

ARTICULO

Cartografía cerebral 3D obtenida a partir de electroencefalogramas en papelJorge Rodríguez¹, Gerardo Facenda¹, Antonio Eblen-Zajjur²¹CEMVICC, FACYT, Universidad de Carabobo²Fac. de Ciencias de la Salud,
Universidad de Carabobo
Valencia, Venezuela.**Correspondencia:** Jorge Rodríguez**E- mail:** jrodrigu@uc.edu.ve**Recbido:** Octubre 2009 **Aprobado:** Noviembre 2010**RESUMEN**

El electroencefalograma (EEG) es el registro clínico no invasivo más empleado para la detección rápida de estados disfuncionales del cerebro. En la actualidad la interpretación de los trazos electroencefalográficos en papel es altamente usada para el diagnóstico de diferentes patologías y requiere de un alto grado de conocimiento y entrenamiento. La cartografía cerebral, por su parte, es una técnica de representación de los trazos electroencefalográficos, en forma de mapas en dos o tres dimensiones, que sintetiza el contenido de todas las señales registradas por los electrodos para un tiempo dado. Hoy en día, existen sistemas de cartografía cerebral digitales muy sofisticados, pero a costos muy elevados y altos requerimientos de hardware. Adicionalmente, la gran mayoría de los centros clínicos en los países en vías de desarrollo poseen equipos de EEG convencionales. En este trabajo, se propone el desarrollo de una herramienta de software para la generación y visualización interactiva de mapas de actividad eléctrica cerebral a partir de los EEG convencionales en papel. Ello permite dotar, a bajo costo, a los electroencefalógrafos convencionales en papel de la capacidad de representación visual de los electroencefalógrafos digitales modernos.

Palabras Clave: EEG digital, cartografía cerebral, visualización científica**ABSTRACT****3-D Brain Cartography Obtained from the Conventional Electroencephalogram on Paper**

The electroencephalogram (EEG) is the most used clinical test for assessing brain function. It is a non-invasive technique which provides a rapid detection of brain dysfunction. Nowadays, diagnosis based on the EEG curves is widely used, but its correct interpretation requires a lot of training and knowledge. On the other hand, brain cartography is an important complement of the EEG. It represents the EEG curves as a 2D or 3D color map, over the head's surface, which synthesizes the electric information captured by the electrodes at a given time. There are very sophisticated digital EEG devices that generate a 3D cartography of the brain. However, such devices are very

expensive. In addition, most medical centers in developing countries have conventional EEG devices with chart paper output. This work presents the development of a software application which generates 3D maps of the brain's electrical activity from the conventional electroencephalogram on paper. In this way, an ancient and conventional analogic EEG becomes a modern digital EEG at a very low cost.

Key words: digital EEG, brain cartography, scientific visualization.

INTRODUCCIÓN

En el año 1929, H. Berger, psiquiatra alemán, creó la técnica de exploración neurofisiológica conocida como electroencefalografía (EEG), según Niedermeyer y Silva (1), la cual registra en la superficie de la cabeza las débiles corrientes eléctricas generadas por el cerebro. Estas señales eléctricas, con amplitudes de 5 a 500 microvoltios, son amplificadas, filtradas y, por último, los resultados son impresos típicamente sobre una tira de papel con un gráfico continuo y multicanal de amplitud (μV) versus el tiempo (ms), el cual se interpreta generalmente con técnicas basadas en la inspección visual. Esta interpretación requiere de habilidad y años de experiencia clínica.

El especialista debe ser capaz de manejar la valoración de la amplitud, frecuencia, localización y morfología de las ondas cerebrales, para determinar si una banda espectral de EEG es normal, está aumentada o disminuida. Los EEG digitales (dEEG), al igual que los EEG convencionales, recogen las señales eléctricas del cerebro mediante electrodos, pero esta vez las ondas amplificadas alimentan una computadora. A partir de un dEEG podemos visualizar las señales de EEG en diferentes perspectivas utilizando la información para producir una representación tridimensional de la actividad eléctrica del cerebro. El interés en ésta técnica se sustenta en su sensibilidad para la detección de patrones anormales de actividad eléctrica, especialmente en ondas de bajo voltaje, además de aportar hasta 30% de mejor localización anatómica de lesiones, al compararla con los EEG convencionales (2), lo cual es útil en las evaluaciones de las demencias (3). Desafortunadamente, el hardware y software requeridos para la realización del dEEG son extremadamente costosos y poco accesibles. Por ello, en la mayoría de los hospitales de nuestro país, los médicos realizan sus estudios a partir de EEG en papel.

