

Estación médica para el procesamiento de imágenes y visualización de la actividad eléctrica cerebral sobre la reconstrucción tridimensional de la cabeza de un paciente

Manuel Guillermo Forero*
y Duvier Zuluaga*

Medical station for image processing and visualization of the brain electrical activity on a three-dimensional reconstruction of the patient's head

RESUMEN

En este artículo se presenta una revisión de algunos de los trabajos desarrollados por el grupo de investigación OHWAHA¹, en los que se aplican técnicas de procesamiento de imágenes y computación gráfica en la solución de problemas médicos. Particularmente, se describe un trabajo para análisis de imágenes individuales y otro en el que se emplea una pila de imágenes cerebrales de resonancia electromagnética para generar un modelo tridimensional de la cabeza y sobre él desplegar gráficamente información de la actividad eléctrica del cerebro, registrada en un electroencefalograma.

PALABRAS CLAVE

Procesamiento de imágenes, estación médica, DICOM, reconstrucción tridimensional de cabeza, imágenes de resonancia magnética, electroencefalografía, telemedicina

ABSTRACT

This paper presents a review of some researches in the computer graphics field conducted by OHWAHA¹ to solve medical problems. Particularly, a frame work to generate a three-dimensional human head model from a stack of brain images obtained by magnetic resonance is introduced. The envisaged system is suitable to display on the 3D head model the brain electrical activity obtained from electroencephalography.

KEY WORDS

Image processing, medical station, DICOM, three-dimensional reconstruction of head, Magnetic Resonance Images, electroencephalography, telemedicine

* Grupo de Investigación de Computación Gráfica y Procesamiento de Imágenes OHWAHA, mforero@optica.csic.es y duvier@hotmail.com.

1. Ohwaha es una palabra en lengua indígena sáiba que significa dibujar. El grupo de investigación OHWAHA está orientado a los campos de procesamiento de imágenes y computación gráfica.

1. INTRODUCCIÓN

Existe un gran número de aplicaciones provenientes del campo de *procesamiento de imágenes*² que van desde la mejora de fotografías, identificación de parásitos y reconocimiento de placas de automóviles hasta la visión artificial en robots. En medicina se estudian y procesan imágenes diagnósticas como herramienta de apoyo para proporcionar al médico más elementos para tomar decisiones en su trabajo, permitiéndole ver estructuras y procesos en el interior del cuerpo humano.

En este artículo se presenta el desarrollo de una estación médica para procesamiento de imágenes que incluye herramientas de telemedicina. La estación incluye un módulo especializado en el manejo de conjuntos de imágenes de la cabeza, capaz de realizar reconstrucciones tridimensionales y un módulo para la resolución de algunos problemas relativos al estudio de la actividad eléctrica cerebral.

2. IMÁGENES DIAGNÓSTICAS

Una imagen se puede definir de varias maneras, pero quizás la más sencilla sea la representación, mediante alguna proyección, del espacio tridimensional en un plano [1]. Un ejemplo es una fotografía. En ésta, la luz del exterior es captada por una lente y dirigida a una placa en la cual se imprime el color de la luz, con lo que la escena del mundo 3-D queda plasmada en el papel. Una imagen digital está conformada por una malla de puntos uniformemente distribuida, en la que a cada punto se le asigna un color. Esta distribución de puntos se encuentra organizada en una matriz, a diferencia de las imágenes análogas, en las que el color se distribuye uniformemente en la superficie de la placa de impresión. Cada uno de los puntos de una imagen digital se denomina *pixel*, contracción de los vocablos ingleses *picture* y *element*. Un ejemplo de imagen digital se muestra en la figura 1, la cual corresponde a una de las imágenes clásicas usadas en los cursos de procesamiento de imágenes.



Figura 1. Ejemplo de una imagen digital, conformada por pequeños puntos, cada uno con un color diferente. La unión de todos esos puntos forma la imagen mostrada. Debido a que existen muchos puntos, la imagen se ve continua.

