indicativo claro del grado de la quemadura, no es buen diferenciador de la piel sana y la quemada si se trata en términos absolutos, en el sentido de que existe una gran variabilidad en los tonos de piel sana entre la población. Esto hace que se solapen los valores de prominencia entre sí.

Debido a este solape, en un principio se pensó que la única manera de atajar el problema es mediante un *sistema selectivo*, es decir, el usuario indica mediante el ratón o por comando el color que quiere segmentar. El programa hallará alguna medida (por ejemplo, la media) o directamente tomará el color que se le pase por comando y, aplicando distintas técnicas que a continuación se explicarán, segmentará todo aquello en la imagen que tenga el mismo color o que se encuentre en una banda determinada alrededor de dicho color.

Una de las ampliaciones que se introducen en este trabajo es la segmentación de una imagen pasando una semilla, media de un banco de recortes. En lugar de que el usuario indique el color que quiere segmentar haciendo un recorte de la quemadura, lo que se hace en este caso es, dependiendo del grado de la quemadura; 2º grado superficial, 2º grado profundo, ampollas, 3º grado blanco o 3º grado marrón, se le pasa al algoritmo la media del banco de recortes de cincuenta imágenes de cada tipo. Dicha valor medio del banco de recortes hará el papel de recorte y será el color que se desea segmentar.

### 5.3. Esquema general de los algoritmos de segmentación

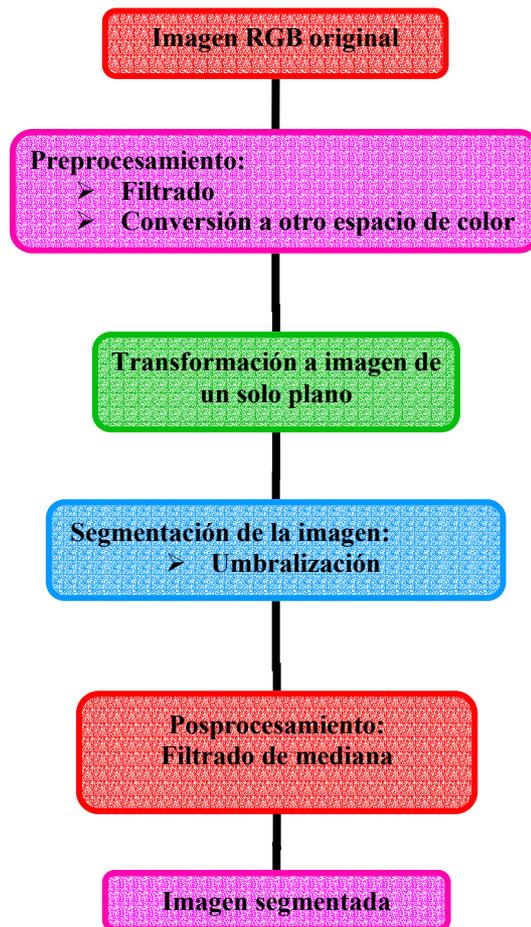


Figura V-1 Esquema general de los algoritmos de segmentación

En la *Figura V-1* se muestra el diagrama de flujo general de los algoritmos de segmentación. Consta de cuatro pasos:

- ♦ Preprocesamiento de la imagen: preparación de la imagen para facilitar la segmentación posterior. Según el algoritmo en cuestión se procederá a una conversión a otro espacio de color, filtrado de difusión, etc.

- ♦ El segundo paso convierte el resultado del preprocesamiento a una imagen de un solo plano mediante algún tipo de transformación. La elección de una función u otra será lo que defina al algoritmo de segmentación. En general, dichas funciones realizarán alguna transformación sobre la información de color y/o luminancia de la imagen de acuerdo a la zona que se quiera segmentar. La transformación se realiza en base a determinada información sobre la región a segmentar introducida por el usuario mediante un recorte o por teclado.
- ♦ Se aplica algún algoritmo de segmentación clásico sobre la imagen de un solo plano como es la umbralización.
- ♦ Finalmente, mediante un filtrado paso bajo (filtrado de mediana) se homogeniza la segmentación.

#### 5.4. Preprocesamiento de la imagen

Consta de dos pasos:

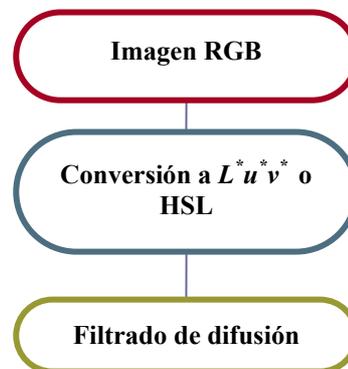


Figura V-2 Pasos del preprocesamiento

##### 5.4.1. Conversión de RGB a crominancia y luminosidad

Generalmente los algoritmos de segmentación de color tratan la información de la imagen como una señal de tres planos. Sin embargo de acuerdo con el sistema visual humano, la información de color podría dividirse en dos componentes, el canal con la información cromática, y el canal con la información acromática. Expresando la imagen en función del tono, la saturación y la luminosidad, los dos primeros generarían la componente cromática, y la última la componente acromática.

En el Capítulo 3 se propuso una notación conjunta del tono y la saturación a través de la utilización de fasores, que define una función compleja denominada *cromaticidad compleja*, donde el tono es la fase y la saturación, la magnitud. De esta forma se tiene en cuenta la relación física existente entre el tono y la saturación: los cambios en el tono son irrelevantes a saturaciones bajas e importantes a valores altos de saturación.

El procedimiento a seguir consiste en partir de una imagen en formato *RGB* y convertirla a un espacio de color uniforme desde el punto de vista de la percepción humana. En dicho espacio las medidas de distancias proporcionan las diferencias entre colores tal y como el sistema visual humano las percibe. El espacio de color uniforme elegido es el CIE  $L^*u^*v^*$ , sistema de una amplia utilización en problemas de segmentación de imágenes en color.

Las ecuaciones que transforman el sistema de representación  $RGB$  en el  $L^*u^*v^*$ , a partir de éste, el tono y la saturación, se expusieron en el Capítulo 2 (apartado 2.3.6.). A partir del tono ( $H$ ) y la saturación ( $S$ ) se obtiene la *chrominancia compleja*

$$k(x, y) = S(x, y)e^{jH(x, y)} \tag{Ecuación V-1}$$

- $(x, y)$  representan las coordenadas de la imagen

La componente acromática coincide con el parámetro de luminosidad ( $L^*$ ) del espacio  $L^*u^*v^*$ .

### 5.4.2. Filtrado de difusión

Como se mencionó en el capítulo anterior, la difusión anisótropa es una técnica no lineal que presenta una ventaja muy importante de cara a la segmentación: *el suavizado de la imagen es selectivo*, siendo acusado en las zonas homogéneas e inhibido en las fronteras. De esta forma se puede eliminar el ruido y los detalles irrelevantes de la imagen, mientras que se mantiene la información de los bordes.

El filtrado de difusión se ha aplicado a dos espacios de color distintos según el método de segmentación escogido:  $RGB$  o  $HSL^*$ . Para este último, se ha seguido una notación compleja para la información cromática (tono y saturación).

