



Visualizador de Imágenes Anatómicas Bidimensionales y Tridimensionales

**C. Lemus Olalde, M. J. J. Rivera Meraz,
R. Palacios Ancona**

Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT)
Jalisco S/N, Mineral de Valenciana
Guanajuato, Guanajuato, 36250 México

S. Cardona Huerta

Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)
Depto. Cirugía General Div. Cirugía Oncológica
Madero y Gonzalitos S/N, Mitras Centro
Monterrey, N.L., México

Resumen: Esta herramienta de visualización es un entregable que forma parte del proyecto titulado "Sistema de Navegación Virtual Cuantitativo para la Creación de Protocolos de Evaluación de Factibilidad y Planeación en Cirugía Hepática". El Visualizador construye un modelo tridimensional a partir de imágenes bidimensionales obtenidas de los estudios de Tomografía Axial Computarizada (TAC) de órganos reales de pacientes con tumores. Dicho Visualizador esta basado en la plataforma de desarrollo llamada Visualization Tool Kit (VTK), la cual provee librerías de clases en C++ para el procesamiento y visualización de este tipo de imágenes.

Abstract: This Visualization tool is a deliverable within the project titled "Quantitative Virtual Navigational System for the Creating Protocols to Evaluate Feasibility and Planning of Liver Surgery." This tool constructs a three-dimensional model from two-dimensional images of a Computerized Axial Tomography (CAT) Scan from real organs of patients (i.e., tumors). This tool is based on the Visualization Tool Kit (VTK) platform, which provides a repository, comprised of C++ classes for the processing and visualization of these kinds of images.

Keywords: image processing, surgery planning, software components, 3- Dimensional visualization

Introducción

En México la reconstrucción tridimensional de imágenes anatómicas no ha sido utilizada en cirugía en el mismo grado como en países tales como Estados Unidos [6, 10] y Alemania [7], siendo la evaluación en dos dimensiones la más ampliamente utilizada por el médico cirujano. La cirugía requiere de una cantidad significativa de análisis cognitivo e integración de datos del paciente. Las decisiones tienen que ser realizadas

rápidamente y depende básicamente del examen físico. Debido a las limitaciones naturales del cirujano (experiencia, conocimiento, y la reconstrucción mental del modelo tridimensional a partir de tomografías), la cirugía tiene que llevarse a cabo de grandes incisiones en el paciente para obtener una exposición adecuada de los órganos internos. Los avances logrados de la aplicación de tecnología en la medicina se pueden categorizar de acuerdo a la etapa en la que se encuentra el paciente, esto es, en el diagnóstico pre-operatorio, interacción intra-operatoria o en la recuperación post-operatoria.

El Visualizador como base del Sistema de Navegación Virtual en Cirugía Hepática tiene sus principales contribuciones en diagnóstico pre-operatorio y etapa post-operatoria del paciente. En el diagnóstico pre-operatorio facilita la reconstrucción tridimensional de órganos internos mejorando la atención médica a través de una mejor evaluación pre-operatoria de los pacientes (por ejemplo, la colonoscopia virtual o colangiografía). Y en lo que respecta a la etapa postoperatoria del paciente, al utilizar la información del modelo tridimensional para propósitos de formación de médicos en entrenamiento. Además, es posible mejorar el tratamiento quirúrgico oncológico a través de la observación del resultado de la aplicación de un nuevo tratamiento, con lo que se pudiese reflexionar sobre las decisiones que se requieran tomar durante la cirugía.

El proyecto "*Sistema de Navegación Virtual Cuantitativo para la creación de protocolos de evaluación de factibilidad y planeación en Cirugía Hepática*", forma parte de las tendencias mundiales [6, 7, 10] del desarrollo de tecnologías y aplicaciones computacionales integrando imágenes anatómicas de pacientes reales obtenidas de estudios de Tomografía



Axial Computarizada (TAC), resonancia magnética, etc. El presente artículo presenta uno de los entregables logrados en dicho proyecto que denotaremos como Visualizador. El Visualizador construye un modelo tridimensional a partir de imágenes de TAC, como se muestra en la **Figura 1**.

