

Tipo de artículo: Artículo original

Temática: Bioinformática

Recibido: 28/02/2016 | Aceptado: 28/03/2016

Componente de visualización de imágenes médicas para sistemas de neuronavegación guiada por imágenes

Visualization component for system of image-guided neuronavigation

Alejandro Ravelo Julian^{1*}, Ernesto de la Cruz Guevara Ramírez², Mileydi Moreno Mirabal

^{1*} Universidad de las Ciencias Informáticas, Calle 6ta #31-F3, El batey, Cristino Naranjo, Cacocum, Holguín.
{aravelo, mmirabal, elguevara}@uci.cu

Autor para correspondencia: aravelo@uci.cu

Resumen

El avance de la informática ha permitido desarrollar nuevas herramientas de apoyo a los cirujanos en el campo de la imagenología médica y la cirugía asistida por ordenador. Estas herramientas asisten al médico en el diagnóstico, planificación y ejecución de la intervención quirúrgica. Entre ellas se destaca el neuronavegador como herramienta de última generación que ha sustituido procedimientos tradicionales en muchos hospitales del mundo. La presente investigación se realiza a partir de la necesidad de generalizar este procedimiento en todo el país. Este trabajo se enfoca en resolver la problemática de incrementar la información espacial que recibe el cirujano con respecto a la información anatómica del paciente en la etapa de planificación. El objetivo es implementar un componente de visualización para sistemas de neuronavegación guiada por imágenes que incremente la información espacial del cirujano en el salón de operaciones. Se elaboró un componente de visualización de imágenes 3D y de edición de funciones de transferencia de color y opacidad. Estos componentes se integraron al prototipo de neuronavegación que se desarrolla en la facultad 5. La implementación de este componente logró aumentar la información espacial que recibe el cirujano, así como diseñar funciones de transferencia para personalizar los colores del volumen 3D de forma interactiva. Se desarrolló un caso de estudio utilizando un cráneo de pruebas con su correspondiente estudio de tomografía. Las pruebas realizadas al componente desarrollado arrojaron resultados aceptables, lo que permite comenzar a desarrollar las funcionalidades principales de un neuronavegador quirúrgico.

Palabras clave: imágenes médicas; neuronavegación; visualización médica; volumen 3D.

Abstract

The advancement of information technology has allowed the development of new tools to support surgeons in the field of medical imaging and computer assisted surgery. These tools assist the physician in the diagnosis, planning and execution of the operation. Among them stands out the neuronavegador as last generation tool that has replaced traditional methods in many hospitals in the world. This research was carried out based on the need to generalize this procedure across the country. This work focuses on solving the problem of increasing the spatial information received by the surgeon with respect to the anatomical patient information in the planning stage. The objective is to implement a display component for systems image-guided neuronavigation. Was developed a component of 3D image viewing and an editor of transfer functions for the color and opacity. These components were integrated to prototype of neuronavigation that are develop in the center VERTEX of the faculty 5. The implementation of this component was able to increase the spatial information received by the surgeon, and design transfer functions to customize the colors of the 3D volume interactively. A case study was developed using a test skull with its corresponding tomography study. Tests performed to the component developed they launched acceptable results, allowing start developing the main features of a surgical neuronavegador.

Keywords: 3D volume; medical imaging; medical visualization; neuronavigation.

Introducción

Tradicionalmente, en intervenciones neurológicas complejas, era frecuente que el cirujano tuviera que abandonar el campo quirúrgico; observar todas las placas radiográficas, y hacerse una composición imaginaria del lugar donde se encontraba en el momento en que había detenido la intervención. Gracias al avance de la informática, la imagenología médica, y la cirugía asistida por ordenador, se ha evolucionado en el desarrollo de nuevas herramientas de apoyo a los cirujanos.

Estas herramientas asisten al médico en el diagnóstico, planificación y ejecución de la intervención quirúrgica; con el objetivo de proporcionar mejores resultados clínicos, disminuir el tiempo en el quirófano y minimizar los riesgos al paciente.

Una de las herramientas que se destaca en este campo es el neuronavegador, el cual brinda al cirujano y su equipo profesional, seguridad y confianza para el tratamiento quirúrgico de lesiones cerebrales.