El presente trabajo presenta el desarrollo de una herramienta de software que recibe como entrada la digitalización de un EEG en papel y genera el mapa 3D de actividad eléctrica cerebral.

Debido a que el número de electrodos o puntos de medición es reducido (típicamente de 8 a 32) en comparación con la superficie encefálica, la generación de imágenes cartográficas o mapas de actividad encefálica requiere calcular un número muy superior de puntos a partir de los puntos medidos, para así obtener una imagen adecuada. Este proceso matemático se denomina interpolación.

Diversos trabajos han sido desarrollados para la creación de mapas cerebrales a partir de las señales electroencefalográficas. Inicialmente, y aún en la actualidad se han propuesto softwares de mapeo tridimensional de la actividad eléctrica cerebral con técnicas de interpolación lineal y exponencial basadas en el cálculo a partir de los puntos vecinos más cercanos (4,5), sin embargo, en estas propuestas, el proceso de interpolación no considera la cualidad semiesférica de la superficie craneal donde están colocados los electrodos.

En la actualidad, una nueva familia de algoritmos de interpolación basados en funciones *splines* que permiten resultados más confiables que aquellos métodos de interpolación por puntos vecinos más cercanos. El primero de estos métodos de interpolación se basaba en funciones splines de placas delgadas (6,7).

Previamente, en los trabajos de Perrin et al., (8) y Wahba (9) se aplican funciones de splines esféricos para llevar a cabo la interpolación. Este método ofrece resultados mejores que los anteriores, especialmente cuando el número de electrodos es pequeño, es decir, cuando existe submuestreo espacial. Una descripción detallada de las funciones de splines esféricos aplicados a la generación de mapas cerebrales puede ser hallada en la obra *Brain Topography* (10). También, Soufflet et al., (11) proponen una comparación estadística de los métodos de interpolación aplicados al mapeo tridimensional de EEG, resultando particularmente confiables los splines esféricos. Más recientemente, Walerjan et al., (12) diseñan un programa para el análisis de EEG usando técnicas de mapeo cerebral aplicando diferentes algoritmos de interpolación, desde los basados en métodos de vecinos más cercanos hasta métodos basados en funciones de splines esféricos.

Asimismo, González y Eblen-Zajjur (13) desarrollaron un sistema para obtener, a partir de mediciones manuales de amplitud de registros convencionales en papel de EEG, representaciones 2D y 3D de la actividad eléctrica cerebral. Dicha propuesta fue aplicada posteriormente en el desarrollo de una herramienta de software para la generación de mapas 3D a partir de EEG en papel (14).

En nuestra propuesta, retomamos los trabajos de Escalona et. al. [EDG04] y González y Eblen-Zajjur (15), usando una estrategia optimizada del cálculo de la interpolación con splines esféricos que permite disminuir significativamente el tiempo de cómputo de los mapas cerebrales y así facilitar el proceso de interpretación de las imágenes digitales del trazado EEG en papel y mejorar sustantivamente la interfaz gráfica con el usuario.

MATERIALES Y MÉTODOS

La generación de los mapas cerebrales consiste en asociar a cada uno de los puntos sobre la superficie craneal el valor de voltaje eléctrico que le corresponde según la medición realizada por el EEG. Asociando una escala de color a los voltajes se pueden generar mapas de colores como el mostrado en la figura 1, en la que se presenta una proyección cenital circular de la cabeza del paciente, orientado con noción hacia abajo, generada a partir de un registro monopolar de 9 electrodos. Se aprecia la

distribución del campo eléctrico instantáneo según la escala de microvoltaje equivalente a 14 tonos o pseudocolores en la margen derecha. Los puntos oscuros corresponden a la localización de los electrodos de registro a partir de los cuales se obtuvieron las mediciones reales.

