

## 2. Estado del Arte

La Realidad Virtual ha constituido una de las áreas de investigación con un desarrollo más espectacular en los últimos años. Su uso ha permitido importantes avances en sectores tan diversos como la industria, la medicina y la arquitectura, mejorando actividades como la automatización y revisión de diseños, la simulación interactiva, el diseño cooperativo, el entrenamiento, y en general la visualización e interpretación de datos. Una de las principales aplicaciones es la telerobótica, que consiste en el manejo de robots a distancia, pero con la salvedad de que el operador ve lo que el robot está viendo e incluso tiene el tacto de la máquina. Se están utilizando sistemas de este tipo, permitiendo acortar los tiempos de diseño de un producto de vida muy corta en cuanto a la permanencia de un modelo en el mercado. La Realidad Virtual también se utiliza para tratar sistemas que no pueden ser manejados en el mundo real.

En el campo de la Medicina, las posibles aplicaciones de la Realidad Virtual son muchas. Por citar tan solo algunos ejemplos, podemos destacar:

En el campo de la cirugía se estudia el desarrollo de "quirófanos virtuales" en los que el médico podría practicar operaciones quirúrgicas a través de un computador, sistemas de telepresencia, etc.

También en el campo de la cirugía, se trabaja en el desarrollo de aplicaciones de Realidad Virtual que permitan la simulación de diferentes intervenciones quirúrgicas. Esta aplicación será de gran interés, ya que servirá no sólo como plataforma de entrenamiento para los futuros cirujanos, sino también para que los cirujanos expertos puedan "operar virtualmente" a sus pacientes antes de hacerlo realmente y por tanto prever posibles complicaciones o buscar la mejor solución.

El avance tecnológico producido en los últimos años ha transformado considerablemente las características del tratamiento de imágenes médicas. La aparición de dispositivos de captura sofisticados, tales como equipos de tomografía computada (CT), han marcado un cambio revolucionario sobre las prácticas de diagnóstico, al permitir la reconstrucción de cortes internos del cuerpo con alta precisión. Por otro lado, las mejoras en la tecnología de la computación gráfica y la reducción de costos de los equipos personales han permitido el desarrollo de diverso tipo de aplicaciones que antes estaban restringidas a grandes equipamientos, debido a la demanda computacional de los

algoritmos involucrados. De esta manera, es factible actualmente la implementación de facilidades de visualización y análisis de imágenes generadas a partir de TAC, brindando herramientas de tipo no-invasivo para asistencia de los profesionales en diferente tipo de procedimientos médicos.

En particular, la habilidad de detectar estructuras con características determinadas dentro de una imagen constituye un aspecto fundamental para la automatización de diverso tipo de aplicaciones. Este tipo de procedimientos, conocidos como segmentación de imágenes, permiten la descomposición de una imagen en regiones de interés, según cada aplicación particular.

Actualmente, se encuentran sistemas que aún utilizan una delimitación manual de los objetos por parte del usuario, en base a la determinación de puntos correspondientes a la frontera de componentes. Esta práctica constituye una tarea tediosa y poco repetible, además de ser propensa a errores, por lo que es deseable que en general la intervención del usuario sea mínima y restringida a aquellas situaciones en que puede ser provista en una forma simple y robusta. Este es el caso de VirSSPA, el cual es un software que permite dotar a los facultativos de una infraestructura y conjunto de herramientas basadas en técnicas de realidad virtual, de ayuda a la planificación y la simulación de intervenciones. El proyecto VirSSPA comenzó en 2005 y continúan actualmente trabajando en él profesionales de la medicina e ingenieros de telecomunicación de los Hospitales Universitarios "Virgen del Rocío", Especialistas en Gestión por Procesos y en Tratamiento de Señales de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla, así como de los Hospitales Universitarios "Virgen del Rocío" y Técnicos especialistas en el desarrollo de aplicaciones basadas en simulación, visualización y realidad virtual

Los objetivos principales de VirSSPA son los siguientes:

- Optimizar el proceso de planificación quirúrgica en intervenciones de cirugía mediante el desarrollo de una herramienta de ayuda a la planificación de intervenciones quirúrgicas que permita la disminución del tiempo de programación de la intervención y disminuye el tiempo en quirófano necesario y la mejora de los resultados en dichas intervenciones.
- Facilitar el entrenamiento y formación de los profesionales sanitarios.
- Servir como paso previo a la extensión de estas tecnologías a otras especialidades médicas.

- Disminuir el tiempo de quirófano necesario, este hecho supondrá la reducción de costes (coste horas-quirófano) para la organización. Este hecho repercutirá en la calidad de trabajo de los profesionales sanitarios evitando el cansancio y la falta de concentración consecuencia de las intervenciones de larga duración.
- Incrementar la tasa de éxito en las intervenciones debido a que el médico conoce el alcance exacto de la lesión que sufre el paciente antes de proceder a la operación. Así el facultativo obtiene una percepción más real y concreta de las estructuras anatómicas del paciente en ese momento. De esta forma se evitarán un gran número de problemas derivados de la necesidad de improvisar soluciones sobre la mesa de operaciones disminuyendo el coste prueba-error.
- Aumentar la calidad asistencial a los pacientes gracias a la disminución del tiempo de espera hasta la intervención quirúrgica y del tiempo dentro del quirófano con la consiguiente reducción de riesgos sobre la salud del mismo.