La principal desventaja de la neuronavegación es que necesita de equipos que tienen un alto costo de adquisición en el mercado internacional, así como el costo de mantenimiento y actualización.

Existe una etapa previa a la navegación guiada por imágenes. En esta etapa de planificación es donde el cirujano practica los pasos de la intervención quirúrgica y adquiere la información espacial necesaria de la anatomía del paciente.

No obstante, aunque las imágenes en dos dimensiones (2D) ofrecen información de la anatomía del paciente, es frecuente que el cirujano no se ubique con precisión en la región anatómica en la que debe incidir.

Para resolver esta problemática se propone realizar un componente de visualización para sistemas de neuronavegación guiada por imágenes (SNGI).

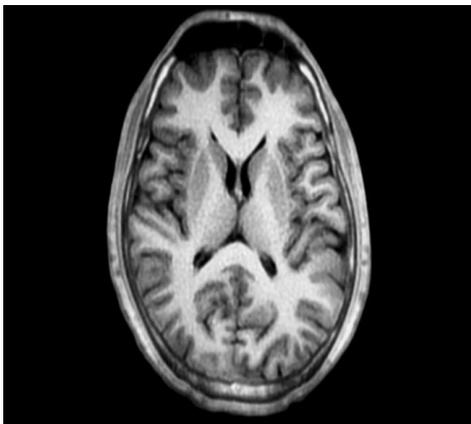


Figura 1. Imagen 2D.

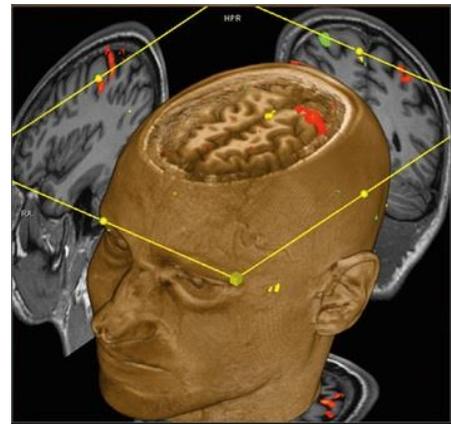


Figura 2. Estructura anatómica 3D.

Componentes de un SNGI

Los SNGI, poseen tres componentes principales (Carbajal, 2010):

- ✓ Visualización de imágenes médicas.
- ✓ Sistema de seguimiento tridimensional.
- ✓ Registro de correlación.

El componente de visualización de imágenes médicas es el componente encargado de cargar y visualizar las imágenes médicas de distintas modalidades.

El componente de seguimiento tridimensional es el encargado de obtener la posición, orientación, y seguir la trayectoria de las herramientas quirúrgicas en el quirófano.

Y por último el componente registro de correlación es el encargado de establecer una correspondencia entre cada punto de la imagen y su correspondiente anatómico físico o real.

Este trabajo se enfoca en el componente de visualización de imágenes médicas.

Componente de visualización de imágenes médicas

El primer paso para llevar a cabo la navegación guiada por imágenes, es cargar las imágenes de estudios médicos, las cuales contienen la información anatómica, morfológica y funcional del paciente.

Existen diferentes modalidades de imágenes médicas, las cuales se diferencian en cuanto a la naturaleza del principio físico en que se basan.

Las modalidades de imágenes más utilizadas en los sistemas de navegación guiada por imágenes son la Tomografía Axial Computarizada (TAC), la Resonancia Magnética (RM) y las Tomografías por Emisión de Positrones (PET) (Hill, 2001).



Figura 3. Paciente en un tomógrafo.

El componente de visualización en un **SNGI** es el responsable de cargar y visualizar los archivos de imágenes médicas, además de los objetos visuales que representan las herramientas quirúrgicas.

Materiales y métodos

Se realiza un estudio de algunas bibliotecas diseñadas para el procesamiento de imágenes o visualización de imágenes específicamente visualización 3D aplicadas a la práctica médica. A continuación, se representa en la Tabla 1 un resumen de las principales bibliotecas estudiadas.

Tabla 1. Resumen de los sistemas de procesamiento de imágenes (Payan, 2015).