Las imágenes digitales pueden ser procesadas por medio de un computador, empleando para ello una variada cantidad de técnicas, algunas orientadas a mejorar la imagen para que el ser humano pueda visualizarla, y otras orientadas a la extracción de características de la imagen, como detección y reconocimiento de formas, con el objetivo de hacerlas más aptas para procesarlas después en el computador.

En medicina existe un área denominada *imágenes diagnósticas* en la cual se manejan imágenes que son el resultado de exámenes a pacientes. En esta área se ha desarrollado una gran cantidad de técnicas de adquisición, que van desde los rayos X hasta imágenes de medicina nuclear, pasando por la ecografía, tomografía axial computarizada con escáner X y las imágenes de resonancia magnética. Cada una estas técnicas es adecuada para visualizar cierta clase de tejidos (hueso, materia blanca, materia gris) o ciertos procesos; por ejemplo, cambios en el consumo de oxígeno en diversas áreas del cerebro. Algunos ejemplos de este tipo de imágenes se muestran en la figura 2.

Aunque también se emplean imágenes a color, en medicina son más comunes las imágenes en niveles de gris³, debido a que en muchos casos son de más fácil generación. Cuando se trabaja en niveles de gris, una

2. Este campo investiga técnicas para obtener información de imágenes del mundo real, ya sea para mejorarlas o para usar esa información como parte de un objetivo mayor.

3. En las imágenes en niveles de gris a cada pixel se le asocia una intensidad que va desde el negro, lo menos intenso, hasta el blanco, lo más intenso, pasando por una escala de tonos de gris.

imagen se puede entender entonces como un arreglo bidimensional en la que cada posición almacena un único valor entero, el nivel de gris del píxel. Cuando las imágenes son en color, a cada píxel se le suele asociar un conjunto de valores (por lo general tres) que sirven para especificar un color de acuerdo a un modelo dado⁴. Las imágenes médicas son de suma importancia en el diagnóstico y estudio de enfermedades, por lo que el desarrollo de herramientas para su tratamiento es un área de estudio bastante activa.

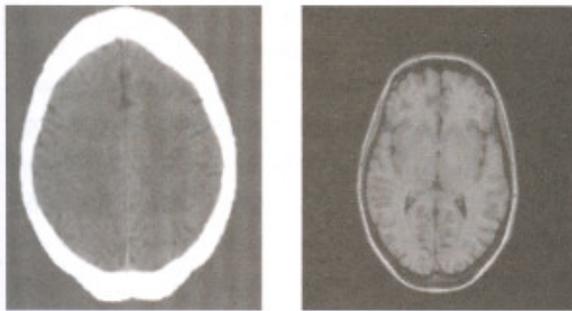


Figura 2. a) Ejemplo de una imagen de escáner X. b) Imagen de resonancia magnética.

3. ESTACIÓN MÉDICA PARA PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Con el objetivo de ayudar a los médicos en su labor, se desarrolló una aplicación en la que se incorporan técnicas de procesamiento para mejorar imágenes, extraer y analizar información, y realizar análisis comparativos [2]. En lo concerniente a la mejora, se han incluido operaciones para definición del brillo y contraste, tanto en imágenes a color como en imágenes en niveles de gris. Para análisis de información se implementaron herramientas para la definición de contornos de regiones y medición de distancias, así como un módulo de reconocimiento de patrones con capacidades básicas de visión artificial. Para realizar análisis comparativos, se desarrolló un componente que soporta operaciones lógi-

4. Un modelo de color se usa para explicar las propiedades de un color como una combinación de ciertos parámetros. La diferencia de los modelos radica en los parámetros considerados para describir un color. Por ejemplo el modelo RGB considera al color como la combinación de los colores rojo (R), verde (G) y azul (B), mientras que el HSV usa como parámetros el tono (H), saturación (S) y brillantez (V).

cas y aritméticas entre imágenes. En cuanto a lo médico, el programa es capaz de manejar archivos en formato DICOM. Además se han incluido algunas herramientas propias de telemedicina.

