

CAPÍTULO 2

TÉCNICAS GRÁFICAS, VISIÓN POR COMPUTADOR Y MODELOS DE VISUALIZACIÓN EN IMÁGENES MÉDICAS: ESTADO DEL ARTE

Dr. Norberto Ezquerra¹, Eduardo Quintás², Justo A. Álvarez²

¹*GVU group, Universidad Tecnológica de Georgia, Atlanta*

²*Departamento de Tecnologías de la Información y las
Comunicaciones de la Universidad de A Coruña*

El campo de las imágenes médicas ha avanzado significativamente en los últimos años, convirtiéndose en una herramienta primordial en la práctica de la medicina y generando, a su vez, nuevas líneas de investigación científica que abarcan múltiples disciplinas. Esta evolución ha sido posible gracias a la fusión de áreas tradicionalmente separadas pero muy relacionadas: Desde de la visión por computador y el procesado de imágenes, pasando por técnicas gráficas y visualización, hasta los entornos inmersivos e interactivos y dispositivos para la manipulación interactiva de la información. Como resultado de estas innovaciones, las imágenes médicas se están reinventando a si mismas continuamente, fundamentalmente en el modo en que son vistas, en como son comunicadas y aprendidas y, por último, en la forma de interactuar con la información médica.

Dicho esto, el propósito de este documento, es doble. Por un lado se describirá, a modo de resumen, los métodos y técnicas más destacadas, los resultados de su aplicación y la problemática que conllevan; por el otro se presentarán los retos actuales y futuros.

Lógicamente es una tarea imposible estudiar con profundidad todos los trabajos que se están realizando en imágenes médicas, pero se intentará dar una visión general desde la perspectiva de la visión por computador, técnicas gráficas y modelos de visualización.

Palabras clave : imágenes médicas, técnicas gráficas, visión por computador, imágenes 3D.

Keywords: medical imaging; graphics; medical graphics, computer vision, medical computing.

2.1 INTRODUCCIÓN

Desde que, a principios de siglo, *Roentgen* descubrió los rayos X. El campo de las imágenes médicas no ha dejado de progresar, tanto en la práctica médica como en el ámbito científico. Esta evolución se ha debido a las técnicas computacionales aplicadas a la imagen y al abaratamiento del software y el hardware de los equipos informáticos propiciando una mayor accesibilidad a los mismos y la creación de algunos estándares. Por ejemplo, la capacidad gráfica de un supercomputador dedicado a tal fin de hace 10 años, es actualmente igualado o superado por sistemas computadores convencionales actuales.

También se ha avanzado en la adquisición de imágenes médicas, con las nuevas modalidades es posible capturar la dinámica de los músculos del corazón o de la función cerebral. Esta flexibilidad en la adquisición de imágenes médicas y el crecimiento de la capacidad computacional ha permitido a los investigadores afrontar nuevas aplicaciones médicas. Uno de los resultados más interesantes de estos cambios ha sido la fusión de una serie de disciplinas tradicionalmente disjuntas, desde de la visión por computador y el procesado de imágenes, pasando por técnicas gráficas y visualización, hasta los entornos inmersivos e interactivos y dispositivos para la manipulación interactiva de la información.

La figura 1 representa un conjunto de tareas computacionales que son comunes en las imágenes médicas y servirán como guía en los siguientes capítulos, pues para la consecución de dichas tareas se utiliza las disciplinas mencionadas. Se tomará como plantilla de los siguientes capítulos para

presentar los métodos y técnicas más significativos que han surgido en cada una de esas etapas.

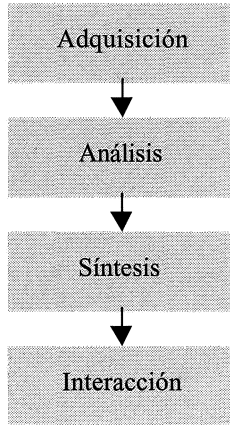


Figura 1. Etapas comunes en el procesado de imágenes médicas. Cada etapa posterior depende de las anteriores en cuanto a resultados obtenidos.

2.2 MÉTODOS SIGNIFICATIVOS Y TÉCNICAS MÁS PROMETEDORAS

En el presente capítulo se describirán las técnicas y métodos más importantes en imágenes médicas, para dotar de cierto orden a la exposición se seguirá el esquema de la Figura 1.

2.2.1 ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

Para obtener una imagen médica se utilizan normalmente aparatos clínicos denominados modalidades. Las modalidades tienen características propias

que inciden en el tipo y calidad de las imágenes obtenidas. En la tabla 1 se muestra un resumen de las modalidades que se utilizan actualmente en entornos clínicos.

Modalidad	Características básicas	Variantes	Volúmen relativo (MB/Imagen) (MB/Estudio)	
<i>Rayos x</i>	Modalidad de transmisión	Radiografía	0.8	04
	Mide la atenuación de los rayos	TAC	0.52	13
	Indica de forma relativa el tipo de tejidos y la densidad	TAC Espiral		
	Emite radiación	Angiografía	0.8	32
	Ampliamente utilizado en diagnóstico y monitorización.			
<i>Medicina Nuclear</i>	Modalidad de Emisión	PET	0.13	0.8
	Mide cantidad de radioactividad	SPECT		
	Muestra cambios del metabolismo y procesos fisiológicos			
	Emite radiación			
	Utilizado en diagnóstico y monitorización.			
<i>Ultrasonidos</i>	Modalidad de transmisión	Ecografía	0.3	11
	Mide cambios en impedancias	Efecto Doppler		
	Indica cambios dinámicos en las estructuras			
	Ondas no ionizantes (no implica peligros de radiación)			
<i>Resonancia Magnética</i>	Transmisión / Emisión	Obtención de	0.5	16
	Mide las emisiones de una fuente de naturaleza nuclear que emite a través del cuerpo	cortes 2D		
	Estructura molecular y dinámica de los tejidos	MRA		
	La radiación no es ionizante	t-MRI		
		f-MRI		

Tabla 1. Resumen de modalidades actuales y sus características.