Nombre	Lenguaje	Licencia	Propósito	Origen	Desarrollador
VTK	C++	Código abierto	Visualización	1993	Kitware
ITK	C++	Código abierto	Registro y segmentación	1999	Kitware
VGL	C++	Comercial	Visualización de grandes volúmenes de datos	1997	Volume Graphics
OpenGL Volumizer	C++	Comercial	Visualización de grandes volúmenes de datos	2002	SGI
IGSTK	C++	Código abierto	Aplicaciones de cirugía guiada por imágenes	2003	Kitware
MITK	C++	Código abierto	Extensiones ITK y VTK	2004	Kitware

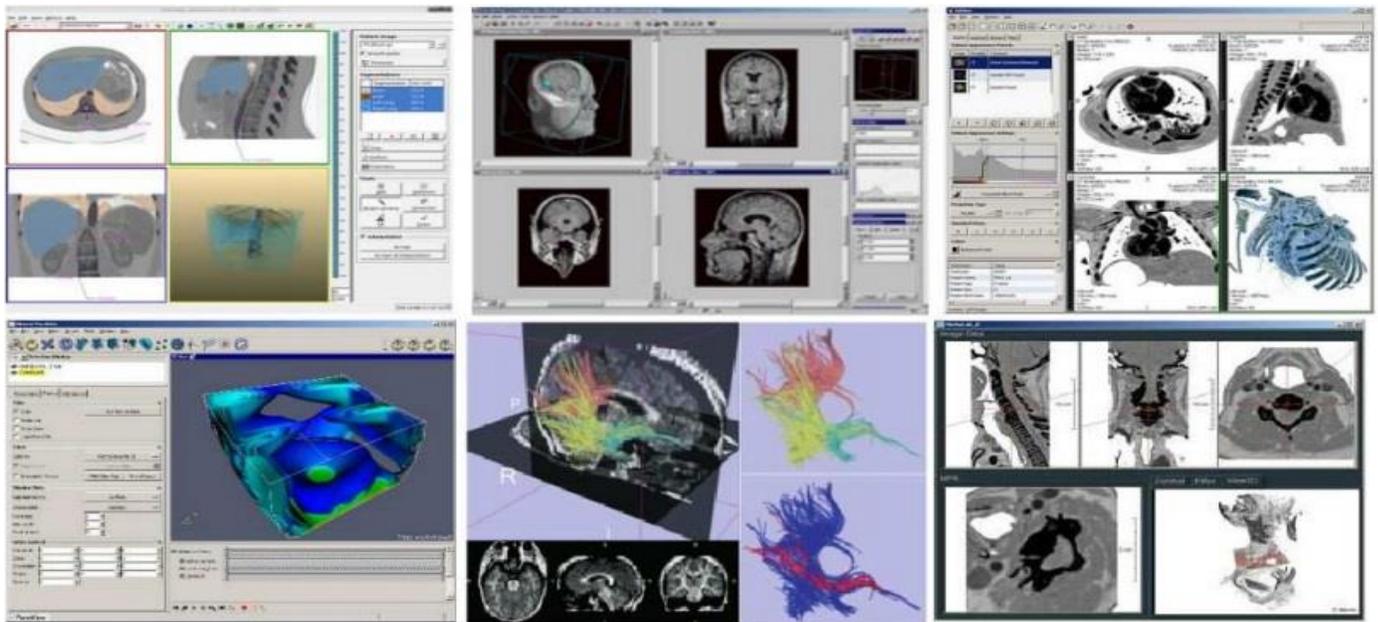


Figura 4. Captura de pantalla de algunos programas de visualización. MITK (arriba izquierda), VGStudio (arriba centro), VolView (arriba derecha), ParaView (abajo izquierda), 3D Slicer (abajo centro) y MeVisLab (abajo derecha) (Payan, 2015).

En la **Tabla 1** se evidencia a Kitware como una de las compañías especializadas en el desarrollo de aplicaciones de visualización de volúmenes y que cuenta con enorme experiencia en este campo.