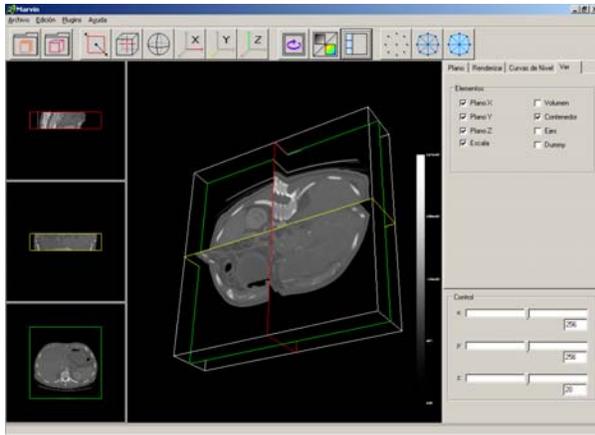


Figura 1. Modelo tridimensional construido a partir de imágenes obtenidas de un estudio TAC de abdomen.

El desarrollo del Visualizador cumple con los siguientes objetivos del proyecto:

- Proveer apoyo visual para el diagnóstico y planeación de cirugía hepática.
- Proveer apoyo a la enseñanza en medicina, facilitando su operación por médicos y alumnos de medicina.
- Servir de apoyo en el uso diario y rutinario en análisis clínico de enfermedades.
- Aplicar técnicas de ingeniería de software en el desarrollo de una herramienta para facilitar el agregar funcionalidad a través de plugins o componentes .
- Consolidar los esfuerzos de investigación del CIMAT obtenidos de trabajos de postgrado (maestría y doctorado) en el procesamiento de imágenes de estudios de TAC.
- Formar recursos humanos en la investigación multidisciplinaria e inter-institucional en nuestro país.

En la actualidad existen diversos grupos de investigación en Estados Unidos [6, 10] y Alemania

[7], interesados en la visualización y el procesamiento de imágenes médicas que se encargan de realizar estudios e investigaciones tanto en el área de la ciencia como el de la tecnología. En México existen también diversos grupos interesados en esta rama del conocimiento científico. Entre otros se encuentran el Observatorio de Visualización Ixtli Cómputo Académico de la UNAM [8], la Asociación Mexicana de Cirugía Integrada por Computadora e Imágenes Medicas Digitalizadas A. C. [9] y el CIMAT, entre otros.

Organización del artículo

En la sección del Visualizador se explica a detalle el flujo de datos así como su funcionamiento y contribuciones. La sección de VTK explica brevemente dicha plataforma de desarrollo, haciendo énfasis en el modelo gráfico y de visualización, así como el manejo de memoria utilizados. Finalmente, en la sección de Conclusiones y Trabajo Futuro se menciona el estado actual del Visualizador así como las áreas de la medicina en las que el Visualizador también puede utilizarse, resultado de presentaciones y entrevistas con personal del Departamento de Cirugía General, Div. Cirugía Oncológica de la UANL y el Instituto Mexicano del Seguro Social (UMAE No. 25 – IMSS).

El Visualizador

El visualizador identifica y permite la manipulación de diferentes formatos de entrada tales como DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine por sus siglas en Inglés), archivo de volumen, datos crudos, etc., [4]. El Visualizador está fundamentado en la librería VTK [1], la cual provee una serie de clases en C++ para el procesamiento de los datos y su visualización en dos o tres dimensiones. Existen muchos formatos de imágenes, la mayoría de los cuales son formatos propietarios. Básicamente existen tres tipos de información que generalmente están presentes en los archivos de imágenes:

- Datos de imagen, los cuales pueden estar comprimidos o no.
- Identificación e información personal del paciente.
- Información de la técnica utilizada para realizar el examen.

Extraer la información de los datos de la imagen es un proceso relativamente sencillo. Por otro lado, el



lidar con la información descriptiva o la extracción de los detalles de la geometría con el propósito de combinar las imágenes en un conjunto de datos tridimensional es un proceso más complicado y requiere de un entendimiento más profundo de como están constituidos los archivos. Existen tres familias básicas de formatos de archivos que son de uso popular:

- Formato fijo, donde la distribución es idéntica en cada archivo.
- Formato de bloque, donde un encabezado contiene apuntes hacia la información.
- Formato basado en etiquetas, donde cada elemento contiene su propia longitud.