#### 5.4.2.1. Difusión aplicada a las coordenadas RGB

En este caso se aplica la difusión anisótropa anteriormente explicada en capítulo 3, a cada componente de color del espacio  $RGB$  por separado. Una vez difundida cada una de ellas, se vuelven a unir para formar la imagen en color difusa.

#### 5.4.2.2. Difusión aplicada a las componentes cromática ( $k$ ) y acromática ( $L^*$ )

En este caso, la difusión anisótropa se aplica, por un lado, a la componente de luminosidad y, por otro, a la *chrominancia compleja*.

La difusión anisótropa aplicada a la *chrominancia compleja* se define como

$$\frac{\partial}{\partial t} k(x, y, t) = \text{div}(c(x, y)\nabla k(x, y, t)) \tag{Ecuación V-2}$$

- $\text{div}$  representa el operador divergencia.
- $\nabla$  es el operador gradiente.
- $c(x, y, t) = f(|\nabla k(x, y, t)|)$  es el coeficiente de difusividad.
- $t$  es el nivel de resolución o escala.

$$c(x, y, t) = \frac{1}{1 + \left(\frac{|\nabla k(x, y, t)|}{\gamma}\right)^2} \tag{Ecuación V-3}$$

- $\gamma$  es un valor umbral

Este coeficiente favorece las regiones grandes frente a las pequeñas.

$$\nabla k(x, y, t) = (\nabla S(x, y, t) + jS\nabla H(x, y, t))\exp(jH(x, y, t)) \tag{Ecuación V-4}$$

$$|\nabla k(x, y, t)| = \sqrt{|\nabla S(x, y, t)|^2 + S^2(x, y, t)|\nabla H(x, y, t)|^2} \tag{Ecuación V-5}$$

En la magnitud del gradiente cromático las variaciones en el tono quedan ponderadas por el nivel de saturación del color, teniendo en cuenta así el hecho de que el tono es menos importante para saturaciones pequeñas.

El gradiente cromático es muy dependiente de la constante  $\gamma$ . Esta constante de difusión se ha escogido para que varíe dinámicamente a lo largo del proceso de difusión. Para enfatizar el suavizado en zonas homogéneas se elige  $c \approx 1$ , y para evitar el suavizado en los bordes se escoge  $c \approx 0$ . Así, se ha determinado  $\gamma$  como el 5% del valor máximo de  $|\nabla k(x, y, t)|$  en cada iteración.

Para la implementación numérica de la Ecuación V-5 se ha seguido el esquema de discretización propuesto en [Perona, 1989].

Para la luminancia se sigue un procedimiento análogo. Se utilizan las mismas Ecuación V-2 y V-3 y se sustituye  $k(x, y)$  por  $L^*(x, y)$ .

### 5.5. Transformaciones de la imagen

Para la segmentación satisfactoria de una imagen es muy importante utilizar un sistema de representación adecuado que consiga los mejores resultados posibles. Se han estudiado los espacios de color  $L^*u^*v^*$  y  $HSL^*$  y, a su vez, éstos han sido transformados según ciertas funciones. El esquema seguido se muestra en la siguiente figura



#### 5.5.1. Conversión a imagen de un solo plano a partir del tono y la saturación utilizando las distribuciones de Von Mises y Gauss

Se basa en la descripción del color en términos del tono ( $H$ ) y la saturación ( $S$ ). Éstos son aptos para describir la naturaleza de un color tal y como lo hace el sistema visual humano. A partir de las coordenadas  $H$  y  $S$  se quiere encontrar una función que las relacione, de modo que se reduzcan a un solo valor.

Para ello, el tono será transformado mediante la expresión de una *distribución de Von Mises*. Este tipo de distribución está pensada para datos angulares, y por tanto tiene en cuenta la periodicidad de éstos (periodicidad de  $2\pi$ ). En la saturación no se ha empleado una *distribución de Von Mises* para seleccionar el rango adecuado porque ahora no se tienen valores angulares. Éstos varían en escala lineal, con lo que conviene utilizar una función suave pero no periódica. Por ello, se ha escogido una gaussiana.

La expresión de una distribución de Von Mises es [Nikolaidis, 1998]

$$g(\theta; \mu_0, k) = \frac{1}{2\pi I_0(k)} \exp(k \cdot \cos(\theta - \mu_0)) \rightarrow 0 \leq \theta \leq 2\pi, 0 \leq \mu_0 \leq 2\pi$$

**Ecuación V-6**

$I_0(k)$  es la función de Bessel modificada de primera especie y de orden cero y su expresión

$$I_0(k) = \sum_{x=0}^{\infty} \frac{k^{2x}}{2^{2x} (x!)^2} \quad \text{Ecuación V-7}$$

El parámetro  $\mu_0$  es la *dirección media* y  $k$  es el llamado *parámetro de concentración* de la distribución. Mientras mayor sea su valor, mayor será la concentración de datos alrededor de la dirección  $\mu_0$ , y mientras menor sea su valor, mayor será el parecido de ésta con una distribución uniforme entre  $0$  y  $2\pi$ .

Para definir la dirección media se introducen, en lo que sigue, algunos conceptos de los datos angulares o circulares. Una observación angular  $\theta$ , se puede considerar como un punto  $M_1$  situado en el círculo unidad, el cual está centrado en  $O$ . De esta forma el eje horizontal  $OX$  y el eje  $OM_1$  medido en sentido contrario a las agujas del reloj, forma un ángulo  $\theta$ .

Debido a la periodicidad de los datos angulares, la función de densidad de probabilidad de una variable aleatoria direccional también es periódica, con período  $2\pi$ . Por tanto, las medidas de localización para datos angulares tendrían que considerar su naturaleza periódica. Las medidas clásicas que son usadas para datos lineales, dependerán de la elección del ángulo cero en el círculo. Las nuevas medidas a proponer han de ser invariantes a la elección del origen angular.

Se define la *dirección media*  $\mu_0$  [Mardia, 1972] de una variable aleatoria  $\theta$ , como la fase del vector resultante  $\alpha + j\beta = \rho \cdot e^{j\mu_0}$ , donde

$$\alpha = E[\cos(\theta)], \beta = E[\sen(\theta)], \rho = E[\cos(\theta - \mu_0)] \quad \text{Ecuación V-8}$$

Se define la *dirección media muestral*  $X_0$  [Nikolaidis, 1998] de  $N$  observaciones  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N$ , representadas por puntos muestreados  $M_1, M_2, \dots, M_N$  en el círculo unidad, centrado en el punto  $O$ , como la dirección media resultante de los vectores unitarios  $OM_1, OM_2, \dots, OM_N$ . El valor resultante vendrá dado por

$$X_0 = \arctan\left(\frac{s}{c}\right) \quad \text{Ecuación V-9}$$

$$c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \cos(\theta_i) \quad s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sen(\theta_i) \quad \text{Ecuación V-10}$$

Con la dirección media muestral se obtiene lo equivalente a la media lineal, pero para datos angulares, ya que para éstos hay que tener en cuenta la naturaleza periódica de los mismos, es decir, cualquier ángulo coincide con la suma de él mismo y un múltiplo par de  $\pi$ . Por tanto, cualquier medida para calcular la media del tono se tendrá que hacer a partir de la dirección media muestral.