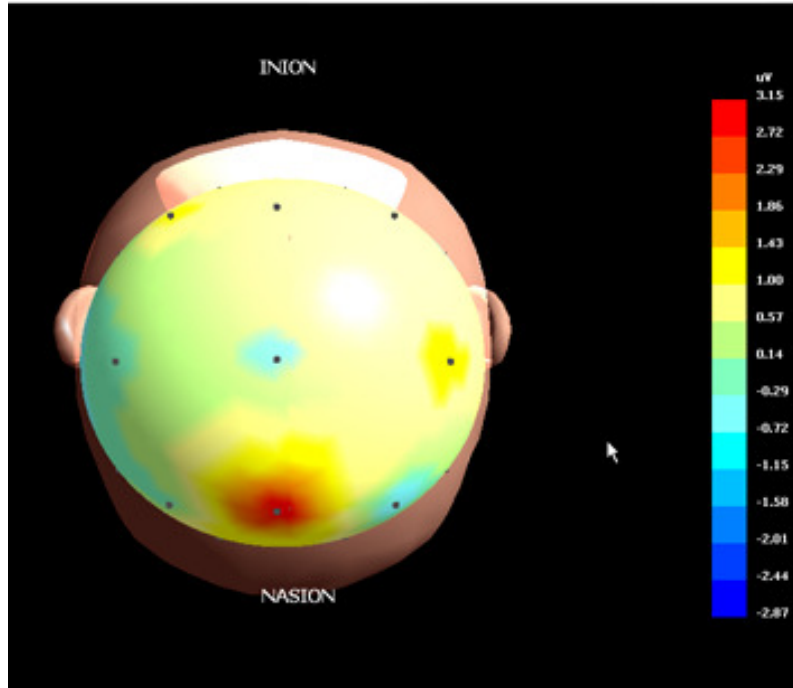


Figura 1. Mapa de actividad eléctrica cerebral instantánea con proyección cenital, nasi3n hacia abajo. Distribuci3n de potenciales de campo expresados en μV seg3n escala de 14 pseudocolores. Valores positivos representados con colores c3lidos (rojo) y valores negativos con colores fr3os (azul).

En el resto de la superficie craneal s3lo podemos aproximar los valores de voltaje a trav3s del proceso de interpolaci3n. En el presente trabajo se utilizaron las funciones de splines esf3ricos para la interpolaci3n, las cuales pueden ser definidas como sigue: Sea $W(x,y)$ el valor de voltaje interpolado en el punto $P(x,y)$, sea S una proyecci3n esf3rica de $P(x,y)$, sea E_i la ubicaci3n esf3rica del electrodo i -3simo, la f3rmula del spline esf3rico de grado m , para N electrodos es de la siguiente forma:

$$W(x, y) = C_0 + \sum_{i=1}^N C_i * g_m(\cos(S, E_i)) \quad (1)$$

donde $\cos(S, E_i)$ representa el coseno del 3ngulo entre los vectores S y E_i y g_m se expresa como:

$$g_m(x) = \frac{1}{4\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{(n(n+1))^m} P_n(x) \quad (2)$$

con P_n el polinomio de *Legendre* de grado n . Por su parte, los polinomios de *Legendre* se definen recursivamente de la siguiente forma:

$$P_n(1) = 1, \forall n$$

$$P_{n+1}(x) = \frac{2n+1}{n+1} x P_n(x) - \frac{n}{n+1} P_{n-1}(x), n \geq 1 \quad (3)$$

Dado que conocemos los voltajes en los E_i , correspondientes a las ubicaciones de los electrodos y estableciendo la siguiente condición:

$$\sum_{i=1}^n C_i = 0 \quad (4)$$

Podemos construir un sistema de ecuaciones lineales para calcular los C_i de la siguiente forma:

Sea G_m una matriz $N \times N$ tal que $G_m[i,j] = g_m(\cos(E_i, E_j))$.

Sea $C = [c_1, c_2, \dots, c_N]^t$, $U = [1, 1, \dots, 1]^t$ y $W = [W_1, W_2, \dots, W_N]^t$, entonces:

$$G_m * C + c_0 U = W \quad (5)$$

$$U^t C = 0$$

De esta manera, resolvemos el sistema planteado para obtener los coeficientes C_i . Una vez que éstos han sido calculados, la ecuación 1 permite interpolar el voltaje a cualquier punto sobre la superficie semi-esférica craneal.

Al analizar la ecuación 1, notamos que los puntos sobre la superficie semi-esférica, para los cuales vamos a interpolar sus voltajes son constantes. Luego, para hacer los cálculos más rápidos es posible pre-calcular los coeficientes $g_m(\cos(S, E_i))$, y almacenarlos en una tabla de búsqueda de acceso directo. Ello ha permitido acelerar considerablemente el proceso de interpolación con relación a los expuesto por González y Eblen-Zajjur y Escalona J, Díaz W, González I, Eblen-Zajjur A, Rodríguez J. (13-15). En la sección de resultados se puede apreciar comparaciones al respecto.

