

## CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

*“El futuro pertenece a quienes creen en la belleza de sus sueños”.*  
Eleanor Roosevelt.

En este último capítulo de la memoria presentamos, por un lado, las conclusiones más trascendentes que podemos extraer de toda la secuencia de estudio del Estado del Arte, diseño de algoritmos de segmentación y caracterización de imágenes, y todos los resultados derivados de ambos procesos.

Además, proponemos algunas líneas de investigación que continúen el trabajo plasmado en esta memoria de Proyecto Fin de Carrera.

## 7.1. Conclusiones

En el primer capítulo de este Proyecto Fin de Carrera, concretamente en las secciones 1.2.1 y 1.2.3, establecíamos, por una parte, los objetivos del proyecto VirSSPA y, por otra, las mejoras propuestas para alcanzar, desde nuestra labor, algunos de los objetivos marcados en ese proyecto de carácter más amplio.

Llegados a este punto, es necesario hacer balance de lo cumplido y de lo que aún queda por hacer. Además, desde un punto de vista más técnico, daremos cuenta de los resultados más relevantes.

### 7.1.1. Evaluación de objetivos

Los objetivos de VirSSPA establecidos en la sección 1.2.1 y su correspondiente valoración son:

1. **Optimizar el proceso de planificación quirúrgica en intervenciones de cirugía de cabeza y cuello mediante el desarrollo de una herramienta de ayuda que permita disminución de tiempos de programación de las intervenciones, disminución de tiempos de quirófano y mejora de los resultados en dichas intervenciones.** Como ya hemos comentado en alguna ocasión, el tiempo medio de planificación de una intervención quirúrgica rondaba los 90 minutos, de los cuáles más de la mitad se empleaba en el proceso de segmentación. Si este proceso requería un tiempo, en el mejor de los casos, de aproximadamente 50 minutos, este tiempo se reduce drásticamente. Si tenemos en cuenta que el software VirSSPA sólo admite un máximo de 90 cortes axiales CT, y nosotros hemos estado trabajando en situaciones mucho más costosas desde un punto de vista computacional (incluso hasta 670 cortes en algunas pruebas), podemos afirmar que el tiempo de segmentación se reduce, como mínimo, a la décima parte, esto es, 5 minutos. Además, el algoritmo cuenta con prevención de bloqueo (cuando el coeficiente de confianza alcanza el valor 3, el algoritmo imprime la salida correspondiente a esa iteración como resultado final), por lo que también evitamos reinicios de sistema y demás operaciones engorrosas.
2. **Facilitar el entrenamiento y formación de los profesionales sanitarios.** Una de las prioridades fundamentales del proceso de diseño ha sido siempre la simpleza y facilidad de uso de los algoritmos presentados por parte del personal facultativo. Por eso decidimos que el facultativo estableciese una única semilla, aún a sabiendas de que esta condición

inicial precisaba de más etapas de procesado. Además, para que el médico pudiera evaluar si estaba de acuerdo con los resultados obtenidos y, en caso contrario, poder modificarlos de forma simple, añadimos un módulo semimanual de segmentación para la mejora o modificación de los resultados obtenidos por el algoritmo núcleo de segmentación de imágenes médicas tridimensionales.

3. **Servir como paso previo a la extensión de estas tecnologías a otras especialidades médicas.** De hecho, las pruebas realizadas desde un primer momento no han distinguido regiones anatómicas ni tejidos, de modo que esta tecnología pudiera ser utilizada por todas las disciplinas médicas. También hemos indicado en otras ocasiones que si las imágenes utilizadas aportaran información metabólica (como en el caso de PET-CT), la herramienta adquiriría un poder diagnóstico notable que habría que explotar.
4. **Disminución de tiempos de quirófano: reducción de costes (coste horas-quirófano) y aumento de la calidad de trabajo de los profesionales sanitarios al evitar el cansancio y falta de concentración consecuencia de las intervenciones de larga duración.** Del éxito de la planificación quirúrgica depende la optimización de las intervenciones posteriores, por lo que la solución adoptada permite reducir también las horas de duración de las operaciones y el cansancio de los facultativos durante su preparación.
5. **Incremento de la tasa de éxito en las intervenciones: el médico conoce el alcance exacto de la lesión que sufre el paciente antes de proceder a la operación. Se evitarán problemas derivados de la necesidad de improvisar soluciones sobre la mesa de operaciones y se disminuirá el coste prueba-error.** Al haber reducido notablemente la cantidad de casos "impracticables" desde el punto de vista de la planificación quirúrgica, y al aumentar por tanto la tasa de éxito y la fidelidad de los resultados obtenidos, el personal médico puede intervenir quirúrgicamente con un amplio conocimiento de lo que se va a encontrar y de lo que tiene que hacer, puesto que ha podido planificarlo de forma fidedigna previamente.

### 7.1.2. Evaluación de las mejoras propuestas

Las mejoras propuestas en la sección 1.2.3 y su valoración son:

1. **Diseño de algoritmos de segmentación que eliminen el cuello de botella temporal que supone la segmentación en la herramienta VirSS-PA.** Como ya hemos comentado en la sección anterior, el cuello de botella ha sido eliminado, ya que el proceso de segmentación ha pasado de ocupar más del 50 % del total de la planificación quirúrgica, a ocupar únicamente el 10 % de la misma, pasando su tiempo de ejecución de una media de 50 minutos a un máximo de 5 minutos.
2. **Diseño de algoritmos de segmentación que mejoren sustancialmente, desde un punto de vista de la imagen, los resultados obtenidos.** Es evidente que la riqueza de posibilidades del algoritmo, que con una sola metodología ha logrado segmentar todo tipo de tejidos en todas las regiones anatómicas (incluso tejidos blandos que, como ya vimos en la sección 3.3, su segmentación es especialmente compleja y precisa casi siempre de modelos de forma adicionales), ha aumentado con creces. Especial importancia en este éxito ha tenido la fase de estudio y de preprocesado, que ha allanado el camino para lograr facilitar al segmentador la tarea.
3. **Diseño de un sistema de caracterización y clasificación para recuperación de imágenes médicas.** A pesar de la simpleza y particularidad de la solución propuesta, los conocimientos adquiridos sobre registro, caracterización y clasificación de imágenes médicas en 3D suponen un magnífico punto de partida para seguir trabajando en esta interesante rama de investigación. Para el caso concreto de la clasificación de huesos largos, la solución responde de forma exitosa a las necesidades del personal facultativo.

## 7.2. Líneas futuras

En cuanto a la **Segmentación** de imágenes médicas, y como ya hemos indicado en diversas ocasiones, aunque para la validación de los algoritmos desarrollados, y por prescripción de VirSSPA, únicamente hemos utilizado imágenes CT, el algoritmo está diseñado de modo que pueda utilizarse cualquier tipo de imagen. Por eso, nuestra propuesta de línea de investigación futura consiste en validar el algoritmo con imágenes MRI y PET-CT o SPECT-CT, de modo que se evalúe su impacto tanto en la planificación quirúrgica como en otras posibilidades de la Medicina, tales como la prevención de patologías, el diagnóstico o la planificación de terapias de recuperación.

En cuanto a la *caracterización y recuperación de imágenes médicas*, desarrollamos una propuesta de comparación de estructuras segmentadas con modelos de forma, que proponemos como línea de investigación futura y que adjuntamos en la memoria a modo de Apéndice, en la sección A.