La aplicación de técnicas como modificación de brillo y contraste son importantes para la observación de ciertos detalles en una imagen por parte de un especialista. Como se puede ver en la figura 3, la simple aplicación de estos procesos puede hacer que se vean de manera más clara características de la imagen, lo que puede ayudar a que el médico detecte de manera más fácil cierta clase de problemas en el paciente.



Figura 3. A la derecha se muestra el resultado de mejorar el brillo y el contraste de la imagen original.

Otras herramientas, como la medición de distancias, o la definición de regiones de forma irregular por medio de curvas deformables, dan la posibilidad de efectuar análisis cuantitativos, tomando datos por ejemplo, del tamaño de estructuras en imágenes de diferentes pacientes. De hecho, estas herramientas han sido utilizadas en trabajos de apoyo a la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional de Colombia, en la medición de vasos neoformados y la incidencia de ciertos medicamentos en la variación de su tamaño. En la figura 4 se presenta la medición de distancia en una imagen del cerebro y del área de un ventrículo por medio de un spline.

Por otra parte el manejo del formato DICOM⁵ es un componente clave, por ser el estándar empleado por

5. DICOM es un estándar desarrollado por el consorcio ACR-NEMA (American College of Radiologists-National Electronic Manufacturers Association) para el almacenamiento y transmisión de imágenes médicas. Se diferencia de otros formatos de imágenes en la inclusión de datos médicos, como nombre del paciente, estudio realizado, institución médica, etc.

los equipos de adquisición de imágenes médicas como los resonadores magnéticos. A pesar de ello, muchas veces los equipos no cumplen la especificación DICOM, ya que sus fabricantes suelen modificarla deliberadamente, algunas veces con el objeto de hacer que sólo sea posible visualizar las imágenes empleando sus productos. A partir de un estudio minucioso de varios de estos archivos, fue posible deducir las diferencias de formato respecto del estándar [3]. El poder trabajar en este formato, incluidas sus variantes, brinda la posibilidad al médico de trabajar con las imágenes adquiridas en cualquier PC, sin tener que hacerlo en los costosos equipos especializados empleados para visualizar estas imágenes, al tiempo que permite al paciente salvar sus imágenes en un medio magnético convencional, por ejemplo un CD-ROM, sin tener que conservar un gran número de placas, que con el tiempo se pueden deteriorar o perder.

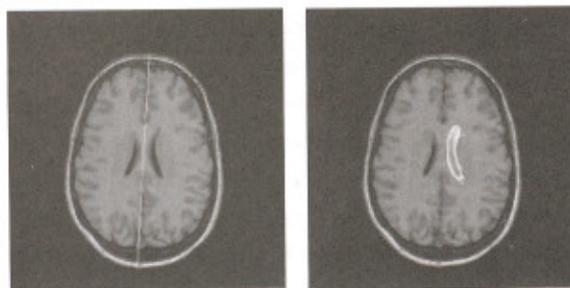


Figura 4. Medición con regla, y medición de área con splines. La forma irregular del ventrículo puede especificarse por medio del spline.

La telemedicina puede entenderse como la capacidad de proporcionar cualquier tipo de servicio médico a distancia. En el caso de imágenes, puede definirse como la capacidad de realizar su análisis desde diferentes lugares, bien sea sincrónica o asincrónicamente. El desarrollo de este campo resulta de especial significa-