Actualmente el Visualizador acepta los formatos que son de interés para el proyecto de planeación y navegación hepática:

- Archivos de datos crudos (*.raw). Este formato cuenta de un solo archivo tridimensional en donde se encuentran contenidos todos los datos de las imágenes, y no presenta información adicional.
- Series de imágenes (TAC) provistas por el equipo del Hospital Universitario de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Este formato consiste de una serie de imágenes, cada una con las mismas características donde cada archivo representa una rebanada obtenida del estudio TAC. Los archivos son generalmente de 512 x 512 píxeles o menos. El formato no presenta mayor información sobre la técnica utilizada para la realización del estudio.

El Visualizador tiene una fase de pre-procesamiento que se encarga de preparar los datos de entrada para ser manipulados de manera apropiada por las librerías de visualización y procesamiento de la plataforma. En particular esta fase actualmente se encarga de transformar el formato DICOM a formato crudo (raw), reduciendo la cantidad de información a ser procesada por el Visualizador, mejorando la visualización de imágenes bidimensionales y del modelo tridimensional reconstruido.

El Visualizador es una aplicación que utiliza código libre [1], la cual ofrece como valor agregado la flexibilidad de incorporar componentes o plugins que extienden o mejoran funcionalidad del visualizador facilitando el procesamiento y modificación de los

datos que se están visualizando. Hasta el momento de elaboración del presente documento se han desarrollado tres componentes: Segmentación manual de órganos (**Figura 2** en Apéndice), Mapa de elevación (**Figura 3** en Apéndice), y Registro de volumen por medio de una proyección en tercera dimensión colocando haces de luz en un punto de la visión, técnica concocida como proyección de haces (**Figura 4** en Apéndice). Todos ellos utilizan las librerías de VTK y se elaboraron para probar y verificar la interfase a través de sockets para el intercambio de datos y verificar la flexibilidad y facilidad de su incorporación al Visualizador (sin necesidad de compilar nuevamente toda la aplicación). Con lo anterior, se sentaron las bases para que cualquier componente (basado en VTK o no) al seguir unas guías de programación y de configuración de archivos XML se tendrá acceso a los datos del Visualizador y su incorporación será de manera automática al ser una opción adicional en el menu “plugins” del Visualizador.

Plataforma VTK

VTK (Visualization Tool Kit) es una librería de software libre para la visualización y procesamiento de imágenes y gráficas en tercera dimensión. El modelo de gráficas en VTK se encuentra en un nivel superior de abstracción que en el que se encuentran librerías como OpenGL o PEX. Esto significa que es mucho más sencilla la creación de gráficas y aplicaciones de visualización. Con VTK las aplicaciones pueden ser escritas directamente en C++, Tcl, Java o Python. Para el desarrollo de este proyecto se tomó la decisión de utilizar C++ como base de programación debido a la experiencia en el desarrollo de aplicaciones utilizando dicho lenguaje y los ambientes desarrollo de apoyo disponibles en el CIMAT. VTK en si es un sistema de visualización que no solamente permite visualizar geometría, sino que además soporta una gran variedad de algoritmos de visualización incluyendo métodos para la manipulación de escalares, vectores, tensores, texturas y volúmenes. Del mismo modo es capaz de utilizar técnicas de modelación, reducción de polígonos, suavizado, contorneado y triangulación Delaunay [2], por lo que puede ser utilizado en áreas tan diversas como geología, mecánica, física, etc. y en general en cualquier campo en el que se requiera la visualización de conjuntos de datos tridimensionales.



El modelo de gráficos: El modelo de gráficos de VTK captura las características esenciales de un sistema de gráficos en 3D en una forma que es fácil de comprender y usar [3]. La abstracción está basada en la industria del cine con influencia de las interfaces gráficas de usuario actuales. Existen nueve objetos básicos en el modelo [3]:

- Maestro de Renderizado: Coordina los métodos independientes del sistema y crea ventanas de renderizado.
- Ventana de Renderizado: Uno o más renderizadores dibujan en una ventana de renderizado para crear una escena (imagen final).
- Renderizador: Coordina el renderizado de luces, cámaras y actores.
- Luces: Iluminan los actores en la escena.
- Cámaras: Definen posiciones de visualización, puntos focales y otras características específicas de las cámaras.
- Actores: Un objeto dibujado por un renderizador en la escena. Los actores se definen en términos de mapeadores, propiedades y objetos de transformación.
- Propiedades: Representan los atributos renderizados de un actor incluyendo color, iluminación, mapa de textura, estilo de dibujo, estilo de sombreado, etc.
- Mapeador: Representa la definición geométrica de un actor y mapea el objeto a una tabla de búsqueda. Más de un actor puede referirse al mismo mapeador.
- Transformación: Un objeto que consiste de una matriz de transformación de 4x4 y de métodos para modificar la matriz. Especifica la posición y orientación de los actores, cámaras y luces.