En la actualidad el programa es conocido por todos los facultativos de las Unidades de Gestión Clínica de Cirugía Oral y Maxilofacial y de Cirugía Plástica y Grandes Quemados de los Hospitales Universitarios "Virgen del Rocío".

Su uso es inicialmente, de forma piloto. Lo emplean de forma reglada en tareas de planificación de intervenciones de cirugía reconstructiva. Los resultados parecen ser bastante positivos. Se ha intervenido a pacientes utilizando VirSSPA en operaciones de más de seis horas de duración, como son las grandes resecciones de lesiones cancerosas que luego requieren la reconstrucción del defecto con colgajos libres microvascularizados o bien la reconstrucción secundaria de grandes secuelas postraumáticas como las heridas por arma de fuego. Los facultativos se muestran satisfechos con los resultados obtenidos ya que pueden encarar las intervenciones con un mayor conocimiento de la patología del paciente.

En este proyecto plantearemos el diseño de nuevas técnicas de segmentación que introducidas en VirSSPA, nos permitirá mejorar notablemente la herramienta.

El desarrollo de métodos de segmentación prácticamente automáticos, como los desarrollados en este proyecto, tiene el potencial de reducir sustancialmente el tiempo consumido por algunos procedimientos médicos, los que así podrían llevarse a

cabo con mayor efectividad y menor riesgo (Ej. planificación de cirugías o de tratamientos complejos como los de radioterapia, etc.)

Se han propuesto diferentes métodos computacionales capaces de llevar a cabo la segmentación. Entre ellos:

- Los enfoques basados en las intensidades de los píxeles, como la **umbralización** [1]. Éstos pueden ser aplicados exitosamente a la identificación de algunas componentes (como hueso, por ejemplo). Sin embargo, la mayoría de los tejidos pueden que no lleguen a diferenciarse de forma precisa sólo por sus propiedades de tonalidad, haciendo necesaria la aplicación de otro tipo de opciones de segmentación.
- Los enfoques basados en la **detección de bordes** [1] permiten la delimitación de fronteras entre componentes, caracterizadas por puntos de alto valor de gradiente. Este tipo de métodos resulta apropiado para imágenes de características bien definidas, con amplio contraste, aunque también pueden producir resultados no satisfactorios debido a su sensibilidad al ruido. Esto es decisivo en el caso de imágenes provenientes de reconstrucción tomográfica, en las cuales los diferentes tejidos suelen poseer intensidades no uniformes y los bordes no siempre resultan claramente definidos a partir de las intensidades de los píxeles.
- Los enfoques basados en métodos de segmentación por **crecimientos de regiones** [2] permiten la delimitación de fronteras entre componentes. Debido al criterio de conectividad inherente en crecimiento de regiones nos permitirá reconstruir contornos más precisos de los distintos objetos que componen la imagen. Para ello buscan delimitar zonas homogéneas de la imagen, mediante la inclusión de los elementos que cumplen determinado criterio de similitud.
- Existen además otros enfoques más recientemente propuestos. Entre ellos se encuentran los métodos de segmentación basados en **contornos activos** [3], siendo los más conocidos los que utilizan *snakes*, definidas como curvas elásticas que evolucionan alrededor del objeto a segmentar. Si bien se han obtenido resultados satisfactorios de su aplicación, se trata de esquemas computacionalmente intensivos y que plantean algunos inconvenientes [4], principalmente cuando los objetos a segmentar poseen formas irregulares.

- Otras alternativas se definen mediante algoritmos de **clustering** [5] , o de **redes neuronales** [6], etc.

Si bien son muchas las opciones disponibles, aún no existen soluciones definitivas ni técnicas generalmente aplicables, por lo que la segmentación de imágenes constituye un campo de continua investigación.

En este proyecto desarrollamos un método de segmentación basado en la estrategia de crecimiento de regiones. Se han establecido criterios elaborados que permiten controlar la incorporación de píxeles a la región, una manera de prevenir el escape del llenado hacia otras zonas adyacentes de la imagen. Además se implementará un método de segmentación basado en la umbralización.

Estos algoritmos de segmentación estarán provistos de tratamiento de situaciones problemáticas. Para ello se realizarán aumentos de contraste, normalización de la imagen y filtros de post-procesamiento para mejorar la calidad de la superficie.

Los distintos algoritmos se aplicarán directamente sobre la imagen digital. Una vez implementados se realizarán las comparaciones oportunas para la elección del mejor método.

La estrategia se complementa con la posibilidad de generar el modelo de superficie de las componentes detectadas, para ello la imagen será conformada en tres dimensiones a partir de los sucesivos cortes transversales originales.