Se seleccionó IGSTK como biblioteca para el desarrollo del componente de visualización de imágenes médicas. Esta proporciona los componentes básicos necesarios en una aplicación de navegación quirúrgica, provee una plataforma común para el desarrollo de aplicaciones robustas de cirugía guiada por imágenes (**Gary, 2006**). Utiliza la biblioteca ITK (**Ibañez, 2003**) para el registro y la segmentación, y VTK (**Schroeder, 2001**) para la visualización, ambas bibliotecas están en constante desarrollo y constituyen un estándar en el campo de las aplicaciones de navegación guiada por imágenes.

Se aprecia también en la **Tabla 1** que las principales bibliotecas para la visualización de volúmenes 3D están desarrolladas en el lenguaje de programación C++ (**Stroustrup, 1986**) lo que demuestra las potencialidades de este lenguaje para el desarrollo de aplicaciones de este tipo por lo que es escogido como lenguaje de programación a utilizar.

Un aspecto importante del componente de visualización de imágenes de un SNGI es la visualización de volumen. La visualización de volumen consiste en la representación visual del conjunto completo de datos volumétricos, lo que es decir de todas las imágenes al mismo tiempo (**Kaufman, 1990**). Los vóxeles (**Sanchez, 2000**) individuales deben ser seleccionados, combinados y proyectados sobre el plano de una imagen. Esta imagen actúa literalmente como una ventana de los datos, representando la posición y la dirección desde donde el volumen es examinado por un observador (**Kaufman, 1990**).

Existen dos tipos de visualización de volumen, la directa y la indirecta (**Elvins, 1992**).

Visualización indirecta del volumen

Mediante la técnica de visualización indirecta de volumen se genera una representación intermedia del volumen de datos que se visualiza posteriormente. Los algoritmos de visualización indirecta de volumen se basan fundamentalmente en el uso de planos (**Raskar, 1999**) o superficies geométricas como representación intermedia (Surface Rendering) (**Elvins, 1992**).

Actualmente existen varios algoritmos para resolver el problema de la reconstrucción de superficies de un volumen de datos, uno de los más usados en la actualidad es el algoritmo Marching Cubes propuesto por William E. Lorensen y Harvey E. Cline en 1987 (**Lorensen, 1987**).

Visualización directa del volumen

Mediante la técnica de visualización directa de volumen, los datos volumétricos se representan mediante su evaluación en un modelo óptico, que describe cómo el volumen emite, refleja, dispersa, absorbe y ocluye la luz.

La complejidad de los algoritmos de visualización directa de volumen depende del número de vóxeles de la red y del número de píxeles de la imagen final donde será proyectada la visualización. Los algoritmos de visualización directa de volumen se pueden clasificar en dos grupos: algoritmos basados en imágenes y algoritmos basados en objetos (Elvins, 1992).

Sin embargo, muchas variaciones avanzadas de estos algoritmos no pueden ser clasificadas estrictamente dentro de uno de los grupos, porque fusionan aspectos de ambos grupos en un mismo algoritmo.

Raycasting

Es el algoritmo clásico de visualización directa de volumen. Está basado en el concepto de un rayo de luz que penetra en el volumen e intercepta los vóxeles que encuentra a su paso. Por cada píxel de la ventana a través de la cual se observa la representación tridimensional, se lanza un rayo hacia el interior del volumen, recorriendo una trayectoria rectilínea que comienza en la posición de la cámara virtual y es paralelo al vector direccional de la misma. Después de obtener el valor para la muestra, este valor es mapeado a propiedades ópticas a través de una tabla de búsqueda. Esta obtiene como resultado una cuádrupla RGBA (Baxter, 2004) que incorpora los coeficientes correspondientes de emisión y absorción para esta ubicación (Ray, 1999).