El modelo de Visualización: El modelo de VTK está basado en el paradigma de flujo de datos adoptado por muchos sistemas comerciales [5]. Este paradigma se basa en módulos que son conectados en una red. Los módulos realizan operaciones algorítmicas sobre los datos mientras éstos fluyen a través de la red. La ejecución de esta red de visualización es controlada en respuesta a la demanda de los datos o en respuesta a los comandos del usuario. La ventaja de este modelo es que es flexible y puede ser fácilmente adaptado a diferentes

tipos de datos o nuevas implementaciones de algoritmos.

Manejo de Memoria: Uno de las mayores factores a considerar en la implementación de visualización en forma de flujo de datos es la cantidad de memoria consumida. VTK resuelve este problema mediante la implementación de un esquema de conteo de referencias y permitiendo al usuario manipular la red como mejor le convenga para optimizar la utilización de memoria. El proceso de lectura de imágenes se realiza utilizando objetos proporcionados por VTK. Como primer paso se utiliza un objeto “Reader” que permite leer imágenes desde archivos. Este objeto recibe como parámetros la dimensionalidad del archivo, el tamaño de los datos, el tipo de la estructura de datos, el nombre del archivo y el punto de origen de los datos, entre otros.

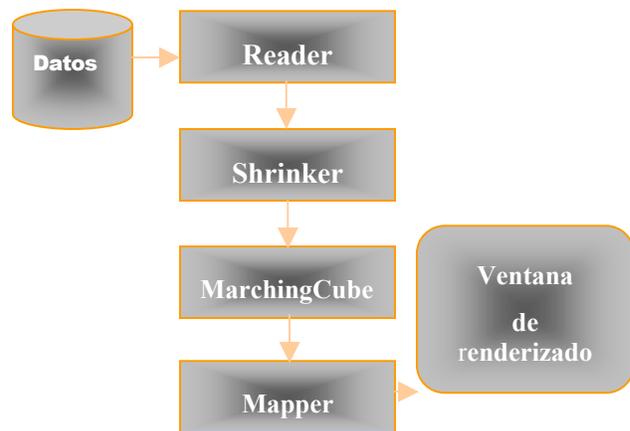


Figura 5. Adquisición de datos para la visualización.

Debido a que VTK trabaja bajo el paradigma de tuberías o *pipes* como se muestra en la **Figura 5**, la salida de datos que arroja el lector definido anteriormente es tomada ahora por otro objeto del “Shrinker”, el cual se encarga de encoger el conjunto de datos para una mejor manipulación de forma gráfica. Este objeto toma como parámetro el factor de encogimiento en dirección de cada uno de los ejes x, y, z. Finalmente el resultado obtenido es procesado por un mapeador y graficado en la “Ventana de renderización”.



Conclusiones y Trabajo Futuro

En cuanto a lo que se refiere a visualización VTK resultó ser una librería bastante fácil de utilizar en comparación con OpenGL. De hecho VTK hace uso de muchos de los recursos proporcionados por OpenGL pero presenta una interfase de programación mucho más sencilla e intuitiva. Sin embargo, la documentación proporcionada por VTK no es lo suficientemente explícita, por lo que resulta un problema encontrar las clases y los métodos apropiados para la tarea que se desea realizar. La evaluación realizada por personal de la UANL resultó en el cumplimiento satisfactorio de las expectativas y requerimientos especificados logrando reconstruir el modelo tridimensional del hígado a partir de imágenes reales obtenidas de un estudio de TAC. En particular el Visualizador presentó facilidades de manipulación del modelo tridimensional y bidimensional (ejes frontal, sagital, etc.) como se muestra en la **Figura 1**. Por lo que el Visualizador cumple con las bases y requerimientos médicos necesarios para continuar con las metas y objetivos del Sistema de Navegación Virtual Cuantitativo para la creación de protocolos de evaluación de factibilidad y planeación en cirugía. Por lo anterior se concluyó que la funcionalidad provista actualmente por el Visualizador se puede utilizar en la modelación tridimensional de diferentes órganos dependiendo del interés médico o enfermedad en cuestión.