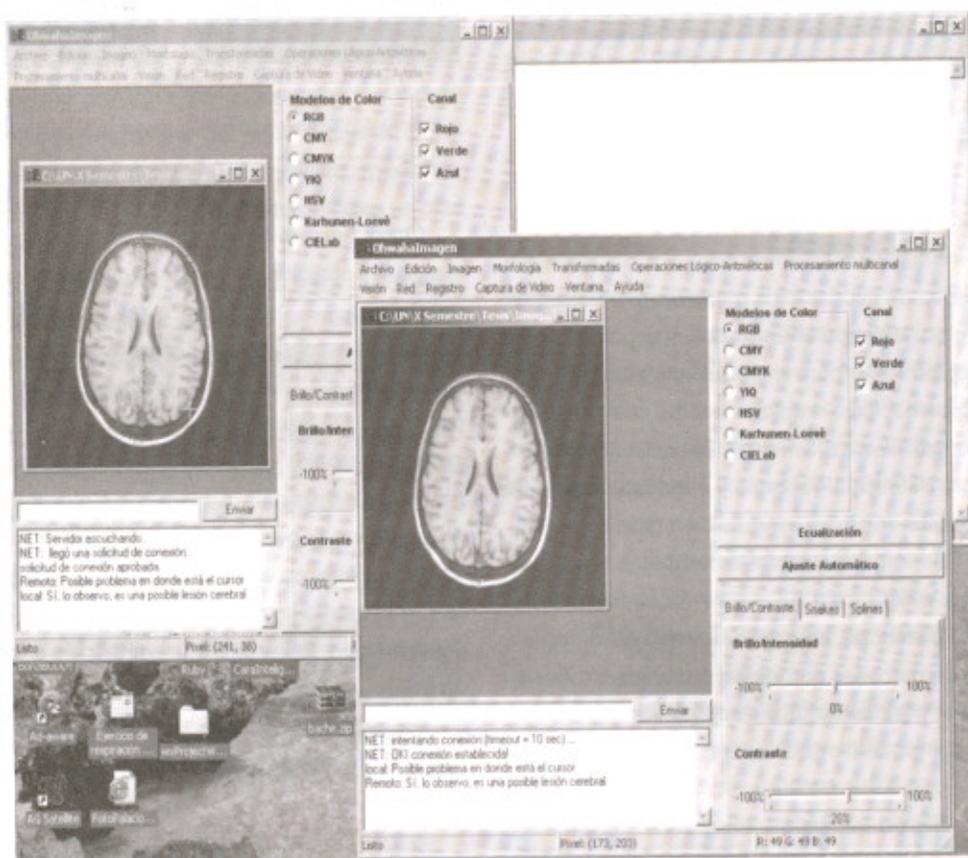


Figura 5. Ejemplo de las herramientas de telemedicina incorporadas en la aplicación. Aquí se intercambian opiniones por medio del chat, además de modificar la imagen. En la esquina inferior derecha de la ventana de la izquierda, se observa el cursor remoto como una pequeña cruz amarilla.

ción en el mejoramiento de calidad de vida de las comunidades donde el acceso a servicios médicos especiales es difícil.

En la aplicación desarrollada se hace uso de Internet⁶ para comunicar aplicaciones en lugares distantes, implementando herramientas como chat, envío y recepción de archivos y despliegue de cursor remoto. De esta forma es posible que los especialistas que no compartan un espacio físico común puedan conectarse a la red empleando la estación médica para conformar un equipo de trabajo. Cada integrante conectado podrá, simultáneamente, observar la imagen, efectuar los procesamientos que considere necesarios e intercambiar archivos y opiniones con el resto de integrantes. La figura 5 muestra estas herramientas en ejecución con una simulación de diagnóstico sobre imágenes. En ella los procesamientos, por ejemplo de brillo y contraste, que sean realizados en uno de los equipos conectados, se ven reflejados automáticamente en el otro.

4. MÓDULO DE RECONSTRUCCIÓN 3D

El otro módulo de la estación médica es el especializado en manejo 3D de la cabeza humana. En diferentes tipos de exámenes del cerebro, como la resonancia magnética y la tomografía axial computarizada, es posible obtener un pila de imágenes, por ejemplo, un conjunto de imágenes cerebrales adquiridas a distintas alturas y en una orientación fija, la mayoría de las veces axial (ver figura 6). Gracias a que el grado de semejanza entre cualquier par de imágenes de la pila es una función de la distancia que las separa (mayor cuanto más