Con estas modalidades se pueden obtener imágenes médicas que recogen la estructura del cuerpo, su dinámica y el tipo de tejidos. Para conseguir imágenes de alta resolución se puede utilizar una Tomografía Axial Computerizada en Espiral y para capturar el proceso cerebral pueden utilizarse las modalidades de la medicina nuclear. Para estudiar el flujo sanguíneo de una arteria son útiles las modalidades que utilizan ultrasonidos. Pero, en ocasiones, se precisa generar información médica del conjunto de varias imágenes obtenidas con distintas modalidades implicando todo ello la consecución de un proceso de fusión.

Estos avances en las tecnologías de adquisición, junto con otros computacionales, son los que han provocado que este campo esté continuamente renovándose y aparezcan nuevas técnicas y métodos asociados.

Se debe tener presente que las imágenes médicas pueden ser obtenidas, igualmente, a partir de procesos tradicionalmente informáticos como una base de datos o un escáner común.

A continuación se estudiará con más detalle algunas de las modalidades mencionadas.

2.2.1.2 La Resonancia Magnética.

Esta modalidad es una de las más avanzadas y aporta un gran volumen de información sin provocar efectos colaterales por exposición sobre el paciente. Permite al médico visualizar las posibles deformaciones que puedan darse en cortes de estructuras dinámicas como el corazón. En la figura 2 se muestran cortes del mismo tomados con una resonancia magnética.

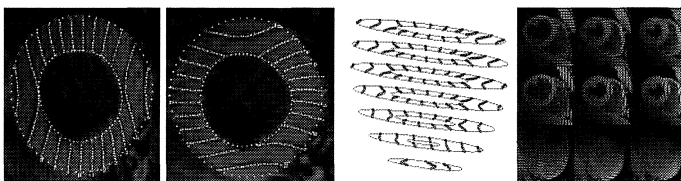
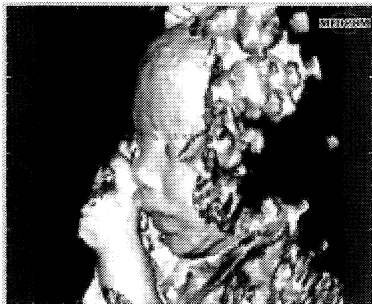


Figura 2. Reconstrucción de la imagen a partir datos obtenidos por emisiones nucleares en una resonancia magnética

Las Resonancias Magnéticas Etiquetadas son válidas, por ejemplo, para evaluar el estado de los músculos del corazón, estudiando como éstos se dilatan y se contraen con el paso del tiempo. También sirven como base para la creación de modelos que representen la dinámica de los movimientos característicos del corazón.

2.2.1.3 Los Ultrasonidos.

Algunos de los principales inconvenientes de la tecnología anterior son su coste y su disponibilidad, por ello se han buscado otras soluciones con modalidades más accesibles y económicas. Por ejemplo, las modalidades basadas en ultrasonidos están ampliamente extendidas y gracias a los avan-



ces de reconstrucción tridimensional se ha podido crear un sistema computacional de bajo coste que sirve para el estudio de los conjuntos de información generados por este tipo de modalidades.

Figura 3. Volumen de un feto obtenido con el software InVivoScanNT

Concretamente el software *InVivo-ScanNT* desarrollado por *George Starkas* y el *Instituto Fraunhofer* de Alemania proporciona una potente aplicación

para generar imágenes tridimensionales en pocos segundos utilizando ordenadores de bajo coste.

2.2.1.4 Imagen microscópica

Pese a que no se ha mencionado en la tabla general de modalidades (tabla 1), merece la pena mencionar este modo de adquisición, pues es el único que se realiza sobre estructuras microscópicas, válidas para el estudio de células y pequeños seres vivos.

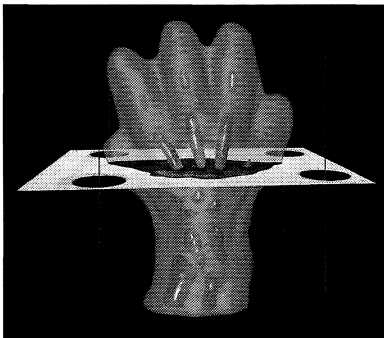


Figura 4. Reconstrucción a partir de series de imágenes histológicas del embrión de un ratón.

Investigadores de la Universidad de Viena están trabajando con este tipo de modalidades y la figura 4 corresponde a uno de sus estudios sobre el embrión de un ratón creada a partir de

series de imágenes histológicas. Destacar las líneas rojas verticales, que permiten el alineamiento de las series de imágenes.

2.2.2 ANÁLISIS

En la etapa de análisis se realizan tareas como: la segmentación de la imagen, que significa separarla en sus partes constitutivas de forma que la estructura segmentada responda a una determinada semántica; la fusión de datos provenientes de una modalidad con un modelo de referencia (*matching*) y, por último, una posible interpretación de los datos extraídos a través de su etiquetado o catalogación.