Existen otros parámetros que también se trasladan al caso de datos angulares como son la *dirección mediana*, equivalente al valor de mediana para datos lineales, o bien los parámetros que miden la dispersión angular como la *varianza circular*, *diferencia media circular* o el *rango circular* [Nikolaidis, 1998]. La varianza circular de una variable  $\theta$  se define como

$$V_0 = 1 - E[\cos(\theta - \mu_0)] \quad \text{Ecuación V-11}$$

donde  $\mu_0$  es la dirección media de la variable  $\theta$ .

Para  $N$  datos angulares  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N$ , se define la *varianza circular muestral*  $S_0$  como

$$S_0 = 1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \cos(\theta_i - X_0) \quad \text{Ecuación V-12}$$

donde  $X_0$  es la dirección media muestral definida en Ecuación V-9

Una vez definidas las medias y varianzas angulares, se busca la transformación del tono más adecuada para el propósito de la segmentación. Se quieren enfatizar los valores que se encuentren alrededor del tono del color a segmentar. La mejor forma es transformarlo con una función suave, de manera que los tonos vayan desapareciendo gradualmente y no de forma brusca, puesto que así el resultado de la segmentación será mejor. La función de transformación tiene que tener en cuenta la periodicidad del tono. Pues bien, una transformación basada en la forma de una distribución Von Mises parece adecuada, ya que tiene una caída suave como una gaussiana, pero respetando la naturaleza periódica de los datos. En realidad se va a utilizar como una función de transformación, y no como distribución probabilística, de ahí que se pueda eliminar de su expresión la función de Bessel, la cual juega el papel de normalización del área a la unidad para formar una función de densidad de probabilidad. Por tanto, el tono queda transformado según la expresión

$$g(H) = \frac{H_c}{\exp(W)} \exp(W \cdot \cos(H - H_c)) \quad \text{Ecuación V-13}$$

donde  $H_c$  es el tono que se desea segmentar y que corresponde con el lugar donde estará centrada  $g(H)$ , y  $W$  es el parámetro que da la concentración alrededor del valor  $H_c$  (a mayor valor de  $W$ , más estrecha es  $g(H)$ ). El factor  $H_c$  de la expresión de  $g(H)$  sirve para normalizarla a dicho valor.

Por tanto la imagen de color se transforma a la imagen en escala de grises dada por la ecuación

$$f(n, m) = \beta \frac{H_c}{\exp(W)} \exp(W \cdot \cos(H(n, m) - H_c)) + (1 - \beta) S_c \exp\left(\frac{-(S(n, m) - S_c)^2}{2\sigma_c^2}\right)$$

**Ecuación V-14**

- $\beta$  es un parámetro de diseño que varía entre 0 y 1 y sirve para ponderar más o menos el efecto del tono o de la saturación
- $\sigma_c$  es la desviación típica de la gaussiana
- $S_c$  es la media de la gaussiana y el valor de saturación deseado de los píxeles que se quieren segmentar

Por lo tanto, de la imagen inicial formada por tres planos RGB se ha pasado a una imagen con un solo plano, donde cada píxel viene representado por la función definida en la ecuación V-14.

### 5.5.2. Conversión a imagen de un solo plano a partir las coordenadas $L^*u^*v^*$ por medidas de distancias de color

En este caso, se parte de una imagen en formato  $L^*u^*v^*$  y se calcula la distancia Euclídea de cada píxel de la imagen a los valores de  $L^*u^*v^*$ , o solamente  $u^*v^*$  (si no se tiene en cuenta la información de luminosidad), del color a segmentar. De esta manera las medidas de distancias entre los valores de los píxeles corresponden con las diferencias entre colores percibidas por los humanos.

La imagen resultante es una imagen de niveles de gris que representan distancias, donde el negro significa que es el color a segmentar, y a medida que se va aclarando la imagen, más se aleja del color buscado (más distancia entre los píxeles). La imagen viene dada por

$$f(n, m) = \sqrt{(L^*(n, m) - L_c^*)^2 + (u^*(n, m) - u_c^*)^2 + (v^*(n, m) - v_c^*)^2} \quad \text{Ecuación V-15}$$

$(L_c^*, u_c^*, v_c^*)$  representan las coordenadas del color a segmentar

### 5.5.3. Conversión a imagen de un solo plano a partir las coordenadas $L^*u^*v^*$ por medidas de distancias de color y textura

Una manera de tener en cuenta la textura de la zona bajo examen es, en lugar de calcular la distancia con respecto a un color, hacerlo con respecto a una máscara de tamaño  $L \times L$ . La máscara representa un recorte de la zona que se quiere segmentar. Este recorte se va desplazando como una máscara a lo largo de la imagen, realizando para el píxel que cae en el centro de la misma la siguiente operación

$$f(n, m) = \sum_{i=n-\Delta}^{n+\Delta} \sum_{j=m-\Delta}^{m+\Delta} d(p(i, j), w(i, j)) \quad \text{Ecuación V-16}$$

- $\Delta = \frac{(L-1)}{2}$  (para L impar)
- $p(i, j)$  representa un píxel de la imagen a segmentar en formato  $L^*u^*v^*$
- $w(i, j)$  es un píxel de la máscara de tamaño  $L \times L$
- $d(\cdot)$  es una función que representa la distancia Euclídea entre los píxeles  $p(i, j)$  y  $w(i, j)$

Realmente el procedimiento es parecido al de un filtrado espacial de una imagen, aunque en lugar de sustituir el píxel filtrado por la suma de los productos entre la imagen y el filtro, se sustituye por la suma de las distancias Euclídeas entre los píxeles de la imagen y de la máscara.

El tener en cuenta una cierta vecindad a la hora de calcular la imagen de distancias, da información sobre la textura de la imagen, lo cual puede llevar a una mejor segmentación.

## 5.6. Segmentación de la imagen

Una vez obtenida la imagen de un solo plano, se aplica algún algoritmo de segmentación para separar la zona buscada. Se consideran tres casos:

- ♦ Umbralización mediante la introducción del umbral por parte del usuario
- ♦ Umbralización automática por el método de Otsu
- ♦ Umbralización automática mediante técnica de búsqueda de picos

### 5.6.1. Umbralización mediante la introducción del umbral por parte del usuario

En este caso, es el usuario el que introduce manualmente y cuando es solicitado por el algoritmo, el umbral para realizar la segmentación. Este umbral se ha debido hallar experimentalmente.

### 5.6.2. Umbralización automática por el método de Otsu

La técnica desarrollada trata de elegir automáticamente el umbral final que separará la quemadura del resto de la imagen. Este paso es complicado, puesto que en la mayoría de los algoritmos de segmentación al final hay que introducir un umbral para delimitar los objetos de interés. Dicho umbral depende de la aplicación, y en muchos casos de la propia imagen, de hecho, esto es uno de los problemas principales para conseguir la automatización.

El método de umbralización de Otsu se explicó en el Capítulo 3. Es una técnica de umbralización adaptativa para separar dos clases entre sí, y busca la maximización de la distancia entre las dos clases y la minimización de las áreas que forman la unión de los puntos asociados a cada clase. Una de las desventajas que presentaba era que suponía un histograma de la imagen bimodal. En este caso el histograma presenta más picos, con lo que ha habido que modificar el método de Otsu para aplicarlo a la separación de varias clases [Acha, 2002].