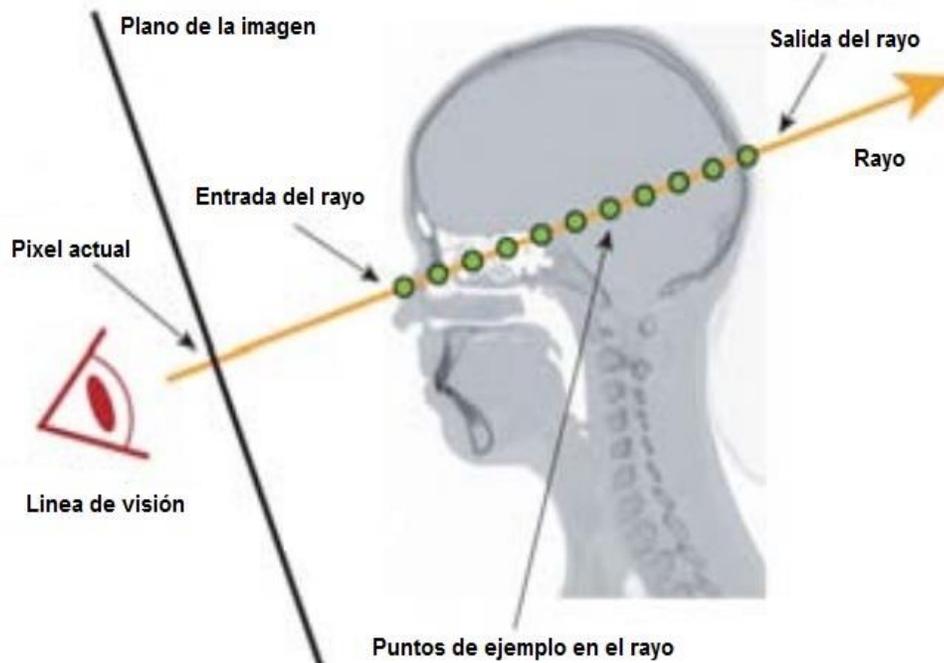


Figura 5. Proceso del algoritmo Raycasting.

Los algoritmos de la técnica de visualización indirecta solo reconstruyen la superficie del volumen, tal es el caso del algoritmo Marching Cubes (**Lorensen, 1987**). No es conveniente el uso de esta técnica y de sus algoritmos para la visualización del volumen en este trabajo, para la navegación es necesaria la visualización del volumen de datos íntegro.

Por estas razones se descarta la técnica de visualización indirecta y se escoge Raycasting como algoritmo de visualización de volumen.

Funciones de transferencia

Uno de los principales aportes de la visualización de volumen, especialmente en aplicaciones médicas, es la habilidad de distinguir diferentes estructuras en el volumen. Este proceso es llevado a cabo por la segmentación o por funciones de transferencia.

Las funciones de transferencia asignan propiedades ópticas tales como color y opacidad a los datos extraídos o calculados de un punto dado del volumen (**Pam, 2000**).