Además, el Visualizador es una herramienta de visualización y procesamiento de imágenes lo suficientemente flexible para incorporar funcionalidad a través de componentes en apoyo a cirugía (transplante hepático, riñón, pulmón, hueso), traumatología (desarrollo de prótesis articulares hechas a la medida), y cirugía endoscópica de senos paranasales.

El Visualizador se encuentra actualmente en un proceso de validación de dimensiones y volúmenes obtenidos a través del Visualizador y los provenientes de la morfología y anatomía obtenidos de la disección y observación directa del órgano (hígado) en un modelo experimental con animales.

Referencias

- [1] The Visualization Toolkit (VTK) <http://www.vtk.org/>
- [2] D. Watson, "Computing the n-Dimensional tessellation with applications to Voronoid Polytypes", Computer Journal Vol. 24, pp. 167- 172, 1981.

- [3] William J. Schroeder, Kenneth M. Martin, and William E. Lorensen, *The Visualization Toolkit: An Object-Oriented Approach to 3-D Graphics*, Prentice Hall; 2nd Edition, November 1, 1997.
- [4] VTK File Formats for VTK version 4.2, Guía de usuario para VTK, <http://www.vtk.org/doc/release/4.2/html/>
- [5] Schroeder, William J., Avila, Lisa S., Hofmman William, "Visualizing with VTK: A tutorial", Kitware publications.
- [6] William J. Schroeder, Kenneth M. Martin, and William E. Lorensen, *The design and implementation of an object oriented toolkit for 3D graphics and visualization*, GE Corporate Research and Development.
- [7] Virtual Liver Surgery Planning System Site <http://liverplanner.icg.tu-graz.ac.at>
- [8] Observatorio de Visualización Ixtli Cómputo Académico de la UNAM <http://www.ixtli.unam.mx>
- [9] Asociación Mexicana de Cirugía Integrada por Computadora e Imágenes Médicas Digitalizadas A. C <http://www.cs.huji.ac.il/~josko/asociacion.html>
- [10] The Visible Human Project of the United States of America National Library of Medicine http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html

Cuauhtémoc Lemus Olalde

El Dr. Lemus se ha desempeñado como Director de Centro de Cálculo e Informática, Gerente de Desarrollo, Líder de Proyectos, Investigador, Instructor de cursos en Licenciatura y Maestría, Consultor y Asesor en Sistemas Computacionales. El Dr. Lemus recibió su título de Doctor en Ciencias Computacionales de la Universidad de Tulane en Nueva Orleans, en 1996. Obtuvo su título de Maestría en Ciencias Computacionales y el título de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Sistema ITESM Campus Monterrey en 1986 y 1988 respectivamente. Sus intereses de investigación incluyen reutilización de software y arquitecturas de software. Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores y se desempeña como profesor e investigador en el Departamento de Ciencias de la Computación del CIMAT ubicado en la Ciudad de Guanajuato, Guanajuato.

Mariano José Juan Rivera Meraz

Actualmente es Investigador Titular B del departamento de Ciencias Computacionales del CIMAT. Sus intereses de investigación son procesamiento de imágenes, visión computacional y metrología óptica. Ha realizado trabajos en regularización robusta, aplicada al procesamiento de imágenes y visión



temprana, restauración de imágenes (reducción de ruido, flujo óptico, detección de bordes.) También en el desarrollo de algoritmos para el análisis de patrones de franjas (de inter-ferogramas y proyección de luz estructurada) y desenvolvimiento de fase.

Rodolfo Palacios Ancona

El Lic. Rodolfo Palacios Ancona es egresado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla con el título de Licenciado en Ciencias de la Computación. En Julio 2005 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Computación y Matemáticas Industriales del CIMAT. Sus intereses de investigación incluyen análisis y procesamiento de imágenes, desarrollo de software, visualización de información científica y computación gráfica.