El procedimiento consiste en aplicar iterativamente el método de umbralización de Otsu sobre el histograma de la imagen de un solo plano. Si la imagen es de distancias (con o sin textura), lo más oscuro corresponderá a lo que se desea segmentar. Por el contrario, si la imagen proviene de aplicar la transformación de Von Mises y Gauss, lo más blanco representará lo que se quiere aislar. Para lo que sigue, se va a suponer que se tiene una imagen de distancias, es decir, lo que esté más a la izquierda en el histograma (lo más oscuro) es el objeto de la segmentación. Lo importante es saber hasta dónde se extienden los valores de grises oscuros pertenecientes a dicho objeto.

El procedimiento es el siguiente [Acha, 2002]:

- Se aplica Otsu la primera vez, obteniendo como resultado los dos modos principales del histograma. Si las fotografías han sido tomadas siguiendo el protocolo, en la parte de la derecha del histograma se encontrarán los píxeles pertenecientes al fondo de la imagen (sábana verde), y en la de la izquierda los píxeles correspondientes a la piel.
- Se vuelve a aplicar Otsu a la parte izquierda, separando los tonos de piel distintos entre sí.
- Así continuaría hasta un determinado límite  $T$ , encontrado heurísticamente. El umbral obtenido por Otsu que sea más cercano por arriba a  $T$  se escoge como el umbral de la imagen. Se ha comprobado que el umbral de Otsu más adecuado se obtiene en la segunda o tercera iteración del algoritmo.

### 5.6.3. Umbralización automática mediante técnica de búsqueda de picos

En este caso, se aplica el algoritmo que fue explicado en el capítulo 3, *apartado 3.3.1.1.4*. Consiste básicamente en encontrar los picos relevantes dentro del histograma de la imagen de un solo plano. Una vez seleccionados los picos, las fronteras entre regiones serán los valores mínimos entre cada dos picos, es decir, los valles. Los valores de intensidad comprendidos entre cada dos valles formarán, por tanto, una región uniforme.

Este algoritmo fue realizado en un principio para ser aplicado a imágenes que provengan de aplicar la transformación de Von Mises y Gauss, es decir lo más blanco representará lo que se quiere aislar. No obstante, ha sido también transformado para ser aplicado a una imagen distancias, en la que lo más oscuro corresponderá a lo que se desea segmentar [Acha, 2003].

---

### 5.7. Posprocesamiento

Para todos los algoritmos se ha escogido un filtro de mediana como último paso de procesamiento. Básicamente se pretende con ello suavizar la segmentación, eliminando los pequeños puntos que difieran de sus entornos.

### 5.8. Algoritmos de segmentación

Básicamente se dispone de tres algoritmos de segmentación, presentados en la tesis doctoral [Acha, 2002], sobre los que se han hecho mejoras y/o ampliaciones. En este apartado se explicarán estos algoritmos base y en el siguiente se presentarán las mejoras realizadas.

En el siguiente diagrama general de la *Figura V-3* se muestran los pasos realizados para estos algoritmos.

El paso de transformación a imagen de un solo plano será diferente para cada uno de los algoritmos mostrados. Esta transformación se hará siguiendo las conversiones a imagen de un solo plano explicadas en los *apartados 5.5.1, 5.5.2 y 5.5.3* correspondientes a los algoritmos de Von Mises, Distancias y Textura, respectivamente.

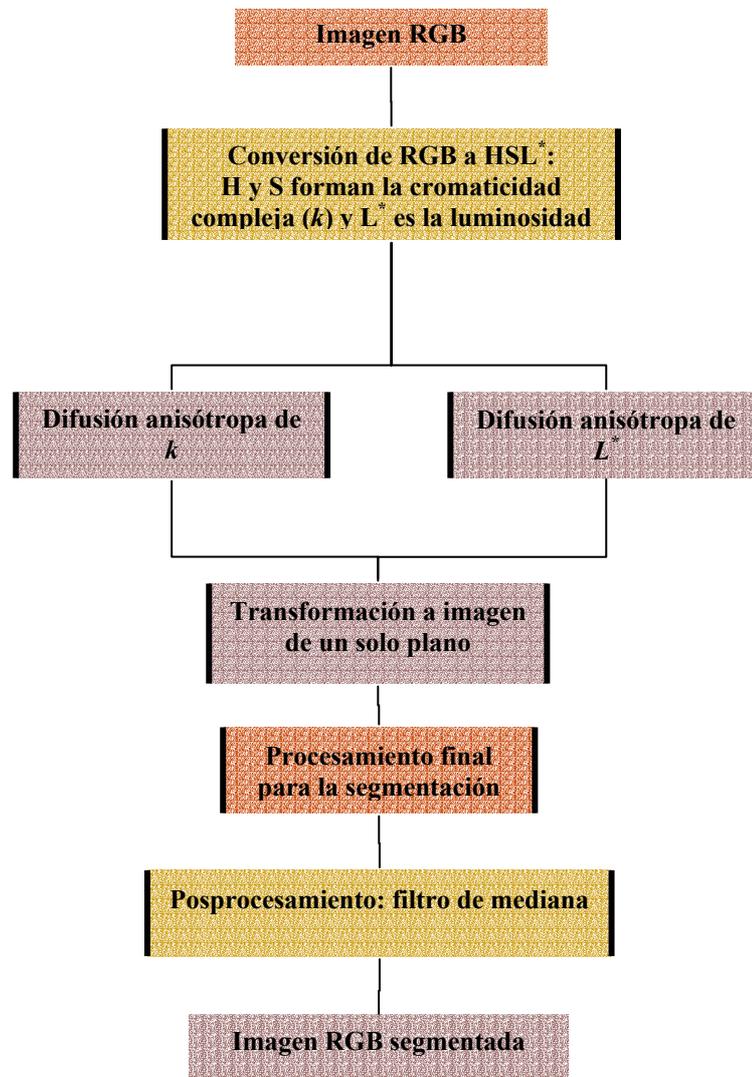


Figura V-3 Diagrama de flujo de los algoritmos de segmentación

### 5.8.1. Algoritmo de Von Mises

Se basa en la conversión del tono y la saturación según se explicó en el *apartado 5.5.1*, donde se ha transformado el tono a través de la distribución de Von Mises y la saturación a través de una gaussiana. La difusión se realiza en el espacio de color  $HSL^*$ , donde el tono y la saturación se difunden conjuntamente mediante la crominancia compleja y, por otra parte, se difunde la información de luminancia.

La imagen en un solo plano viene dada por la *Ecuación V-14*

Una vez obtenida la imagen transformada (en escala de grises), se establece un umbral para segmentar la imagen. Esto puede realizarse por alguno de los tres métodos presentados en el *apartado 5.6*.

### 5.8.2. Algoritmo de Distancias

En este caso la imagen de color en coordenadas  $L^*u^*v^*$  es transformada a una imagen de distancias *Ecuación V-15*, con respecto al valor medio de un recorte que selecciona el usuario [Acha, 2001c] [Acha, 2002]. Tal y como se explica en el *apartado 5.6.2*.

Esta formulación del algoritmo de Distancias tiene en cuenta la información de luminosidad. Otra formulación posible sería considerando sólo la información cromática. No obstante, en este trabajo se ha optado por utilizar la información de luminosidad, por haberse comprobado en estudios anteriores, que los resultados obtenidos son mejores.