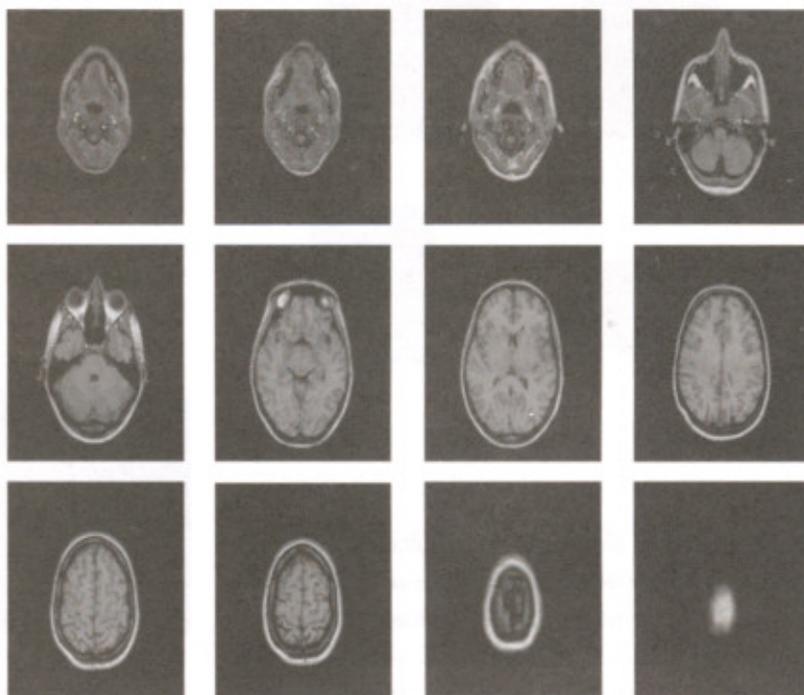


Figura 6. Ejemplo de una pila de imágenes del cerebro. La imagen superior izquierda es cercana a la garganta, y la inferior derecha es de la parte superior de la cabeza.

cercana se encuentren), es posible extraer información 3-D al tomarlas en su conjunto.

En este caso, el concepto de pixel se extiende de un modo natural al de *voxel*, que se puede entender como una entrada en un arreglo tridimensional construido a partir de alguna clase de interpolación de los pixeles que lo delimitan. Para reconstruir cortes en inclinaciones arbitrarias basta con encontrar la ecuación del plano y, a partir de ella, recorrer el cubo formado por la pila de imágenes revisando en cada posición qué voxels son tocados y realizando con ellos una interpolación para determinar la intensidad del pixel de la imagen generada [4, 5]. La figura 7 muestra los tipos de cortes estándar empleados en los resonadores para adquisición de pilas de imágenes. La figura 8 muestra un corte generado en una inclinación arbitraria.

La información tridimensional contenida en la pila también puede ser aprovechada para generar un modelo tridimensional de reconstrucción de la cabeza o de alguna estructura en el interior de ella. Cuando se desea reconstruir algo de este modo, es necesario realizar previamente un proceso de segmentación que determine con claridad qué parte de la imagen corresponde al objeto por reconstruir. Para esto se han estu-

6. Internet es una red de computadores de nivel mundial. Usando las facilidades proveídas por esta red, es posible comunicar computadores en sitios distantes de una forma sencilla. Los costos de conexiones de este tipo no son muy altos, ya que es posible usar medios como la línea telefónica para conectarse.

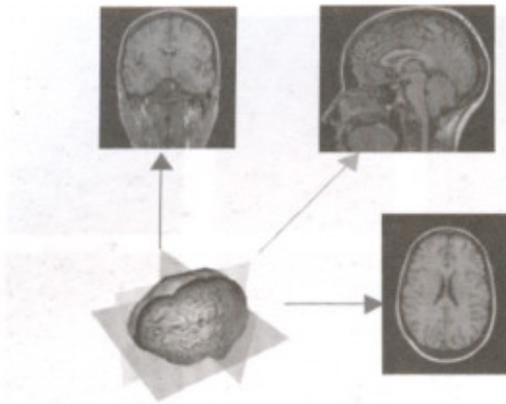


Figura 7. Inclinaciones estándar. Arriba: coronal, sagital; abajo: axial.

diado diferentes técnicas cuyos resultados deben ser evaluados a la luz de la aplicación que se esté desarrollando. Particularmente, para el problema de reconstrucción de la cabeza de un individuo, se usó la técnica de Forero [1], mediante la cual se obtiene una segmentación correcta de la cabeza, distinguida con el color blanco, separándola del fondo, de color negro, como lo muestra la figura 9. Al segmentar correctamente la cabeza en todas las imágenes, es posible combinar la información para generar el modelo tridimensional.