Procesamiento de Imágenes de EEG Digitalizados. Como se menciona en la introducción, uno de los aportes de este trabajo, con relación a otros anteriores, consiste en proponer un módulo que permite realizar cartografía cerebral a partir de EEG convencionales en papel. Para ello, la tira de papel del EEG es digitalizada en un escáner convencional a una aceptable resolución (600 DPI o superior). La imagen resultante de esta

digitalización es cargada en la aplicación y se inicia el proceso de interpretación de dicha imagen. Este proceso comprende dos etapas: En primer lugar, limpieza de la imagen y, en segundo lugar, conversión de la imagen en valores de amplitud EEG.

Limpieza de la Imagen. La primera fase comprende el procesamiento digital de la imagen para eliminar ruidos inherentes al proceso de escaneado del EEG en papel y a manchas en el formato original. Este procesamiento consistió en aplicar sobre la imagen binaria del EEG un algoritmo de barrido con análisis de la 8-vecindad de cada píxel. Un píxel negro es catalogado como perteneciente a una traza cuando 5 o más píxeles de su 8-vecindad resulten negros (Ver figura 2-izquierda). Por el contrario, si menos de 5 píxeles de su 8-vecindad son negros, se dice que el píxel es ruido en la imagen (ver figura 2-derecha). De esta manera, se eliminan numerosas manchas pequeñas aisladas en la imagen.

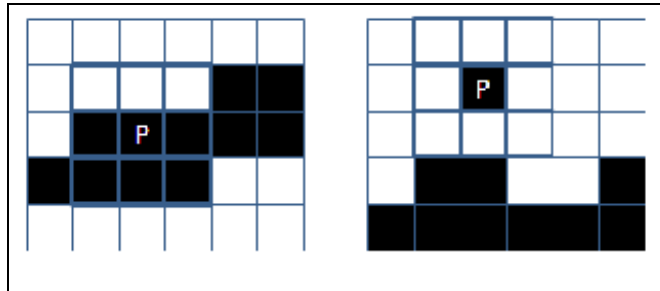


Figura 2. Izquierda: Píxel P catalogado como traza. Derecha: Píxel P catalogado como ruido.

Conversión de píxeles a valores de amplitud EEG (μV). Una vez que la imagen ha sido limpiada de ruidos pequeños, se inicia el proceso de conversión de píxeles a valores de amplitud comprensibles por el módulo de generación de la cartografía cerebral. Para ello se debe construir, a partir de cada curva presente en la imagen, una traza de grosor unitario de donde sea posible extraer para cada valor x , correspondiente a un instante de tiempo, un único valor y que represente el valor de amplitud en este punto. Para ello se desarrolló un algoritmo de extracción de valores de amplitud basado en el recorrido de los píxeles negros adyacentes. Un proceso de adelgazamiento de la curva permite obtener una representación funcional de la señal donde para cada instante discreto x existe un único valor de amplitud y . Este proceso de adelgazamiento se lleva a cabo de la siguiente manera: Partiendo de un píxel negro semilla (x,y) , se inicia un recorrido horizontal de la curva hacia la posición $x+1$. Si $(x+1,y)$, $(x+1,y+1)$ o $(x+1,y-1)$ es negro, se evalúa la secuencia vertical ininterrumpida, hacia arriba y hacia abajo, de píxeles negros adyacentes. Se escoge, como siguiente píxel de la traza, el valor medio de dicha secuencia. De esta forma, extraemos un único valor de amplitud para cada posición x a lo largo de la traza. La figura 3 ilustra este proceso.

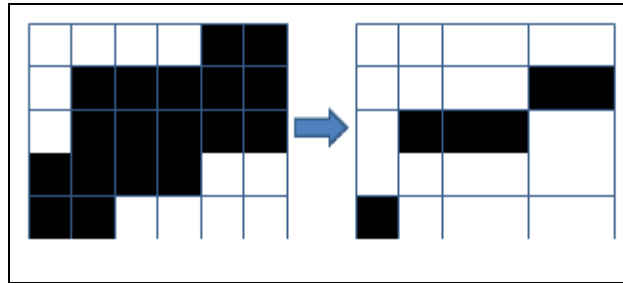


Figura 3. Izquierda: Imagen original. Derecha: Traza unitaria extraída.