### 5.8.3. Algoritmo de Textura

Es equivalente al anterior, pero además de la información de color, ahora también se tiene en cuenta la textura. Se trabaja en el espacio  $L^*u^*v^*$ , y se calculan las distancias según la *Ecuación V-16*. La formulación completa se explicó en el *apartado 5.6.3*.

## 5.9. Modificaciones aplicadas a los algoritmos

Como ya se ha comentado, el objeto de este trabajo es mejorar los resultados obtenidos en previos trabajos en lo referente al diagnóstico de quemaduras. Para ello, se ha partido de una serie de algoritmos y se han intentado mejorar, aplicando nuevos métodos o modificando los ya existentes. Algunas de las modificaciones aquí presentadas aparecían como propuestas de líneas de investigación futuras en [Acha, 2002], otras no, pero se ha creído conveniente su introducción para comprobar si se obtenían buenos resultados, o si por el contrario los resultados eran mejores aplicando los algoritmos originales sobre los que se basan. El problema de segmentación de imágenes en color es un problema muy difícil de resolver, que nunca quedará del todo resuelto, lo que se obtienen son aproximaciones que mejoran los resultados respecto a métodos anteriores. Esto es precisamente lo que se pretende con este trabajo, estudiar las posibles modificaciones que podemos aplicar con objeto de obtener mejores resultados, aún no siendo éste el resultado siempre obtenido.

En este apartado se muestran las modificaciones que se han introducido en este trabajo. Algunas de ellas han sido ya explicadas en capítulos anteriores, no obstante aquí hacemos una recopilación de todo lo novedoso que ha sido aplicado en este trabajo. Los resultados obtenidos con cada uno de los algoritmos se muestran en el siguiente capítulo.

### 5.9.1. Alteración del orden de la difusión en el algoritmo de Distancias

En el algoritmo de Distancias tal y como se planteó en un principio, primero se realizaba la difusión en  $L^*u^*v^*$  y tras este paso se hacía la transformación de  $L^*u^*v^*$  a una imagen de distancias, es decir a una imagen de un solo plano.

En esta modificación del algoritmo, en lugar de realizar la difusión antes de la transformación a imagen de distancias, se intercambian estos dos. Por tanto, el esquema seguido será el que se indica en la *Figura V-4*.

Una diferencia con el algoritmo de Distancias inicial es que ahora la difusión se realiza sobre una imagen de distancias, sobre una imagen de un solo plano. Por tanto, dentro del algoritmo se llama a otra función distinta a la que se llamaba antes, que realiza la difusión de una imagen de un solo plano.

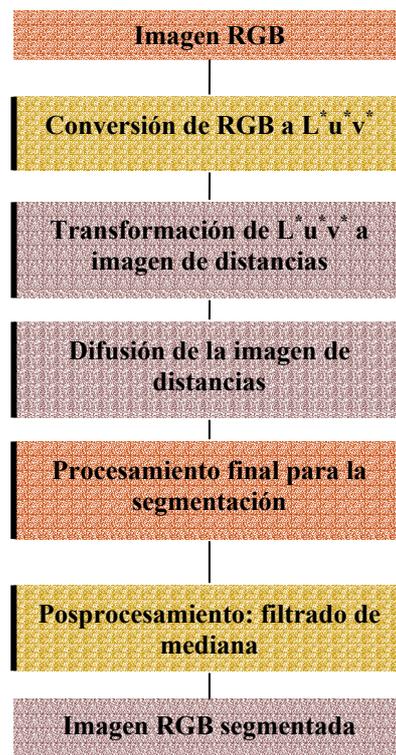


Figura V-4 Diagrama de flujo del algoritmo de segmentación de Distancias, calculando primero la imagen de distancias y después realizando la difusión

### 5.9.2. Introducción de la información de Luminosidad

Tal y como se indicó en el apartado de *líneas de investigación futuras* del anterior trabajo, para mejorar el algoritmo de Von Mises debería incluirse en la función de transformación la información de luminosidad, de forma que se evitaran los puntos de flash y los de sombras.

En estos dos algoritmos el inconveniente principal que presenta es que, al no estar incluida la luminosidad, las sombras se entremezclan con colores claros u oscuros (para los colores negros y blancos el tono no está definido y la saturación es prácticamente cero), lo que implica que para las quemaduras más profundas (blancas o marrones) se puedan producir segmentaciones de las sombras también.

Tratando de evitar este problema se ha estudiado en el presente trabajo cómo se puede añadir la información de luminosidad en el algoritmo de Von Mises.

En la función de transformación inicial, *ecuación V-14*

$$f(n, m) = \beta \frac{H_c}{\exp(W)} \exp(W \cdot \cos(H(n, m) - H_c)) + (1 - \beta) S_c \exp\left(\frac{-(S(n, m) - S_c)^2}{2\sigma_c^2}\right)$$

**Ecuación V-17**

- $\beta$  es un parámetro de diseño que varía entre 0 y 1 y sirve para ponderar más o menos el efecto del tono o de la saturación

Se introduce la información de luminosidad mediante un sumando más en esta función. La información de la luminosidad irá transformada por una distribución de Gauss.

$$\text{función\_transformación} = Vm(\text{tono}) + \text{Gauss}(\text{saturación}) + \text{Gauss}(\text{luminosidad})$$

Hay que modificar también el parámetro  $\beta$  puesto que ahora tendremos tres sumandos, habrá que ponderar cada uno de ellos. Por tanto la función de transformación quedará como

$$\text{función\_transformación} = a \cdot Vm(\text{tono}) + b \cdot \text{Gauss}(\text{saturación}) + c \cdot \text{Gauss}(\text{luminosidad})$$

Estos parámetros ( $a, b, c$ ) determinan el peso de cada uno de los sumandos en la función.

A la hora de realizar la suma, en un principio se hizo tal cual, es decir como indica la función anterior. Sin embargo, se constató que el rango en el que se mueven cada uno de los sumandos es muy diferente. Se optó, por tanto, por normalizar cada sumando. De esta forma, la suma sería de tres elementos normalizados entre 0 y 1, y ponderados por un factor ( $a, b, c$ ) que indica el peso de cada uno de los sumandos.

A la hora de transformar la información de la luminosidad, se comprobó, representando la luminosidad filtrada, que una gaussiana de desviación típica  $\sigma = 0.01$  era apropiada para realizar la transformación. La gaussiana que transforma la saturación, también tiene una desviación típica de 0.01.

Concluyendo, la imagen de color se transforma a la imagen en escala de grises mediante la ecuación

$$f(n, m) = \left\{ \begin{array}{l} a \cdot \frac{H_c}{\exp(W)} \exp(W \cdot \cos(H(n, m) - H_c)) + b \cdot S_c \exp\left(\frac{-(S(n, m) - S_c)^2}{2\sigma_c^2}\right) + \\ + c \cdot L_c \exp\left(\frac{-(L(n, m) - L_c)^2}{2\sigma_c^2}\right) \end{array} \right. \quad \text{Ecuación V-18}$$

- ( $H_c, S_c, L_c$ ) son los valores de tono, saturación y luminosidad que se quieren segmentar
- ( $a, b, c$ ) son los parámetros de diseño que ponderan el peso de cada uno de los sumandos en la función de transformación. Toman valores entre 0 y 1. La suma de los tres debe ser igual a 1 ( $a+b+c=1$ ).