2.2.2.1 Segmentación

Si se posee una imagen bidimensional obtenida de un TAC que corresponda a un corte longitudinal a la altura del pecho es de prever que se pueda distinguir en ella parte de los pulmones, el corazón, la masa muscular, algunos tendones, y la masa ósea, entre otros elementos. La segmentación sería el proceso por el cual se reconocerían estructuras físicas y se separarían unas de otras en imágenes médicas. La segmentación depende en gran medida de la modalidad de la que provengan las imágenes.

No es un proceso trivial y no existen técnicas globales de segmentación totalmente automáticas y en algunos casos solo se han desarrollado técnicas semiautomáticas que conllevan una posibilidad de error alta si no es supervisada por un experto. De hecho, los principales investigadores en este ámbito dudan de que se pueda encontrar una solución global a este problema a medio plazo con las tecnologías de adquisición actual y, como agravante de esta situación, ya se lleva investigando más de 3 décadas en ella.

Dados los extensos esfuerzos dedicados a la segmentación existen un gran número de métodos y algoritmos asociados: operaciones basadas en regiones (morfología matemática), aproximaciones basadas en modelos y métodos guiados por el conocimiento entre los más destacables.

2.2.2.1.1 Contornos Activos y *Snakes*

Una de las técnicas actuales para extraer elementos a partir de imágenes son los contornos activos y particularmente las *Snakes* que fueron formuladas hace más de una década por Terzopoulos, Witken y Kass y recuperadas

recientemente para resolver parte del problema de la segmentación en imágenes médicas.

Una *Snake* es, en síntesis, un contorno cerrado que se ciñe o expande hacia una porción de la imagen dependiendo de las diferencias de gradiente o intensidad de color de la imagen. Es necesario aportar la posición inicial de la *snake* y esta, en iteraciones consecutivas, irá ciñéndose a la estructura que alberga en el interior.

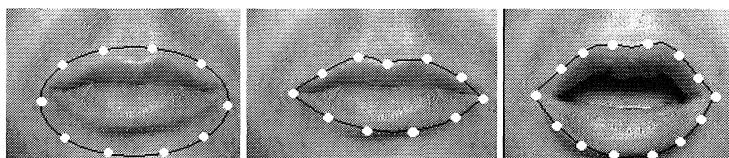


Figura 5. Ciclo de vida de una *Snake*: En la imagen de la izq. está en su posición inicial. En la imagen central ha convergido a una posición estable. En la imagen de la derecha se observa como con el movimiento la *snake* se adapta a la estructura inicial.

Existen, también, *snakes* tridimensionales para extraer elementos de imágenes médicas 3D. El mayor inconveniente de las *snakes* es su alto grado de parametrización (constantes de elasticidad, etc.) además de la necesidad de proporcionar una posición inicial para ser usadas. Una ventaja reseñable es que, una vez que converge, se adapta dinámicamente al movimiento de la estructura acotada.

En estos momentos, las *snakes* y la morfología matemática son los métodos de segmentación más utilizados e investigados y constituyen una línea de investigación muy prometedora para abordar el problema de la segmentación.

2.2.2.2 Adaptación de Modelos (*matching*)

Cuando se realiza un estudio de un paciente se obtienen conjuntos de datos que han de segmentarse para poder ser estudiados, si se posee un modelo de referencia, se puede intentar encajar el modelo del paciente con el modelo de referencia.

Para ello existen varias técnicas, las más importantes son: Transformaciones rígidas, transformaciones no-rígidas, modelos deformables, punto cercano iterativo y maximización de la información común.

En concreto, se describirá la técnica de los modelos deformables en el que el conjunto de datos obtenido por una modalidad se intenta adaptar a un modelo de referencia previo, ya segmentado y catalogado, a través de deformaciones. Así, es fácil reconocer estructuras en el conjunto recién obtenido por similitud con el conjunto de referencia. Estos modelos deformables se crean utilizando métodos de superficies activas ó técnicas topológicas.

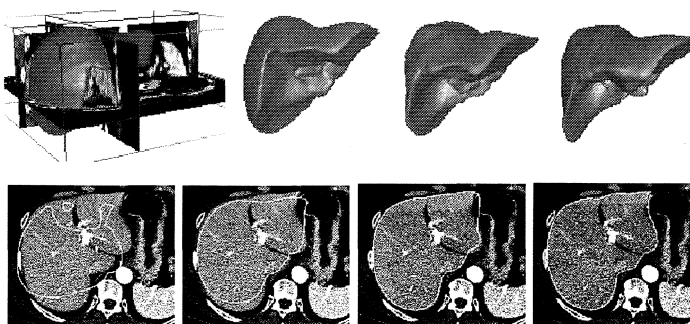


Figura 6. Aplicación de una aproximación de modelo deformable, realizada por investigadores del INRIA. El órgano representado es un hígado. El conjunto de datos es deformado al conjunto de referencia utilizando restricciones locales y globales.

2.2.2.3 Interpretación y etiquetado

Otro aspecto importante del análisis es la interpretación y la comprensión de lo que se ha segmentado. Las aproximaciones más recientes utilizan técnicas de Inteligencia Artificial y Visión por Computador para etiquetar y catalogar las estructuras obtenidas mediante el proceso de segmentación. En general, pueden clasificarse en métodos basados en el conocimiento y métodos basados en modelos.

Un buen ejemplo de lo mencionado es el trabajo *VOXEL-MAN/brain* que lleva a cabo Karl Hoehne y sus colaboradores en la Universidad de Hamburgo. En su trabajo han creado un modelo simbólico del cuerpo humano para poder describir todos sus componentes anatómicos y las relaciones entre ellos.