Figura 8. Corte generado en una inclinación arbitraria.

Teniendo segmentada la cabeza en las imágenes, es posible definir el volumen uniendo puntos en cortes adyacentes, empleando diferentes técnicas, como la de Marching Cubes, u otro método de triangulación de superficies [6]. Para la reconstrucción de estructuras

en el interior del cerebro, pueden usarse métodos como segmentación por semilla (en la cual a partir de un voxel dado se marcan todos los vecinos que tengan un nivel de gris similar y se aplica este proceso de forma recursiva) o se pueden emplear técnicas específicas a la estructura que se esté tratando, como la empleada como en la reconstrucción del cerebro [7]. El resultado de este proceso se puede observar en la figura 10.

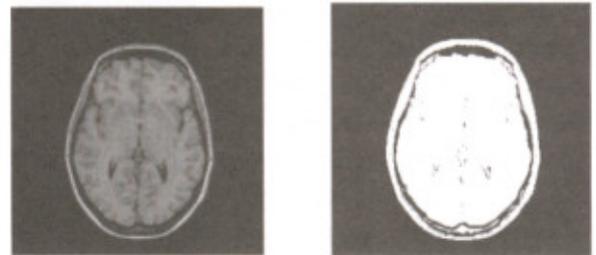


Figura 9. Segmentación de la cabeza por técnica de Forero. La región segmentada se marca con el color blanco.

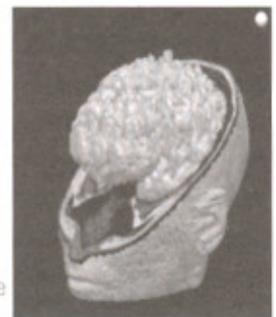


Figura 10. Resultado del proceso de reconstrucción.

5. MÓDULO DE CARTOGRAFÍA CEREBRAL

Finalmente, mediante el último módulo desarrollado se busca presentar información de la actividad eléctrica cerebral, obtenida por medio de un examen electroencefalográfico en un modelo tridimensional de la cabeza.

En un examen electroencefalográfico se colocan electrodos en ciertos sitios del cuero cabelludo para registrar las variaciones de potencial ocurridas durante un examen. Estas variaciones generan curvas como las mostradas en la figura 11. Estas curvas requieren ser interpretadas por un profesional. En ocasiones, les es difícil señalar la ubicación espacial precisa de la información obtenida a partir de las señales. Considerando

el hecho de que éstas fueron tomadas en un espacio tridimensional, se han desarrollado modelos para desplegar esta actividad en una forma más realista.

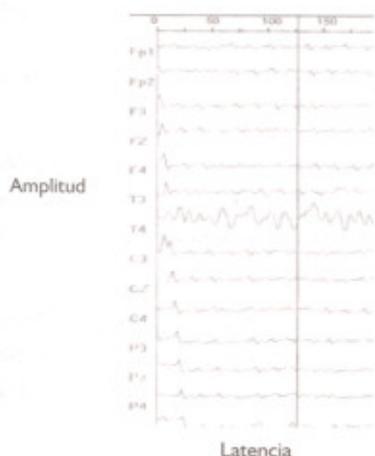


Figura 11. Ejemplo de curvas de potencial.