El valor de los parámetros de diseño ( $a, b, c$ ) dependerá del tipo de quemadura que se esté segmentando. El valor es introducido por el usuario en el momento que el algoritmo se lo solicite. Para utilizar factores de ponderación apropiados se debe considerar que:

En quemaduras de tercer grado el tono es poco importante, lo que más interesa en este tipo de quemaduras es la luminosidad. Esta es una de las razones por las que el algoritmo inicial de Von Mises que no consideraba la luminosidad, no obtenía buenos resultados con quemaduras más profundas (colores blancos y marrones).

Sin embargo, para colores fuertes, colores más saturados, interesa el tono y la saturación. Razón de que el algoritmo de Von Mises sin incluir la luminosidad obtenga muy buenos resultados para imágenes con quemaduras de 2º grado superficial.

### 5.9.3. Alteración de los factores de ponderación en el algoritmo de Von Mises

En el algoritmo de segmentación de Von Mises, la imagen de color se transforma a la imagen en escala de grises dada por la ecuación

$$f(n, m) = \beta \frac{H_c}{\exp(W)} \exp(W \cdot \cos(H(n, m) - H_c)) + (1 - \beta) S_c \exp\left(\frac{-(S(n, m) - S_c)^2}{2\sigma_c^2}\right)$$

Ecuación V-19

$\beta$  es un parámetro de diseño que varía entre 0 y 1 y sirve para ponderar más o menos el efecto del tono o de la saturación

Con objeto de mejorar los resultados obtenidos utilizando este algoritmo de segmentación, se optó por definir el parámetro de diseño  $\beta$  con un valor determinado e igual a la raíz cuadrada de la media de la saturación. La introducción de este factor de ponderación se ve motivada por los problemas encontrados en la segmentación de imágenes cuando los colores son blanquecinos. Con ello se trata de evitar que se obtengan valores del tono y la saturación inconsistentes.

De esta forma la función de transformación será en este caso

$$f(n, m) = \text{sqrt}(\overline{S_c}) \frac{H_c}{\exp(W)} \exp(W \cdot \cos(H(n, m) - H_c)) + (1 - \text{sqrt}(\overline{S_c})) S_c \exp\left(\frac{-(S(n, m) - S_c)^2}{2\sigma_c^2}\right)$$

Ecuación V-20

•  $\text{sqrt}(\overline{S_c})$  representa la raíz cuadrada de la media de la saturación que se quiere segmentar

### 5.9.4. Aplicación de umbralización automática por el método de Otsu al algoritmo de Distancias

El método de umbralización de Otsu, ya explicado en el apartado 5.6.2, es una técnica de umbralización adaptativa para separar dos clases entre sí, y busca la maximización de la distancia entre las dos clases y la minimización de las áreas que forman la unión de los puntos asociados a cada clase.

Puesto que se tiene una imagen de distancias, lo que se quiere aislar es lo más oscuro de dicha imagen. Es decir, lo que esté más a la izquierda en el histograma (lo más oscuro) es el objeto de la segmentación.

Aplicando umbralización automática al algoritmo de Distancias, el usuario ya no tendrá que introducir manualmente el umbral que se usa para segmentar la imagen en escala de grises, sino que será el mismo algoritmo el que calcule dicho umbral y lo usará para segmentar la imagen.

### 5.9.5. Umbralización automática mediante técnica de búsqueda de picos

La umbralización mediante técnica de búsqueda de picos es otro método que obtiene el umbral de manera automática. El funcionamiento de dicho algoritmo quedó explicado en el apartado 5.6.3. y previamente en el apartado 3.3.1.1.4., del capítulo 3.

El algoritmo consiste básicamente en encontrar los picos relevantes dentro del histograma de la imagen de un solo plano. Una vez seleccionados los picos, las fronteras entre regiones serán los valores mínimos entre cada dos picos, es decir, los valles. Los valores de intensidad comprendidos entre cada dos valles formarán, por tanto, una región uniforme.

Este algoritmo fue realizado en un principio para ser aplicado a imágenes que provenían de la transformación de Von Mises y Gauss, es decir lo más blanco representaba lo que se quería aislar. No obstante, ha sido también transformado para ser aplicado a una imagen de distancias, en lo que lo más oscuro corresponderá a lo que se desea segmentar.

Este método de umbralización se aplicará a distintos algoritmos de segmentación, en el siguiente capítulo se mostrarán los resultados obtenidos.

### 5.9.6. Múltiple segmentación

Tal y como se indicaba en la tesis [Acha, 2002] en el apartado de *líneas de investigación futuras*, podría facilitarse la tarea de hallar un umbral global permitiendo que el usuario indique con el ratón no sólo la región que desea segmentar, sino otras partes de la imagen como son el fondo o la piel sana, fáciles de identificar en la escena. Esto es lo que se realiza en esta ampliación.

En los algoritmos comentados hasta ahora lo único que es segmentado de la imagen es la quemadura. El usuario realiza un recorte sobre la fotografía de la parte quemada, indicando al algoritmo qué es lo que se desea segmentar. El programa procesará la información, hallará alguna medida (por ejemplo, la media) o directamente tomará el color que se le pase por comando y, aplicando distintas técnicas ya vistas, segmentará todo aquello en la imagen que tenga el mismo color o que se encuentre en una banda determinada alrededor de dicho color.

Sin embargo, lo que ahora se pretende es que el usuario además de indicar la región que desea segmentar, indique también el fondo y la piel sana. Esto se realizará de la misma forma en la que se indicaba el recorte de la piel quemada. El programa demandará al usuario que realice un recorte de la parte quemada, así como de la piel sana y del fondo de la imagen.

Por tanto, ahora se tendrán tres regiones de la imagen segmentadas, cada una de ellas será mostrada por pantalla, denotando cada color a una región segmentada.

- El verde representa el fondo de la imagen.
- El amarillo representa la piel sana.
- La piel quemada será representada por diferentes colores, dependiendo del algoritmo utilizado, Von Mises, Distancias o Textura.

Además de las tres diferentes regiones, también se representará las zonas de la imagen donde el programa reconoce más de una región. Por ejemplo, las zonas donde se reconoce piel quemada y piel sana o fondo y piel sana. De esta forma se pueden detectar las zonas problemáticas, las zonas donde el programa tiene problemas para reconocer una cosa u otra. Detectando estas zonas problemáticas se puede tener seguridad de las zonas que el algoritmo reconoce bien, y aquellas en que no, pudiendo, por tanto, “confiar” en las zonas detectadas sin superposición con otras partes de la imagen. Las zonas donde se reconocen varias regiones serán representadas por el programa al ejecutarlo, así como la imagen al completo con las tres regiones segmentadas. Los colores que se han utilizado en las zonas de superposición son:

- ♦ Rosa fuerte: representa las zonas donde se reconoce piel quemada y piel sana
- ♦ Amarillo pálido: representa la región reconocida como piel sana y fondo de imagen
- ♦ Rosa pálido: representa la región reconocida como piel quemada y fondo de imagen

En este caso, al tener multisegmentación el usuario, además de tener que realizar tres recortes, cada uno correspondiente a piel quemada, sana y fondo de la imagen, deberá introducir tres umbrales para realizar la segmentación. Estos umbrales también pueden calcularse automáticamente por alguno de los métodos de umbralización automática mostrados en este trabajo. El diagrama que indica el funcionamiento se muestra en la *Figura V-5*