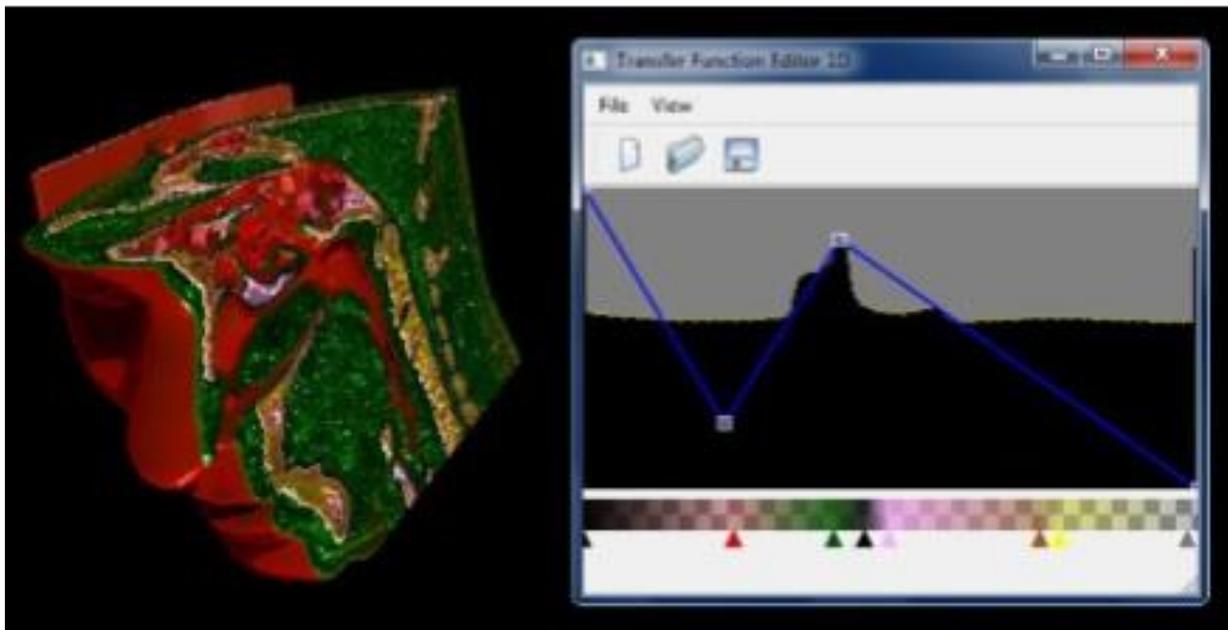


Figura 6. Izquierda: Visualización resultante de la configuración realizada. Derecha. Interfaz gráfica de usuario de la función de transferencia 1D.

La muestra obtenida del volumen debe ser clasificada por la función de transferencia para calcular su contribución a la imagen final. Esta muestra es evaluada en la función de transferencia, de donde se obtendrá el color que realmente será mostrado en la visualización (**Pam, 2000**).

Para esta operación es típicamente usado el modelo de color RGB (**Artigas, 2002**) y en adición el complemento de la transparencia, la opacidad; especificando que tan sólido debe aparecer el respectivo color (**Pam, 2000**).

Resultados y discusión

El funcionamiento del componente de visualización para la herramienta de planificación quirúrgica del neuronavegador comienza con el proceso de cargar las imágenes del estudio médico del paciente.

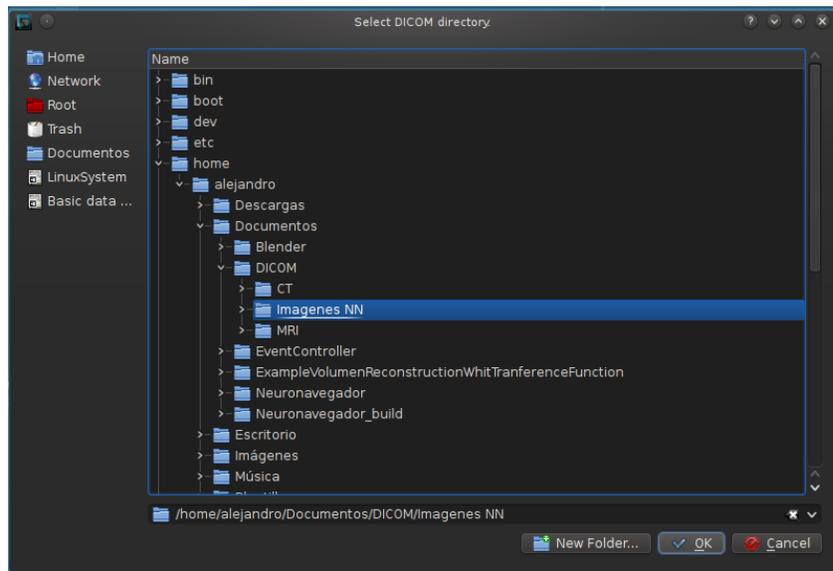


Figura 7. Imagen de la solución en el proceso de carga de las imágenes médicas.

Con la carga de las imágenes médicas del paciente el componente de visualización muestra al cirujano tres vistas 2D distintas de dichas imágenes: axial, sagital y coronal.

Además de las vistas ya descritas se visualiza la reconstrucción en 3D del volumen a partir de dichas imágenes médicas.