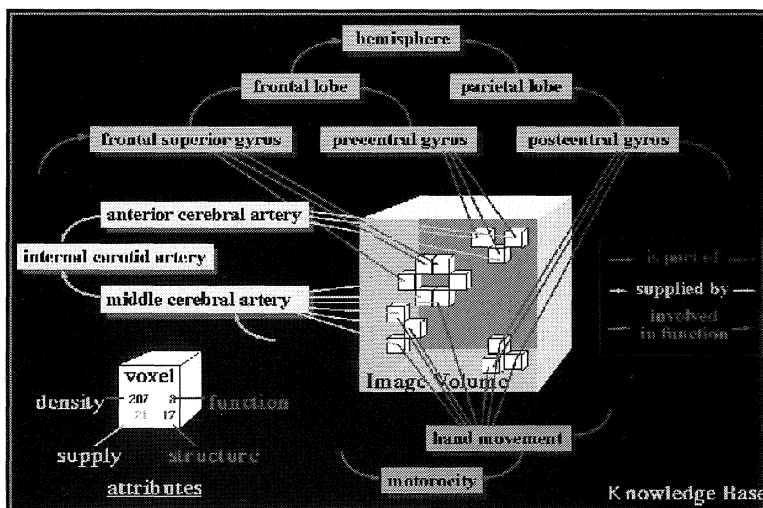
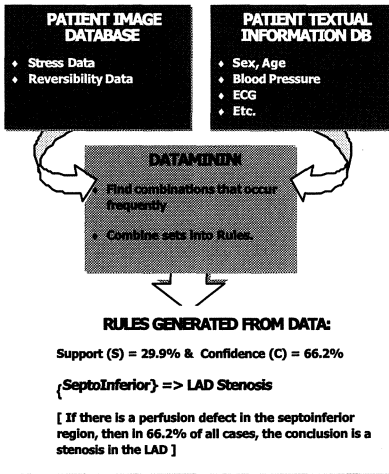


Figura 7. Esquema explicativo del proceso de etiquetado del Voxel-Man

La interpretación y catalogación de imágenes médicas tiene otro claro ejemplo en el proyecto que también se lleva a cabo en el Instituto Tecnológico de Georgia, y que utiliza técnicas de *datamining* sobre imágenes así como otra información médica para descubrir aspectos no descritos y significativos



que puedan existir entre la imagen y los datos médicos.

Estas operaciones de *datamining* tienen como resultado la generación de reglas que representan nuevo conocimiento no reflejado en la base de datos inicial.

Figura 10. Diagrama de flujo del sistema de descubrimiento de conocimiento a partir de imágenes y datos médicos.

2.2.3 SÍNTESIS

Siguiendo las sucesivas etapas en el procesado de imágenes médicas, se llega a la etapa de síntesis, en la que se crean modelos 3D, se *renderizan* y se animan.

2.2.3.1 Creación del modelo 3D

En estos últimos años han surgido un buen número de técnicas eficientes y útiles para visualizar imágenes médicas tridimensionales. Las principales son:

- Extracción por superficies homogéneas.
- Construcción de mallas (FEM, Sistemas de muelles, Etc.)
- Geometría diferencial.
- Modelos activos y deformables
- Geometría diferencial, CSG

Una de las técnicas más conocida y usada es la de inundación de superficies homogéneas por cubos de tamaño variable, que fue desarrollada en los años 80 para ayudar a la extracción y visualización de superficies directamente a partir de un conjunto de datos médicos 3D.

Esta técnica se ha ampliado para la construcción de modelos volumétricos, empleando métodos matemáticos de elementos finitos, sistemas de resortes o muelles y otras técnicas de modelado tales como las que se mostrarán en los apartados siguientes.

2.2.3.1.1 Modelo de muelles

Un ejemplo de método para la creación de modelos es la aproximación dirigida por Gross y otros colaboradores en el Instituto Federal Suizo de Tecnología orientada a la construcción de modelos volumétricos 3D para simular intervenciones quirúrgicas.

Tal como se observa en la figura, se utilizan mallas dónde los vértices son muelles o resortes que pueden ser deformados y cortados para modelar dichas operaciones quirúrgicas. La malla tetraédrica de muelles forma la

estructura interna del tejido virtual en este prototipo de simulador quirúrgico llamado ARTiST.

Las aristas que conectan las masas son modeladas como muelles, representando la elasticidad del tejido.

Este modelo, basado en mallas, es también práctico para representar la elasticidad y la flexibilidad de diversos tipos de tejido.

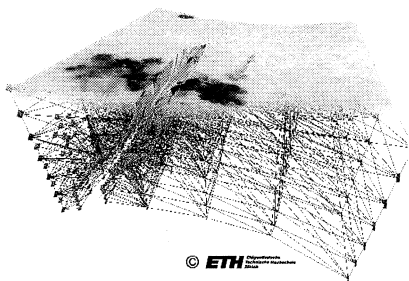
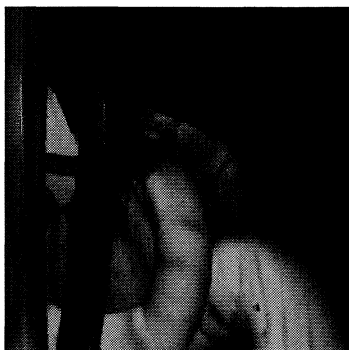


Figura 11. Detalle de la malla tetraédrica de muelles que simula diversos tipos de tejidos en la aplicación ARTiST.