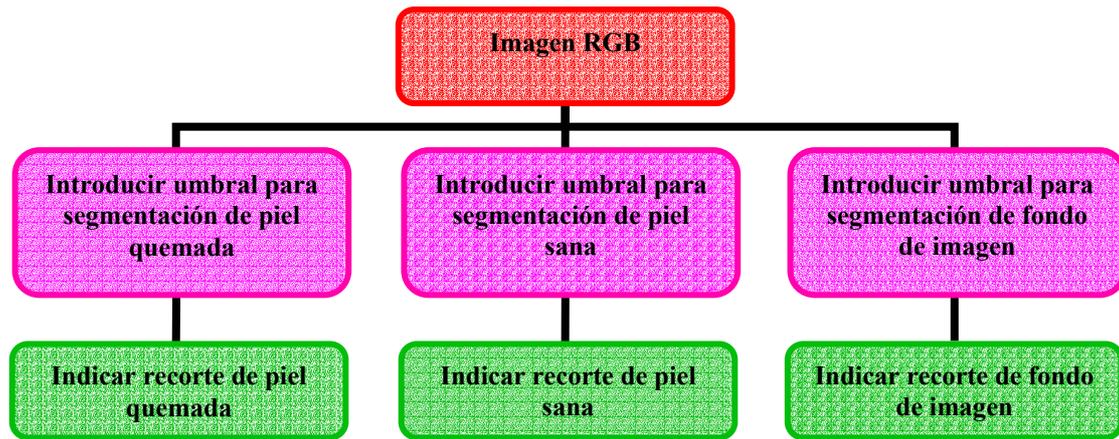


Figura V-5 Diagrama de funcionamiento de multisegmentación

A partir de este paso se continuará con el algoritmo normal de segmentación, uno de los cuatro presentados en este trabajo, pudiendo también optar por usar umbralización automática. En ese caso habría de suprimirse el paso en el que se introduce el umbral, puesto que éste es calculado automáticamente.

Si el algoritmo de multisegmentación se aplica pasando una semilla de cada una de las partes a segmentar, o de algunas de ellas, entonces no habrá que realizar el recorte de aquella región de la que se pase la semilla. Si se combinan los pasos de pasar semilla y umbralización automática, el usuario no deberá realizar ninguna interacción con el programa, puesto que este será completamente automático.

Los resultados obtenidos usando multisegmentación, con o sin pasando semilla y/o umbralización automática se mostrarán en el siguiente capítulo, donde además de mostrar los resultados se hará una discusión de los mismos, estudiando sus ventajas y desventajas.

#### 5.9.7. Sustitución del recorte por una semilla, media de un banco de recortes

El objetivo al que siempre se tiende en la programación es automatizar lo máximo posible todos los algoritmos, que sea la máquina quien decida en base a unos criterios previamente introducidos, y por tanto no necesitando la interacción de ningún usuario. No obstante, esta automatización no consigue siempre buenos resultados. Existen conceptos, imágenes, formas, tonos, brillos, etc. que, siendo muy fáciles de reconocer para los humanos, es muy difícil que sean reconocidos por una máquina. Sin embargo, siempre se intenta, es lo que se hace exactamente en esta ampliación, automatizar aún más los algoritmos.

La idea es sencilla, anteriormente a la hora de segmentar, lo que se tenía era un *sistema selectivo*, es decir, el usuario indica mediante el ratón o por comando el color que quiere segmentar. El programa hallará alguna medida (por ejemplo, la media) o directamente tomará el color que se le pase por comando y, aplicando distintas técnicas, segmentará todo aquello en la imagen que tenga el mismo color o que se encuentre en una banda determinada alrededor de dicho color.

Lo que se pretende ahora es que el usuario no tenga que efectuar ningún recorte. Se segmentará la imagen pasando una semilla, que es la media de un banco de recortes. En el banco de recortes existen cincuenta imágenes de cada una de las cinco categorías a segmentar, es decir

- a) Ampollas/vesículas: tienen una textura brillante y color entre rosa y marrón
- b) 2º grado superficial: el color es rojo brillante y su aspecto húmedo
- c) 2º grado profundo: el color es blanco-rosado y puede tener aspecto moteado
- d) 3º grado blanco: tienen un color blanquecino- amarillento, color pergamino
- e) 3º grado marrón: su color es marrón oscuro

A la hora de indicar la semilla, el usuario deberá indicar a que categoría pertenece. De esta forma, el programa trabaja con la semilla haciendo ésta las veces de recorte. Es decir, el programa hallará alguna medida (dependiendo del algoritmo elegido) y aplicando distintas técnicas, segmentará todo aquello en la imagen que tenga el mismo color o que se encuentre en una banda determinada alrededor de dicho color. El método seguido para hallar la media de los recortes se muestra a continuación.

Se tienen 50 recortes de tamaño 49x49x3, donde el 3 corresponde a los tres planos RGB. Los pasos seguidos se muestran en la *Figura V-6*.

---

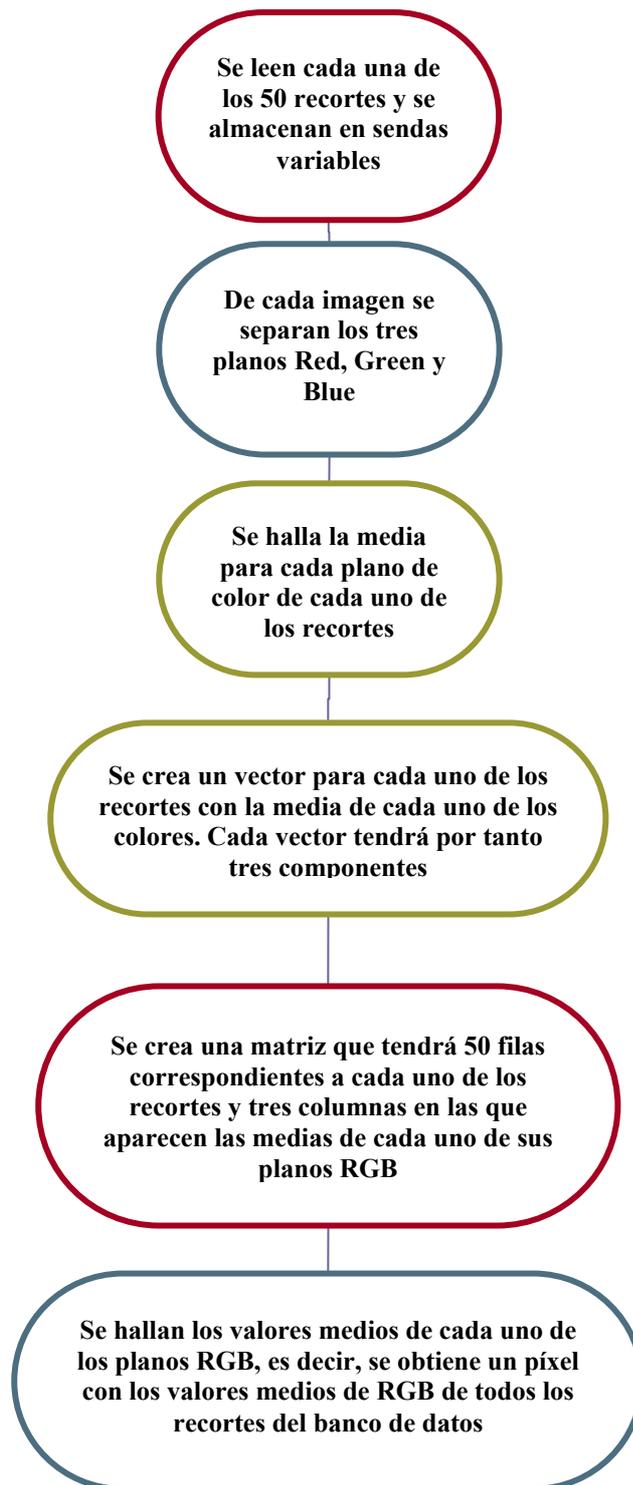


Figura V-6 Diagrama para hallar la media del banco de recortes

Realizando este proceso se obtiene un píxel, un vector con tres columnas, cada una de ellas representativa de la media de cada plano RGB de todos los recortes.