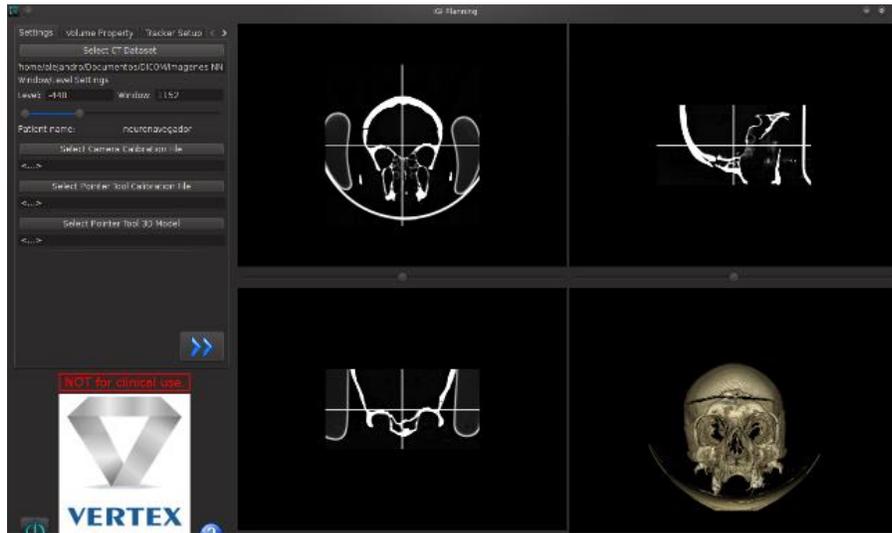


Figura 8. Vista del componente de visualización con las imágenes 2D y el volumen 3D.

Como se mencionaba anteriormente el componente de visualización es el encargado también de visualizar los objetos que representan el instrumento quirúrgico del cirujano.

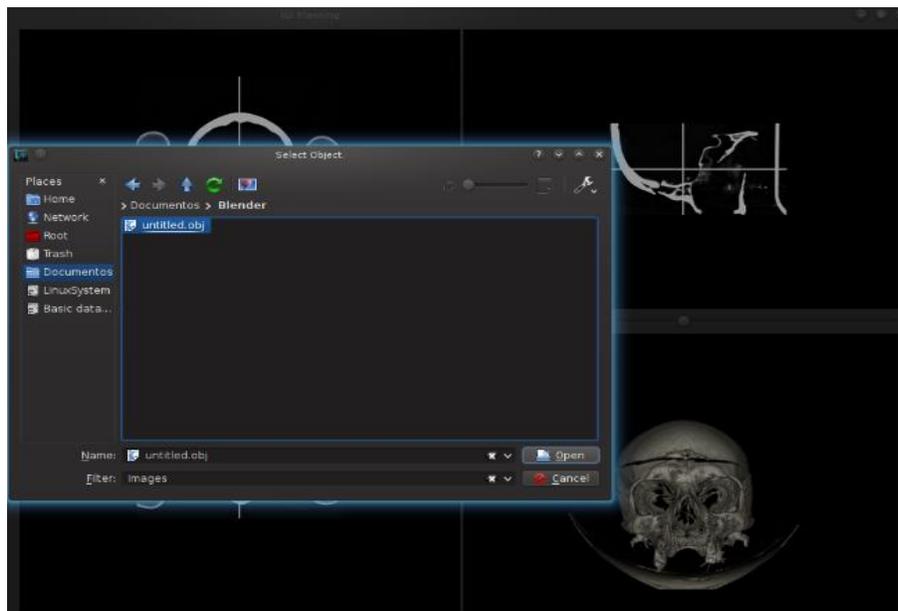


Figura 9. Imagen de la solución en el proceso de carga del objeto 3D que representa el instrumento quirúrgico.