2.2.3.1.2 Aplicación de texturas

Realmente, la aplicación de texturas, es una técnica complementaria a las anteriores y aporta un mayor realismo al modelo. A las caras exteriores de los elementos representados se les dota de una textura similar a la del elemento



anatómico original. Es una técnica sencilla de aplicar y poco costosa desde el punto de vista computacional, gracias a los avances en *hardware* gráfico actuales y al desarrollo de nuevas técnicas de *mapeado* de texturas.

Figura 12. Aplicación de texturas características a un modelo tridimensional.

2.2.3.2 Renderizado y Visualización

En este punto de la etapa de síntesis se describirán los métodos más significativos de representación y visualización de los conjuntos de datos obtenidos en la subetapa anterior de una forma eficiente.

Se puede dividir a su vez en: Renderizado de superficies, renderizado volumétrico y soluciones híbridas.

Un ejemplo significativo es el proyecto que se ha realizado en la Universidad de Viena basado en proyecciones de máxima intensidad, que representa un nuevo concepto de visualización para grandes conjuntos de datos. No existe una malla tridimensional, sino que cada píxel se calcula como un rayo que atraviesa el conjunto de datos, obteniendo para cada uno de ellos la intensidad adecuada.

Tal como se muestra en la figura, el renderizado basado en proyecciones de máxima intensidad es útil para visualizar la estructura arterial dentro de cuerpo humano. Es posible acotar las densidades a rangos concretos permitiendo realizar una pseudo segmentación por intervalos de intensidad.



Figura 13. Imagen volumétrica de la cabeza humana renderizada con la técnica de proyecciones de máxima intensidad.

En la actualidad, este y otros grupos de investigación, están explorando métodos de renderizado más eficientes para este tipo de visualización, el objetivo es lograr modelos interactivos con menor tiempo de latencia en cuanto a su interacción. El problema principal con el que se encuentran estas investigaciones es que cada rayo ha de recalcularse cada vez que cambia el punto de vista.

2.2.4 INTERACCIÓN

La interacción es la última subetapa de este conjunto de tareas comunes en el procesado de imágenes médicas. Los avances más importantes de los últimos años están asociados precisamente en lo que se refiere a la interacción con el usuario y la colaboración remota. Estos avances se basan en los métodos y principios básicos de la interacción hombre-máquina, periféricos para la manipulación e inmersión y las tecnologías de la información y comunicaciones.

Si nos referimos exclusivamente a la interacción, los sistemas de imágenes médicas actuales han ampliado la noción de manipulación: de un entorno manejado con un ratón hasta entornos más ricos en detalles que involucran varios sentidos y escenarios más complejos. Como resultado de esta nueva noción de la interacción, estos sistemas proporcionan diferentes clases de realismo, a saber: realismo en cuanto a la percepción visual y auditiva, realismo del modelo de comportamiento físico e interacción realista y manipulación, incluyendo retroalimentación de fuerza e interacciones con sistemas remotos.

Un ejemplo que utiliza métodos de interacción hombre – máquina es el mostrado en la figura siguiente, en la que se observa una interfaz que permite al usuario crear y manipular de forma interactiva modelos 3D obtenidos a partir de proyecciones 2D que representan árboles arteriales.

Figura 14. Interfaz para la reconstrucción 3D del entramado arterial.

Un aspecto importante de las interfaces es que son resultado de un extenso proceso de análisis de requisitos del usuario; incidiendo, sobre todo, en las tareas que el usuario espera realizar en un entorno clínico actual.



2.3 INNOVACIONES SIGNIFICATIVAS Y APLICACIONES REPRESENTATIVAS

Además de los ejemplos anteriormente descritos se mostrarán a continuación otros tantos que ilustran los avances en el campo de las imágenes médicas. Todos ellos utilizan algunas de las técnicas y métodos expuestos.

2.3.1 Espejos mágicos

El investigador *Groeller* y colaboradores han desarrollado un modelo de visualización múltiple y lo han bautizado como *Espejos mágicos*. Estos

espejos permiten representar simultáneamente diferentes proyecciones 2D de estructuras 3D.

En la figura 15 se observa un mapa del contorno 3D del cerebro reflejado sobre 3 espejos mágicos, concretamente se representan proyecciones 2D para cada eje. Hay que tener en cuenta que la sombra en el plano inferior ayuda ostensiblemente a percibir la sensación de profundidad guiando la percepción del usuario.

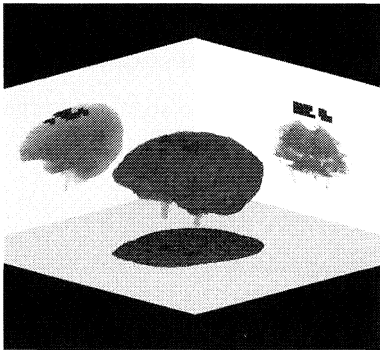


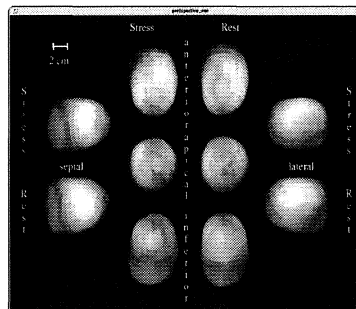
Figura 15. Aplicación de los magic mirrors sobre un modelo que representa el cerebro humano.

Esta representación permite al usuario, además de visualizar la estructura 3D desde diferentes puntos de vista simultáneamente, resaltar información de interés.

2.3.2 PerfSPECTive

Esta aplicación es otro ejemplo de modelo de visualización múltiple. Desarrollada por el Instituto Tecnológico de Georgia junto a la Universidad de Emory en Atlanta.