En principio se empleó el modelo de las tres esferas concéntricas [8] para realizar una interpolación sobre un maniquí que representa al paciente, además de localizar posibles focos de actividad eléctrica [9]. La figura 12 muestra el resultado de una de estas interpolaciones. Sin embargo, como la estación cuenta con un módulo propio para la reconstrucción de la cabeza de un paciente a partir de un conjunto de imágenes de resonancia magnética (descritas en la sección 4), se buscó reemplazar el maniquí con la cabeza real del paciente: en el momento de tomar las imágenes de resonancia magnética se pueden usar marcadores especiales en las posiciones donde se van a ubicar los electrodos; posteriormente, en el momento de generar el modelo 3-D, estas posiciones son detectadas y la información es trans-

ferida para realizar la visualización de la actividad eléctrica.



Figura 12. Despliegue de la actividad eléctrica sobre un maniquí.

Figura 13. Despliegue sobre la cabeza real de un individuo.



trica directamente sobre el cuero cabelludo del paciente. La figura 13 muestra uno de estos despliegues.

6. TRABAJO FUTURO

Existen aún muchos campos por explorar. Por una parte, quedan por desarrollar varias tareas en telemedicina, como la implementación de más herramientas para la manipulación simultánea de imágenes por un equipo de más de dos personas, o el manejo de bases de datos de pacientes de centros médicos. En el área de reconstrucción, se pretende continuar investigando en la identificación de estructuras cerebrales específicas, por ejemplo, para efectuar medición de materia gris. En el área de cartografía hace falta desarrollar un módulo estadístico con el que sea posible caracterizar una población dada a partir del estudio de una muestra de individuos. Finalmente, uno de los grandes retos es proyectar la actividad eléctrica (desplegada actualmente sobre el cuero cabelludo) sobre la superficie del cerebro, para lo que hace falta profundizar el estudio de modelos de elementos finitos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la colaboración del ingeniero Jean Pierre Charalambos en la elaboración del artículo y la de todos los miembros del grupo Ohwaha que de una u otra forma han ayudado a realizar la estación médica.

REFERENCIAS

- [1] Forero M.G. (2002). *Introducción al procesamiento digital de imágenes*. ISBN 958-33-3819-2. Publicado por la Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED. Madrid. España.
- [2] Forero, M.; Sierra, E.; Zuluaga, D.; Sánchez, W.; Rozo, A.; Pachón C. (2002). *Low Cost Medical Station*, Proceedings 16th Biental Eurasip Conference BIOSIGNAL 2002, Vultium Press, Brno, República Checa, ISBN 80-214-2120-7. ISSN 1211-412X.
- [3] Díaz, G.; Sarmiento, W. (2000). *Diseño y desarrollo de un prototipo en software de interfaz entre el estándar de imágenes médicas ACRNEMA DICOM y un formato portable a PC*. Tesis de Pregrado. Ingeniería de Sistemas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- [4] Hernández, C. (1999). *Desarrollo de un prototipo de software para la generación tridimensional de cortes a partir de una pila de imágenes de resonancia magnética*. Tesis de pregrado. Ingeniería de Sistemas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- [5] Bocanegra, J. (2001). *Aplicación semiautomática para la identificación de tejidos del cerebro humano basado en el atlas de Talairach y Tournoux*. Tesis de pregrado. Ingeniería de Sistemas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- [6] Monsegny, J. (2002). *Prototipo de Reconstrucción Volumétrica de Órganos de la Cabeza*. Tesis de pregrado. Ingeniería de Sistemas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- [7] Forero, M.; Monsegny, J. *Recognition of Real Brain Tissues on a three-dimensional reconstruction*, Proceedings 16th Biental Eurasip Conference BIOSIGNAL 2002, Vultium Press, Brno, República Checa. 2002. ISBN 80-214-2120-7. ISSN 1211-412X.
- [8] Aponte, A. M.; Delgado, N. L. (2000). *Construcción de un software para el cálculo de potenciales eléctricos cerebrales usando el modelo de tres esferas concéntricas*. Tesis de pregrado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- [9] Beltrán, R. (2002). *Implementación Gráfica del Algoritmo MUSIC para resolver el problema inverso en cartografía cerebral*. Tesis de pregrado. Ingeniería de Sistemas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.