

## 4. Implementación de los algoritmos de segmentación

En esta sección se describen el diseño de los métodos de segmentación desarrollados y la estrategia de generación de los modelos de superficie asociados a las componentes detectadas.

Diseñaremos tres tipos de algoritmos de segmentación los cuales lo aplicaremos a imágenes de Tomografía Axial Computerizada (TAC). Estas imágenes, una vez segmentadas, serán reconstruidas en 3D mediante la herramienta VirSSPA y serán de gran utilidad para la planificación de intervenciones quirúrgicas y el entrenamiento de cirujanos. Para ello distinguiremos dos tipos de tejido, el hueso y el resto de tejidos que conforman el cuerpo:

- 1) La *segmentación de hueso* se realizará mediante métodos de umbralización binaria que como anteriormente comentamos, están basados en las intensidades de los píxeles [9], así podemos hacer una identificación de hueso exitosa por propiedades de tonalidad.

- 2) La *segmentación de tejidos del cuerpo humano exceptuando zona ósea* se realizará mediante el desarrollo de dos técnicas diferentes, una basada en la umbralización y otra en crecimiento de regiones por semilla, pues para diferenciar los distintos tejidos que componen el cuerpo (músculo, órganos, venas...) hacen falta aplicar otras técnicas distintas a las utilizadas en la reconstrucción de hueso.

Posteriormente haremos una comparación entre los dos tipos de segmentación diseñados y elegiremos el método que nos proporcione mejores resultados para poder incorporarlo en VirSSPA.

En los tres algoritmos realizaremos el tratamiento de preprocesado comentado anteriormente (apartado 3.1). A continuación describiremos los tres tipos de algoritmos diseñados en el proyecto

## 4.1 Segmentación por umbralización aplicada a tejidos óseos

El algoritmo de umbralización implementado en esta sección, nos permitirá detectar zonas óseas de las imágenes Tomográficas Axiales Computerizadas (TAC) analizadas y reconstruirlas posteriormente.

Para ello se pretende explotar el hecho de que el tejido óseo presenta niveles de gris más claros que el resto de tejidos que conforman el cuerpo humano, esta característica particular basada en propiedades de tonalidad hace que el proceso de segmentación para este tipo de casos sea efectivo. A continuación pasaremos a describir el algoritmo:

En primer lugar cargaremos la imagen TAC que va a ser tratada con la función *dicomread* que posee Matlab.

Una vez que se ha cargado y tratado la imagen con técnicas de preprocesamiento anteriormente comentadas, el siguiente paso será seleccionar la zona a segmentar, para ello el usuario seleccionará con el ratón un píxel dentro de la zona ósea mostrada en la imagen. Este valor de propiedad de nivel de gris será almacenado para compararlo con el valor de propiedad de otros píxeles de la imagen.

Definimos una matriz de ceros denominada I2 del mismo tamaño que el que ocupa la imagen a tratar (I), 512 x 512.

A continuación se recorre la matriz fila por fila y columna por columna, buscando píxeles que cumplan la siguiente condición de inclusión:

$$|I_0 - I(x,y)| \leq \text{Umbral}$$

Siendo:

- $I_0$ : el valor de nivel de gris del píxel que el usuario introduce con el ratón.
- $I(x,y)$ : el valor de intensidad de gris de píxel situado en la posición  $(x,y)$  de la imagen tratada
- Umbral: un valor obtenido experimentalmente

Los píxeles que cumplan con el criterio de inclusión serán almacenados en la matriz que anteriormente definimos como vacía con su valor de propiedad. De este modo cuando representamos I2 se visualizarán sólo aquellos elementos que han cumplido la condición de inclusión.

Una vez realizado este proceso representaremos la imagen segmentada por pantalla.

En este algoritmo a la imagen de salida no le realizaremos un post-procesamiento, debido a que la estructura ósea puede aparecer en zonas aisladas y no tienen por qué aparecer interconectadas. Como la principal función de los filtros de mediana es reducir significativamente el tramado de la imagen, a costa de emborronar los detalles, especialmente los bordes de los objetos podría ocurrir que el filtro considerara parte de la estructura ósea como ruido eliminándolo por lo que sería una consecuencia terrible para la reconstrucción.

Este tipo de algoritmo tiene la ventaja de que es una técnica efectiva para obtener la segmentación de imágenes donde estructuras diferentes tienen intensidades contrastantes u otras características diferenciables. Es por ello que este método lo utilizamos para segmentar zonas óseas.

Para imágenes escalares, este método es interactivo pues se puede basar en la apreciación visual del usuario haciendo que la operación de umbralización sea implementable en tiempo real.

Su principal limitación es que en su forma más simple solo se generan dos clases y por lo tanto no se puede aplicar a imágenes con histograma multimodal. En adición, la umbralización usualmente no toma en cuenta las características espaciales de la imagen. Esto causa que sea sensible al ruido e inhomogeneidades de intensidad, las cuales pueden ocurrir en imágenes de resonancia magnética.