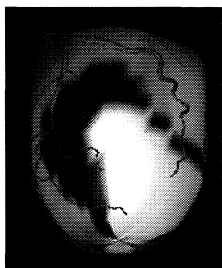
Figura 16. Modelo de visualización múltiple de una distribución 3D del miocardio.



Tal como se aprecia en la figura, el usuario puede ver una estructura 3D, en este caso el corazón, desde diversas perspectivas. El código de color es utilizado para expresar los diferentes niveles de flujo sanguíneo que fluyen a través de los músculos cardiacos.

2.3.4 Fusión de múltiples modalidades

En el mismo marco de colaboración que el ejemplo anterior, investigadores del *GeorgiaTech* y la Universidad de *Emory* han trabajado unidos en un



proyecto conjunto que permite la representación de varios modelos obtenidos por modalidades distintas. Concretamente, un entramado de arterias coronarias tridimensional es superpuesto en un modelo tridimensional del flujo sanguíneo del miocardio.

Figura 17. Fusión de dos modalidades.

Esta representación ofrece al clínico una mejor comprensión de las relaciones que puedan existir entre las arterias y la función del miocardio.

2.3.5 Colonoscopia virtual

El proyecto de colonoscopia virtual, creado por Ari Kauffman y colaboradores en la Universidad del Estado de Nueva York, es un ejemplo de planificación prequirúrgica.

El vuelo virtual por el intestino grueso permite la exploración no invasiva del colon del paciente para el diagnóstico y planificación óptima de una posible intervención quirúrgica. Se debe de recordar que el método tradicional de

exploración es bastante incómodo para el paciente y no está exento de riesgos.

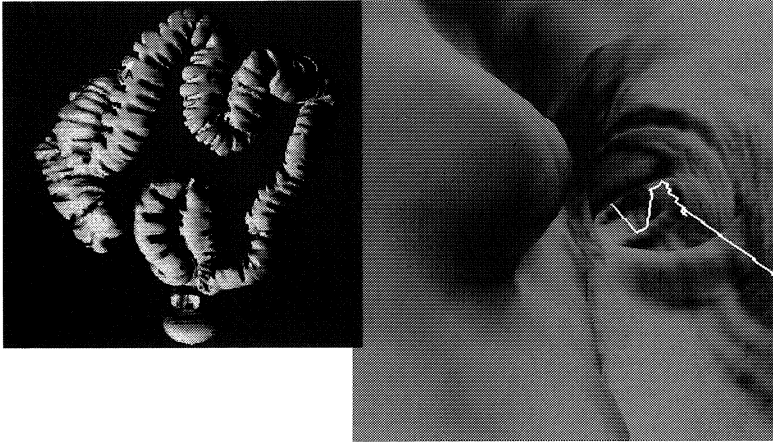


Figura 18. Se ha encontrado un pólipo de 8mm. en el punto A, mientras se navegaba en una exploración virtual.

2.3.6 El proyecto *Face*

Se han destinado muchos esfuerzos en la investigación de simuladores quirúrgicos para la ayuda al diagnóstico y la planificación quirúrgica. Otro ejemplo de evaluación pre y posquirúrgica es el proyecto *FACE* (cara), realizado por investigadores del Instituto Federal de Tecnología Suizo, que utiliza la técnica matemática de elementos finitos para crear el volumen representado.

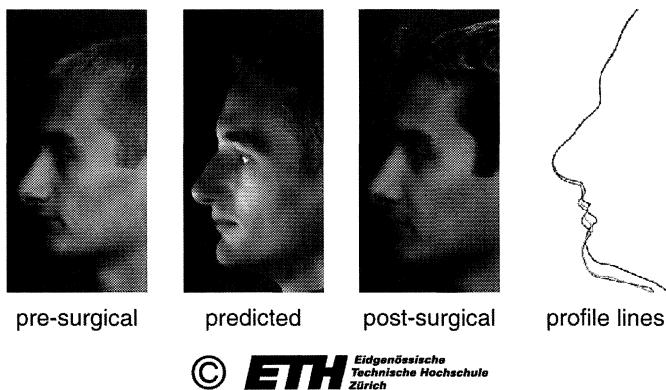


Figura 19. Detalle del proyecto Face que se utiliza para planificar y comprar intervenciones quirúrgicas en el cráneo.

Gracias a él es posible planificar, predecir y comparar operaciones de cirugía facial para corregir posibles defectos o reconstruir partes del cráneo de un paciente.

2.3.7 Aplicación para Cirugía Máxilofacial

Por último, se presenta otro ejemplo de aplicación cráneo-facial. Se trata del trabajo que se lleva a cabo en la Universidad Politécnica de Cataluña. El objetivo de este proyecto es la ayuda al diagnóstico en la detección de malformaciones óseas y la simulación y planificación quirúrgica. En el proyecto también se contempla la función de guía para intervenciones que utilizan robots, consiguiendo osteotomías de gran precisión.

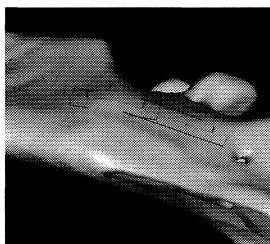


Figura 20. Detalle de la aplicación para cirugía máxilofacial.

2.3.8 Planificación quirúrgica de la resección de hígado

En el Centro de Investigación del Cáncer Alemán, en Heidelberg, el Dr. Meinzer y sus colaboradores han venido investigando el campo de las imágenes médicas desde hace años, con especial énfasis en su utilidad clínica.

En este ejemplo se muestra parte de su trabajo sobre la creación de modelos gráficos simbólicos de diversas estructuras como el hígado y sus tejidos circundantes.