Hay un detalle a tener en cuenta en este proceso. En los algoritmos anteriores, cuando se realizaba el recorte a éste se le aplicaba difusión en el plano RGB o bien se aplicada a las componentes cromática ( $k$ ) y acromática ( $L^*$ ) (según el algoritmo utilizado) para que al ser comparado con la imagen se obtuvieran resultados coherentes, ya que a la imagen se la aplica también difusión. En los pasos indicados para calcular la media de los recortes, no se realiza difusión en ningún momento.

Por ello, se ha realizado una modificación de las funciones que calculan la media de los recortes del banco de datos. En este caso se difunden los recortes antes de realizar la media de todos ellos. Será el usuario quien decidirá si quiere que los recortes sean difundidos o no, el programa se lo solicitará y la elección deberá ser introducida por el teclado. El número de iteraciones para la difusión se ha tomado como el mismo que se utiliza para difundir las imágenes completas, 10 iteraciones. Se ha comprobado que se obtienen resultados satisfactorios utilizando este número de iteraciones.

El diagrama se modificará, una vez leídos los recortes, estos deberán difundirse. Por tanto se incluye un nuevo paso entre el primero y el segundo, en este paso se difundirá cada uno de los 50 recortes, para posteriormente obtener la media de ellos. El diagrama quedará de la forma que se indica en la *Figura V-7*.

El utilizar recortes difundidos o no obtendrá mejores o peores resultados dependiendo del tipo de quemadura a segmentar. Por ejemplo, en ampollas puede que al difundir las imágenes se pierdan las características de éstas. En el siguiente capítulo se mostrarán los resultados obtenidos y se hará una discusión de los mismos.

---



Figura V-7 Diagrama haciendo la difusión de los recortes

### 5.10. Resumen

Este capítulo explica los distintos algoritmos utilizados en este estudio para segmentar imágenes de quemaduras en color, así como las ampliaciones y modificaciones propuestas.

Los algoritmos de segmentación, básicamente, parten de una etapa de preprocesamiento donde la imagen es preparada para la posterior segmentación. El preprocesamiento consta de un filtrado paso de baja para homogeneizar las regiones que forman la imagen. El tipo de filtro escogido es un filtro de difusión, el cual presenta las propiedades de homogeneizar las zonas con pocos cambios, manteniendo los bordes o fronteras de los objetos que forman la escena. De esta manera se trata de uniformizar las quemaduras sin difuminar los bordes que las separan de la piel sana o del fondo de la imagen.

El siguiente paso es la transformación de la imagen de tres planos de color a uno solo. Éste es el principal punto diferenciador entre los distintos tipos de algoritmos que se presentan:

- ♦ El *algoritmo de Von Mises* transforma el tono según una distribución de Von Mises manteniendo la propiedad de periodicidad de los valores angulares del tono y a la saturación la somete al mismo proceso, siendo una gaussiana la función de transformación. Con esto se consigue enfatizar el color a segmentar. La imagen resultante consiste en la suma del tono y la saturación transformados, y por tanto, contiene un solo plano, es decir, se obtiene una imagen en escala de grises.
- ♦ El *algoritmo de Distancias* calcula una imagen de distancias en el espacio  $L^*u^*v^*$ .
- ♦ El *algoritmo de Textura* calcula también una imagen de distancias en el espacio  $L^*u^*v^*$ , pero en este caso teniendo en cuenta también la textura. Las distancias se calculan sobre una máscara cuadrada y promediando.

Todos estos algoritmos utilizan una umbralización como paso final de la segmentación.

Estos son los tres algoritmos básicos sobre los que se ha hecho el estudio, sobre ellos se han aplicado una serie de modificaciones y mejoras, con objeto de comprobar si con ellas se mejoraban los resultados obtenidos, tema a tratar en el siguiente capítulo. Las modificaciones que se presentan son

- ⇒ Alteración del orden de la difusión en el algoritmo de Distancias.  
Se calcula en primer lugar la imagen de distancias y sobre ésta se hace la difusión, al contrario de como se hace en el algoritmo original donde primero se difundo y después se calcula la imagen de distancias.
  - ⇒ Introducción de la información de Luminosidad.  
El algoritmo de Von Mises no obtenía resultados del todo satisfactorios a la hora de segmentar quemaduras de ciertos grados, siendo una de las causas principales de ello que consideraban la información de luminosidad. En esta modificación se introduce dicha información.
  - ⇒ Alteración de los factores de ponderación en el algoritmo de Von Mises.  
Se modifican los factores que ponderan los sumandos en la función de transformación de los píxeles utilizada en este algoritmo.
  - ⇒ Aplicación de umbralización automática por el método de Otsu al algoritmo de Distancias.  
La umbralización automática ahorra al usuario tener que introducir el umbral que se usará para realizar la segmentación.
  - ⇒ Umbralización automática por el método de búsqueda de picos  
Se aplica un nuevo método de umbralización automática basado detectar picos relevantes en el histograma de homogeneidad. En principio fue realizado para ser
-

aplicado a imágenes que provengan de aplicar la transformación de Von Mises y Gauss, es decir lo más blanco representará lo que se quiere aislar. No obstante, ha sido también transformado para ser aplicado a una imagen distancias, en lo que lo más oscuro corresponderá a lo que se desea segmentar.

⇒ Múltiple segmentación.

Anteriormente lo único que se segmentaba era la parte de la imagen correspondiente a la quemadura. Sin embargo, en esta ampliación también se va a segmentar la piel sana y el fondo de imagen, pudiendo así detectar zonas problemáticas en la imagen, porque en ellas se hayan identificado dos o más regiones diferentes.

⇒ Sustitución del recorte por una semilla, media de un banco de recortes.

En este caso, en lugar de que el usuario realice un recorte sobre la parte que desea segmentar, se pasa una semilla que determinará las características de la zona que se quiere separar del resto. Las semillas serán diferentes para cada tipo de quemadura, distinguiéndose cinco tipos; ampollas, 2º grado superficial, 2º grado profundo, 3º grado blanco y 3º grado marrón. Los bancos de recorte utilizados contienen cincuenta recortes de cada uno de estos tipos.

En el siguiente capítulo se mostrarán los resultados obtenidos y se hará una discusión sobre los mismos.

---