La escogencia de la semilla es igualmente un proceso automático, a través de un recorrido vertical de la imagen en la posición de inicio de las trazas EEG. Por su parte, determinar el valor de amplitud consiste en estimar la distancia, hacia arriba o hacia abajo, del valor de amplitud respecto a una línea horizontal referencial que representa el voltaje cero. Esta línea referencial es ubicada automáticamente por la aplicación a partir de las marcas que para tal fin posee la hoja del electroencefalograma en papel (ver figura 4). Estas marcas son detectadas automáticamente por la aplicación. Sin embargo, esta línea podrá ser reubicada interactivamente por el usuario, de ser necesario.

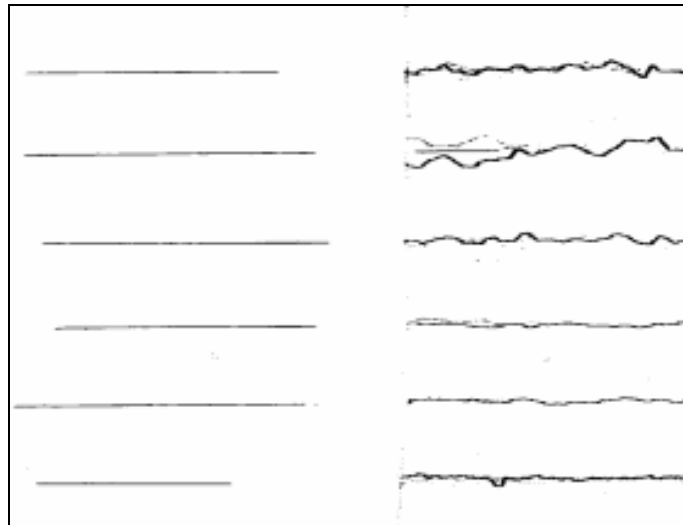


Figura 4. Líneas referenciales del voltaje cero en el EEG en papel a partir de las cuales se calculan los valores de amplitud (μV) positivos o negativos de cada trazado o canal de registro del EEG.

Generando una traza continua. Como se puede apreciar en la figura 3, la traza resultante del proceso anterior puede presentar discontinuidades. Estas discontinuidades, irrelevantes para el proceso de obtención de valores de amplitud, son sin embargo desagradables para la representación gráfica de la traza EEG en pantalla. Por ello, a fin mostrar al usuario una traza EEG continua tal y como está acostumbrado a percibirla en el EEG en papel, se desarrolló un tercer algoritmo de

reparación de discontinuidades en la traza. Este procedimiento consiste en ir desplazándose horizontalmente por la traza y rellenar los píxeles blancos faltantes para garantizar continuidad en la traza. Si estamos ubicados en el píxel negro (x,y) y en la columna siguiente, $x+1$, el píxel negro está ubicado en la fila $y+i$, el algoritmo rellenará todos los píxeles blancos desde la posición $(x+1,y)$ hasta la posición $(x+1,y+i-1)$, garantizando la continuidad de la traza.

La figura 5 ilustra este procedimiento. En la sección de resultados se pueden apreciar ejemplos para EEG completos.

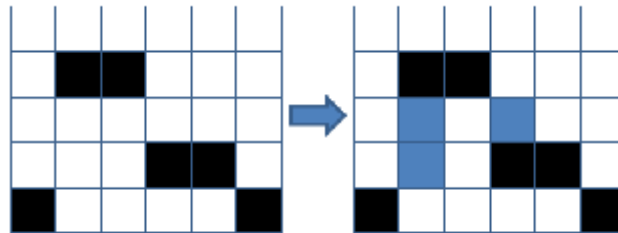


Figura 5. En la izquierda se presenta una traza discontinua original. En la derecha se muestra la discontinuidad reparada por el programa.

Interfaz Gráfica con el Usuario. Tal como se menciona en la sección 2, otro aporte de esta propuesta consiste en dotar a la herramienta de software de una interfaz gráfica que facilitará al usuario la interacción con la aplicación. Para ello se integró el módulo de procesamiento de la imagen de EEG con el módulo de cartografía cerebral en una única herramienta. El desarrollo de todos los módulos fue realizado en lenguaje C++ en conjunto con las bibliotecas de manipulación de gráficos 3D OpenGL y de desarrollo de interfaces gráficas con el usuario Qt, lo cual permite su compilación y uso en cualquier plataforma de uso masivo.