## 4.2 Segmentación por umbralización aplicada a tejidos del cuerpo exceptuando hueso

En este apartado realizaremos una descripción del segundo algoritmo diseñado. En este caso aplicaremos la metodología de la umbralización para segmentar otros tejidos distintos al tejido óseo.

Una vez cargada la imagen y tras realizar su tratamiento de preprocesado, el usuario seleccionará con el ratón el píxel correspondiente al tejido que quiere segmentar. Este valor será almacenado con la etiqueta *lo* para después poder realizar la comparación con los demás píxeles que conforman la imagen.

El siguiente paso será construir una matriz I2 vacía (de ceros) del tamaño de la imagen (512 x 512) que se irá llenando conforme vamos analizando los píxeles de la imagen. Para rellenar la matriz I2 tendremos que comprobar la condición de inclusión:

$$|I_0 - I(x,y)| \leq \text{Umbral}$$

Para el caso de estos tejidos el umbral debe ser menor que para las zonas óseas. Esto es debido a que el rango de tonalidad de los huesos se encuentra fuertemente diferenciado en comparación con el rango para otros tejidos que conforman el cuerpo.

Así los píxeles que cumplan este criterio de inclusión serán etiquetados con el valor uno, indicando que pertenecen a la zona que posteriormente se va a reconstruir y con el valor de dos si no cumplen el criterio establecido.

El siguiente paso será la reconstrucción de la imagen segmentada, para ello se mostrará por pantalla todos aquellos píxeles cuyo valor sea uno. Estos píxeles se mostrarán con el valor de propiedad que tenían en la imagen una vez realizado el preprocesamiento.

Finalmente suavizaremos la imagen aplicando filtros de mediana. Como comentamos en el apartado de post-procesado el filtro de mediana es un proceso no lineal especialmente indicado para imágenes con ruidos de carácter digital, es decir será muy útil para píxeles que tras hacer la umbralización cumplen con el criterio de inclusión pero se encuentren aislados sin pertenecer a ninguna región de la imagen, es en este caso cuando al utilizar filtros de mediana serán eliminados, simplificando así el ruido y mejorando por tanto la imagen mostrada.

### 4.3 Segmentación de crecimiento de regiones por semilla

Los métodos orientados a regiones constituyen un enfoque poderoso de segmentación de imágenes, orientados a la búsqueda de regiones uniformes dentro de la imagen, basándose en la idea de conectividad y similitud de los píxeles. Para ello haremos uso de Matlab y Toolbox Imagen comentado en el apartado 5.2.

El esquema de crecimiento considera como entrada una imagen con formato Dicom, (explicamos este concepto en el apartado 5.1) proveniente de TAC. Dentro de ella, cada región de interés comienza a formarse a partir de un píxel considerado semilla, éste será introducido por el usuario de la herramienta y evolucionará por la incorporación de aquellos vecinos a los ya integrados que satisfacen la condición de aceptación establecida. En este caso la condición de inclusión será que cumpla un rango de intensidad:

$$|Sem - I(x,y)| < umbral$$

Siendo Sem el valor de intensidad de gris del píxel semilla e  $I(x,y)$  el valor de gris de los píxeles adyacentes. A continuación describiremos el proceso.

Se carga la imagen a la que se le va a realizar la segmentación, para ello hacemos uso de la función `dicomread`. Una vez realizado el preprocesamiento de la imagen comentado anteriormente, se procederá a la realización del algoritmo de crecimiento de regiones.

En primer lugar se elegirá la semilla. Para ello el usuario selecciona con el ratón un píxel que se encuentre dentro de la región que quiera segmentar y se almacena el valor de intensidad de gris y su posición.

Una vez obtenido la semilla procederemos al crecimiento de regiones para obtener el contorno adecuado de las distintas regiones seleccionadas. Para crecer la región, se compara el píxel semilla con sus ocho vecinos y se comprueba si la diferencia en intensidad entre el píxel vecino y la semilla es menor que un cierto umbral. Si es así, el vecino es incluido en la región.

Una vez incluidos los píxeles en la región, se comprueba si cumplen la condición los ocho vecinos de los píxeles que acaban de ser incluidos y así seguiremos comprobando el resto de píxeles que hay en la imagen.

Pero el crecimiento de regiones a partir de un píxel semilla en particular, permitiendo que su región crezca completamente antes de tratar otras semillas, puede tener los efectos comentados en el apartado 3.2.2.2 y que repetimos a continuación:

- Crecimiento de regiones dominantes: Ambigüedades en torno a los bordes de regiones adyacentes pueden no ser resueltas correctamente.
- La elección de diferentes puntos semilla, puede dar lugar a diferentes segmentaciones.
- Pueden surgir problemas si un píxel semilla (elegido arbitrariamente) pertenece a un borde.