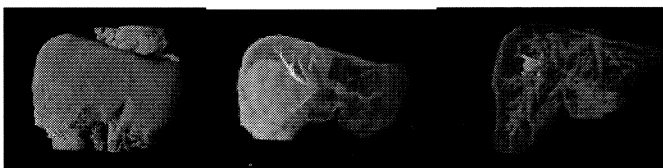


Figura 21. Junto con el hígado, en marrón, se encuentra representado un tumor (masa gris), y los órganos y venas circundantes en rojo. En las las tres imágenes se aprecia un complejo entramado de vasos sanguíneos que permiten a los cirujanos estimar el volumen de la masa del hígado a reseccionar.

2.3.9 Chili

El *Chili* es otro proyecto desarrollado en el Centro de Investigación del Cáncer Aleman por el Dr. Engelmman y varios colaboradores. Han diseñado y construido una estación de trabajo de tele-radiología que permite la transmisión de imágenes médicas, su recuperación así como diversos tipos de interacción y manipulación.

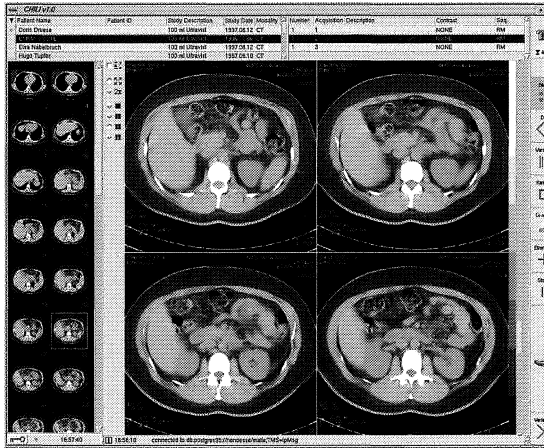


Figura 22. Detalle del sistema teleradiológico CHILI, de gran implantación.

Dada la calidad del sistema, en especial la comodidad y calidad de la interfaz, es ampliamente utilizado en entornos clínicos. Más de 40 instituciones médicas en el mundo lo utilizan.

2.3.10 Aplicación VWM

En términos de interacción remota e *Internet* existe un número creciente de investigadores activamente implicados en el uso de las nuevas tecnologías de la información para el apoyo en el diagnóstico de pacientes, así como su tratamiento.

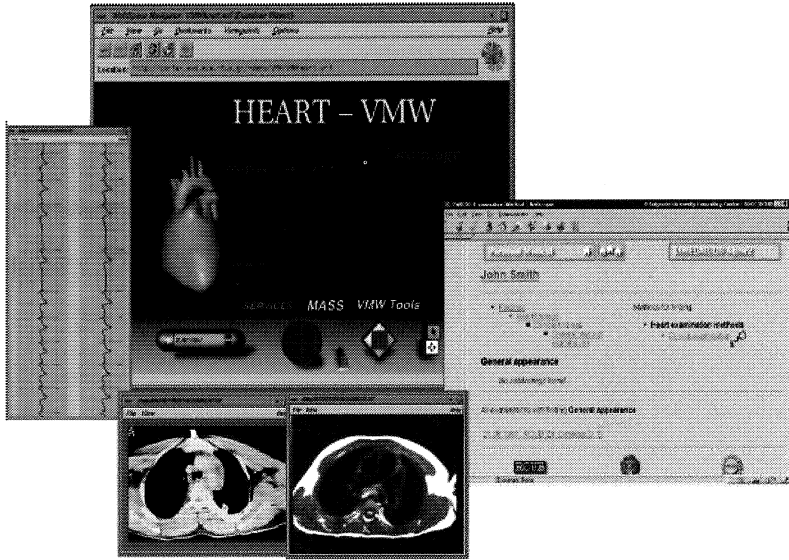


Figura 23. Estándar global para la información médica basado en tecnología web.

El trabajo de *Andy Marsh* de la Universidad Tecnológica Nacional de Grecia está pensado para ayudar a establecer estándares globales basados en tecnología *web*, de forma que sea posible organizar la información médica y también colabore en la integración de sistemas de información médica.

2.4 RESUMEN DE LOGROS Y TENDENCIAS

La discusión previa solo ha proporcionado un pequeño vistazo a algunos de los métodos y problemas actuales asociados al campo de las imágenes médi-

cas. Es importante realizar ahora una síntesis de los logros y técnicas que han sido mencionados en este documento.

Uno de los logros más importantes han sido las innovaciones relativas a las tecnologías no invasivas de adquisición de imágenes médicas 3D. Las nuevas modalidades permiten obtener información más detallada del paciente con el mínimo riesgo para él.

Relacionado con esas innovaciones, hay que mencionar la creación del conjunto de datos del *Visible Human Project* que incluye imágenes de alta resolución y de gran precisión en forma de cortes longitudinales de la anatomía de un hombre y una mujer.

También se ha avanzado de forma importante en el descubrimiento de métodos y algoritmos para la segmentación de imágenes médicas y su posterior representación.

Sin duda alguna, de entre todas las tendencias más prometedoras, destacan aquellas que buscan la creación de modelos virtuales para la ayuda al diagnóstico, aplicación de terapias y formación de futuros profesionales de la salud.

La aparición de periféricos con retroalimentación de fuerza junto a las nuevas técnicas de representación también han jugado un papel importante en la creación de entornos inmersivos e interactivos, permitiendo la interacción realista de algunos procedimientos médicos de aprendizaje costoso y peligroso al paciente.