Dirección de los autores: CIMAT - Jalisco S/N, Col. Mineral de Valenciana, Guanajuato, Guanajuato México. Email: (clemola, mrivera, rodolfo)@ciamat.mx.

Servando Cardona Huerta

El Dr. Huerta es Médico Cirujano y Partero egresado de UANL en 1995. En el 2000, obtuvo el grado de especialidad en Cirugía General del Instituto Mexicano del Seguro Social en Monterrey, N. L. En el 2003 obtuvo los grados de especialidad de Cirugía Oncológica de la Universidad de Heidelberg, Alemania y el Doctorado en Medicina por el Centro Alemán de Investigación del Cáncer (DKFZ), y la Universidad de Heidelberg, Alemania. A partir del 2003 se desempeña como Profesor Titular del Servicio de Cirugía General en la UANL. Es miembro del Comité Editorial como revisor de la revista World Journal of Surgical Oncology, y miembro del Sistema Nacional de Investigadores. En Junio y Julio del 2005 realizó una estancia de entrenamiento en la Unidad de Mama del Instituto Karolinska, Suecia.

Dirección del autor: Universidad Autónoma de Nuevo León, Depto. Cirugía General Div. Cirugía Oncológica, Madero y Gonzalitos S/N, Mitras Centro, Monterrey, N. L. México. Email: scardona@ccr.dsi.uanl.mx

Apéndice

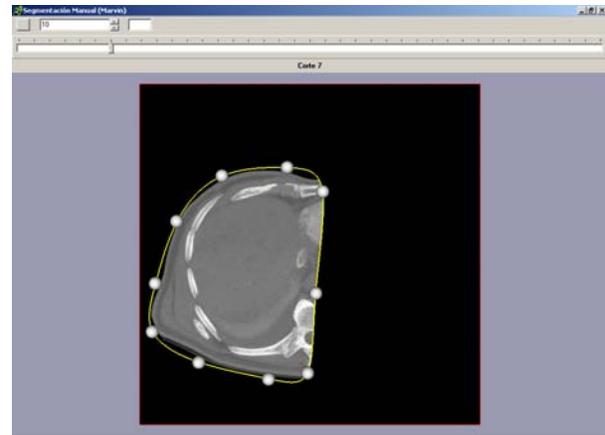


Figura 2. Segmentación manual de hígado.

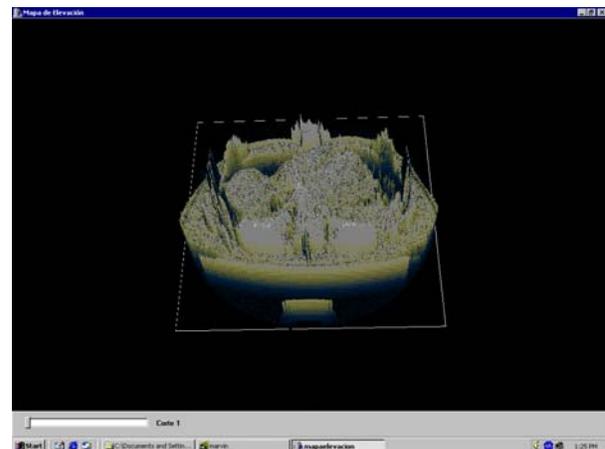


Figura 3. Mapa de elevación de abdomen e hígado.

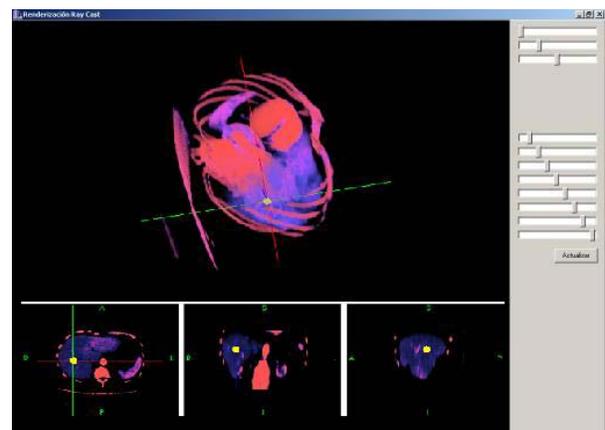


Figura 4. Proyección de haces para obtener volumen tridimensional del hígado.