Para tratar de resolver estos problemas desarrollaremos una técnica de crecimiento de regiones de forma simultánea, de modo que el algoritmo de segmentación quedaría de la siguiente forma:

El usuario elige la primera semilla pinchando con el ratón el píxel que se encuentre dentro de la región que quiere segmentar. A continuación se recorre la matriz de píxeles de la imagen buscando nuevas semillas.

Se considerarán semillas aquellos píxeles que cumplan con una condición de inclusión. Esta condición permitirá introducir en la región de interés aquellos píxeles cuya diferencia de valor de intensidad con la primera semilla sea menor que un cierto umbral, el cual es fijado tras resultados experimentales.

$$|\text{Sem}-I(x,y)| \leq \text{Umbral} \rightarrow \text{Condición de inclusión}$$

Previamente se declara una matriz de ceros denominada interior, la cual conforme vamos recorriendo los píxeles si pertenecen a la región a segmentar se le asignará el valor uno mientras que si no pertenece a la región de interés su valor será de dos.

Para cada píxel semilla se crea una cola donde se guardan las coordenadas de posición  $i$  y  $j$  de los píxeles que van siendo incluidos en la región.

Dicha cola se recorre con dos índices: uno indicará el final de la cola y otro la posición del píxel que se está analizando en ese momento (al cual se le está comprobando si sus ocho vecinos cumplen la condición de inclusión).

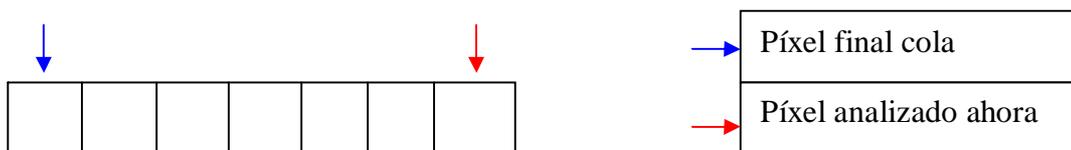


Figura 16: Cola de píxeles semilla

En cada ciclo del algoritmo, se debe extraer uno de los elementos de la cola para incluirlo a la región y luego analizar la posible extensión sobre sus vecinos. Para ello estudiaremos aquellos píxeles vecinos cuyos valores de la matriz denominada interior sea:

- Cero → Debido a que todavía no se haya hecho ninguna comprobación de la condición de inclusión.

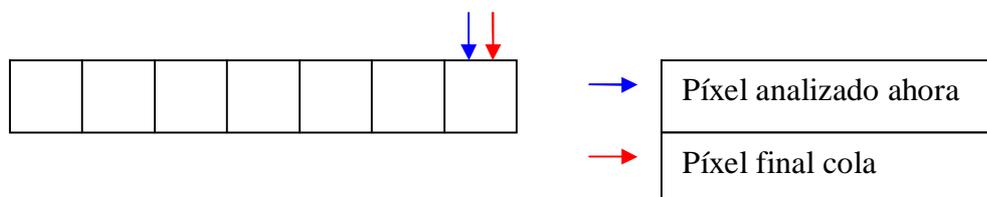
- Dos → Debido a que puede darse el caso de que no cumpla la condición de inclusión al hacer la comparación con la semilla, pero sí la cumpla con un píxel vecino que haya sido incluido en la región de interés, de modo que si estos píxeles cumplieran esta condición se le asignará el valor uno al píxel respectivo en la matriz interior y se incluirán en la pila para poder realizar la comprobación de la condición de inclusión con sus ocho vecinos, en caso contrario mantendrían el valor cero.

Uno de los aspectos interesantes de esta técnica es que las regiones crecen también a través de la incorporación de los vecinos de los píxeles ya incluidos, por lo que se asegura la conectividad entre los elementos de la región segmentada.

$$|I(x_i, y_i) - I(x, y)| \leq \text{Umbral}$$

Así con este método aumentaremos las capacidades de crecimiento, dado que el criterio de inclusión de píxeles de este algoritmo incorpora técnicas que evalúan la pertenencia a la región por la variación de la intensidad del píxel respecto al píxel semilla y respecto a píxeles cuya diferencia de intensidad con el píxel recientemente incorporado a la región sea pequeña.

El crecimiento de la región para cada semilla finalizará cuando los índices que corresponden al final de la cola y el índice que indica la posición del píxel que se está analizando en ese momento coincidan.



**Figura 17: Cola de píxeles semilla**

Finalmente antes de representar la imagen realizaremos técnicas de post-procesado. Una manera de mejorar la calidad de la superficie es aplicar un post-procesamiento de suavizado, de manera que se disminuyan las irregularidades y se logre una apariencia semejante a las formas originales de los materiales. El suavizado se realiza mediante la aplicación de un filtro paso de baja, en concreto usando filtros de mediana.

El filtro de mediana es un filtro que da el valor del píxel según la mediana de los 8 vecinos del píxel. Gracias a estos filtros se reduce el tramado de la imagen, eliminando las texturas insignificantes y ruidos. En nuestro caso necesitamos aplicar sucesivamente dos veces el filtro de mediana para obtener resultados adecuados.