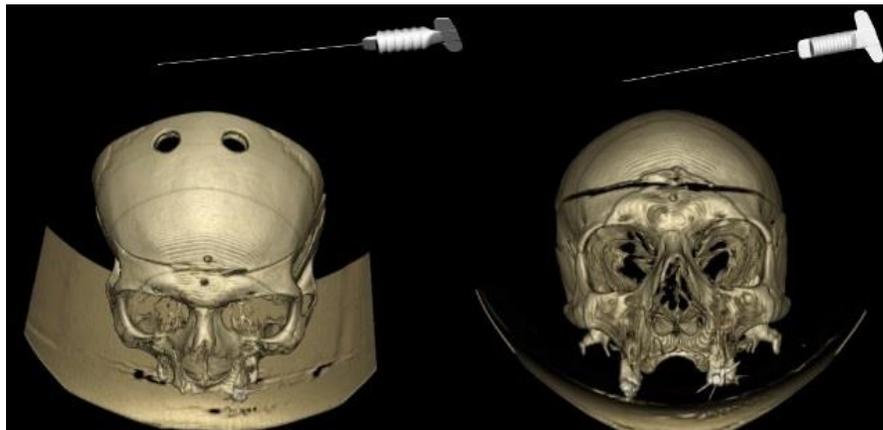


Figura 10. Imágenes del objeto 3D que representa el instrumento quirúrgico insertado en la escena junto al volumen 3D de las imágenes médicas.

El componente cuenta con un editor de funciones de transferencia para el trabajo con los colores, nitidez y la opacidad del volumen 3D.



Figura 11. Editor de funciones de transferencia.



Figura 12. Imagen de la solución luego de varios cambios en la función de transferencia.

Conclusiones

La implementación del editor de funciones de transferencia facilitó el trabajo con la visualización del volumen. Por otra parte, la integración del componente realizado al prototipo de planificador para sistemas de neuronavegación guiada por imágenes logró aumentar la información espacial que recibe el cirujano en el salón de operaciones al lograr combinar la información mostrada por las imágenes 2D con la información que proporciona el volumen 3D. También al adicionar a la escena del volumen 3D un objeto virtual que representa la herramienta quirúrgica del cirujano, permitió ofrecer una retroalimentación visual al cirujano de la posición y orientación de dicha herramienta con respecto al estudio de imágenes médicas del paciente.

Referencias

- ARTIGAS, José María; PEREA, Pascual Capilla; I RAMO, Jaume Pujol. *Tecnología del color*. Universitat de valencia, 2002.
- BAXTER, William; WENDT, Jeremy; LIN, Ming C. IMPaSTo: a realistic, interactive model for paint. En *Proceedings of the 3rd international symposium on Non-photorealistic animation and rendering*. ACM, 2004. p. 45-148.
- CARBAJAL, Guillermo, et al. First neuronavigation experiences in Uruguay. En *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE*. IEEE, 2010. p. 2317-2320.
- ELVINS, T. Todd. A survey of algorithms for volume visualization. *ACM Siggraph Computer Graphics*, 1992, vol. 26, no 3, p. 194-201.
- GARY, Kevin, et al. IGSTK: an open source software toolkit for image-guided surgery. *Computer*, 2006, vol. 39, no 4, p. 46-53.
- HILL, Derek LG, et al. Medical image registration. *Physics in medicine and biology*, 2001, vol. 46, no 3, p. R1.
- IBANEZ, Luis, et al. *The ITK software guide*. 2003.
- KAUFMAN, Arie. Volume visualization. *The visual computer*, 1990, vol. 6, no 1, p. 1-1.
- LORENSEN, William E.; CLINE, Harvey E. Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. En *ACM siggraph computer graphics*. ACM, 1987. p. 163-169.

PAYAN SOMET, Francisco Javier. *Programas de procesamiento de imágenes médicas en la actualidad*. Sevilla : Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad de Sevilla, 2015.

PHAM, Dzung L.; XU, Chenyang; PRINCE, Jerry L. Current methods in medical image segmentation 1. Annual review of biomedical engineering, 2000, vol. 2, no 1, p. 315-337.

RASKAR, Ramesh. Oblique projector rendering on planar surfaces for a tracked user. En *Proc. of SIGGRAPH*. 1999. p. 260.

RAY, Harvey, et al. Ray casting architectures for volume visualization. *Visualization and Computer Graphics*, IEEE Transactions on, 1999, vol. 5, no 3, p. 210-223.

SÁNCHEZ, Hermilo. Optimización de una medida de Semejanza para Objetos Tridimensionales a Partir de Invariantes y Transformaciones. *Computación y Sistemas*, 2000, vol. 3, no 004.

SCHROEDER, William J. (ed.). *The VTK user's guide: updated for version 4.0; [overview, installation, examples, techniques, references]*. Kitware, 2001.

STROUSTRUP, Bjarne. *The C++ programming language*. Pearson Education India, 1986.