2.5 NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y FUTUROS DESARROLLOS

Como resultado de este estado del arte en imágenes médicas, surgen un conjunto de problemas y retos que han de ser contemplados en futuros desarrollos y abren nuevas líneas de investigación.

Quizás uno de los problemas más importantes a resolver es la validación y evaluación clínica de la mayor parte de estos nuevos métodos y técnicas. Antes de que alguna de estas innovaciones y descubrimientos puedan comenzar a ser de utilidad ha de ser probada con suficientes garantías respecto a su precisión, fiabilidad y capacidad de generalización.

Otro reto no menos importante es la integración clínica de todos los resultados de la investigación que se generan. Varios grupos de investigación que están trabajando activamente en imágenes médicas son conscientes de la necesidad de crear métodos y sistemas que sean totalmente integrables, ya en etapas tempranas del proyecto, dentro de los entornos clínicos. Por ello gran parte del esfuerzo es dedicado a asegurar que los resultados de la investigación sean implantados y aprovechados en ambientes clínicos. Muy relacionado con lo dicho anteriormente es la necesidad de emplear los principios y métodos de interacción hombre-máquina en el diseño y validación de todos los sistemas hardware y software creados para uso médico.

En particular, los tests de *usabilidad* del software han realizarse continuamente por todos los investigadores en sus proyectos para así asegurarse de

que los médicos se vean implicados directamente proyecto y colaboren intensivamente en el diseño y refinamiento de dichos sistemas.

Otro reto a afrontar es el paradigma de la segmentación. La separación de una imagen en sus partes constitutivas continua siendo una tarea difícil, aún teniendo en cuenta que se lleva investigando décadas en su solución. Se está llegando a la conclusión de que la intervención humana es inevitable y las técnicas más eficaces son las basadas en la segmentación semiautomática.

Para finalizar, una última consideración a tener en cuenta: La creación de métodos que puedan ser llevados a cabo sin la necesidad de grandes tiempos de computación. Estos métodos son especialmente importantes en sistemas intra operativos, como la cirugía asistida por computador y sistemas médicos en tiempo real que impliquen una alta carga de visualización. Las causas de este problema son diversas: la primera es que en ocasiones se descuida la codificación de un buen método o algoritmo, propiciado por la complejidad de programación y optimización de muchos algoritmos que involucran gráficos. La segunda es la falta de estándares y protocolos concretos que normalicen gran parte de las técnicas computacionales empleadas en el procesado y manipulación imágenes médicas. En ocasiones se abandonan proyectos prometedores por falta de capacidad computacional para llevarlos a cabo, o cuando se consigue dicha capacidad y se logra la consecución del proyecto, no se realiza el esfuerzo de portarlo a sistemas de más bajo coste, impidiendo que sean implantados masivamente en entornos clínicos.

La investigación y los avances en campo de las imágenes médicas ha crecido considerablemente en los últimos años, gracias a los avances particulares en las disciplinas que involucra, se han abierto nuevas líneas de investigación multidisciplinarias en las que también han surgido innovaciones significativas y prometedoras, pero también han aparecido nuevos problemas, de difícil solución, que probablemente impliquen la multidisciplinaridad para su resolución.

2.6 BIBLIOGRAFÍA

D. Ballard and C. Brown, *Computer Vision*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 1992

B. Buchanan & E. Shorliffe, *Rule-Based Expert Systems*, Addison-Wesley, Reading, Ma. 1984

E. Charniak & D. McDermott. *Introduction to Artificial Intelligence*, Addison-Wesley, Reading, MA. 1985

D.J. David, D.C. Hemmy & R.D. Cooter. *Craniofacial Deformities: Atlas of three-Dimensional Reconstruction from Computed Tomography*. Springer-Verlag, New York, 1990.

R. Earnshaw & N. Wiseman, eds.; *Introduction to Scientific Visualization*, Springer, Berlin. 1992.

R. Earnshaw & D. Watson, eds.; *Animation and Scientific Visualization*, Academic Press, New York. 1992.

G. Farin, *Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design: A practical guide*, Academic Press, 2ª edición. 1990.

J.D. Foley, A. van Dam, S.K. Feiner et al. Computer Graphics: Principles and Practice. Addison-Wesely Publ. Comp., Reading, MA. 2ªedición. 1990.

M. Gross, Computer Graphics in Medicine: from Visualization to Surgery Simulation, Computer Graphics, February. 1998.

A. Kauman, ed: Volume Visualization. IEEE compo. Soc. Press, Los Alamitos, CA. 1991.

S. Lavallée, Registration form Computer-Integrated Surgery: Methodology, State of the Art, in Computer-Integrated Surgery, MIT press. 1996.

Digital Imaging and Communicationes in Medicine (DICOM); NEMA; Global Engineering Document.

G. Nielson and B. Shriver, eds.; Visualization in Scientific Computing, IEEE CS Press; ISBN 0-8186-7777-5. 1997.

J. Rasmussen, Information Processing and human-machine interaction: an approach to cognitive engineering, Elsevier Publishers, New York. 1996.

R.M. Satava, S.B. Jones. Medical Applicationes of Virtual Reality. Handbook of Virtual Environment Technology, Lawrence Erlbaum Assoc., Inc. 1999.

R. Taylor, S. Lavallée, G. Burdea & R. Mosges, Computer Integrated Surgery. Technology and Clinical Applicationes. MIT press. 1996.

J. Udupa and G. Herman, eds.; 3D Imaging in Medicine, CRC Press, Boca Raton, FL. 1991

A. Watt, 3D Computer Graphics. Addison-Wesley, Reading, MA. 1993