Módulo de procesamiento de imágenes de EEG. Consiste de una pantalla donde se visualiza la imagen del EEG digitalizado y un panel superior con los comandos de limpieza de la imagen y conversión a trazas de amplitud. Asimismo, una vez convertida la imagen a trazas de amplitudes, es posible modificar la ubicación vertical de la línea de referencia, voltaje cero, para cada traza de forma independiente. Adicionalmente, es posible definir de manera interactiva el intervalo de tiempo o periodo de señal del EEG que deseamos mapear tridimensionalmente. Finalmente, operaciones convencionales de *zoom-in* y *zoom-out*, almacenar un EEG procesado e incluso imprimir un EEG nuevamente en papel pueden ser activadas desde este módulo. La figura 6 ilustra la interfaz de este módulo.

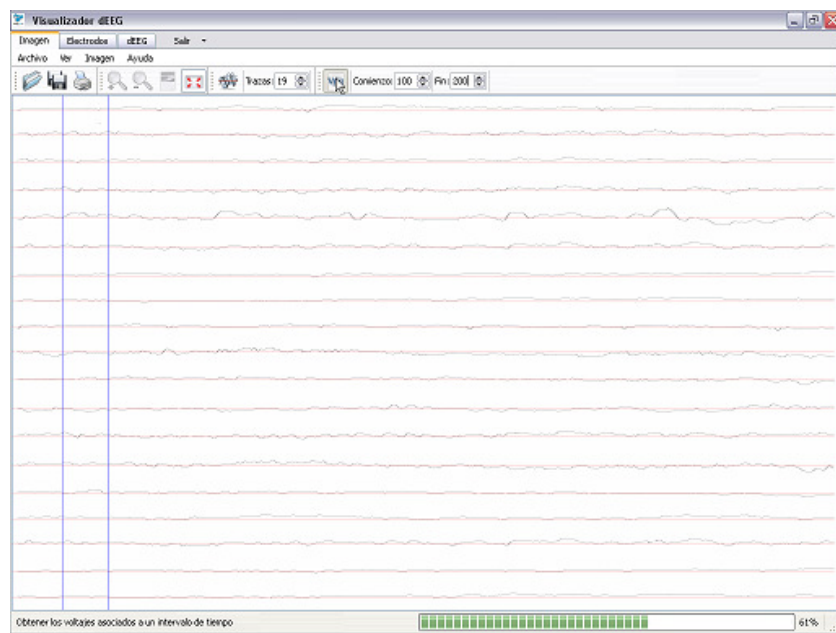


Figura 6. Apariencia del módulo de procesamiento de la imagen de EEG mostrando en el panel inferior un EEG digital reconstruido por el sistema a partir de un trazo sobre papel. El panel superior muestra los comandos de apertura, grabado, impresión de registros, zoom in y out, líneas de referencia, escala y periodo de tiempo a mapear.

Módulo de cartografía cerebral. El módulo de cartografía cerebral, como su nombre lo indica, es el módulo que permite generar los mantos de actividad eléctrica cerebral a partir del EEG ya procesado, y mostrarlos en forma de un mapa de colores sobre una superficie semi-esférica que representa la superficie craneal del paciente. En este caso, se mejoró notablemente la salida gráfica de la aplicación, mostrando el mapa cerebral sobre una representación gráfica tridimensional correspondiente a una vista cenital una cabeza humana fija. Sobre esta representación fija se debe indicar la configuración de electrodos utilizada en el proceso de captación y se activa el proceso de generación de los mapas cerebrales en

correspondencia con el intervalo establecido en el módulo anterior. Los mantos de actividad eléctrica cerebral son mostrados sobre una representación 3D de la misma cabeza, pero en este caso puede ser rotada libremente por el usuario con el objeto de ver el mapa de actividad eléctrica desde cualquier perspectiva. La actividad eléctrica cerebral será mostrada en forma de una película animada donde van variando los colores de acuerdo a la variación de los voltajes en el intervalo establecido por el usuario y en correspondencia con la escala existente. Esta película puede ser detenida en cualquier momento, puede ser repetida, puesta en reversa o adelantarse, a discreción del usuario. La figura 7 muestra la apariencia de la pantalla de configuración de electrodos y la figura 8 ilustra la interfaz gráfica de visualización de los mapas de actividad eléctrica cerebral.

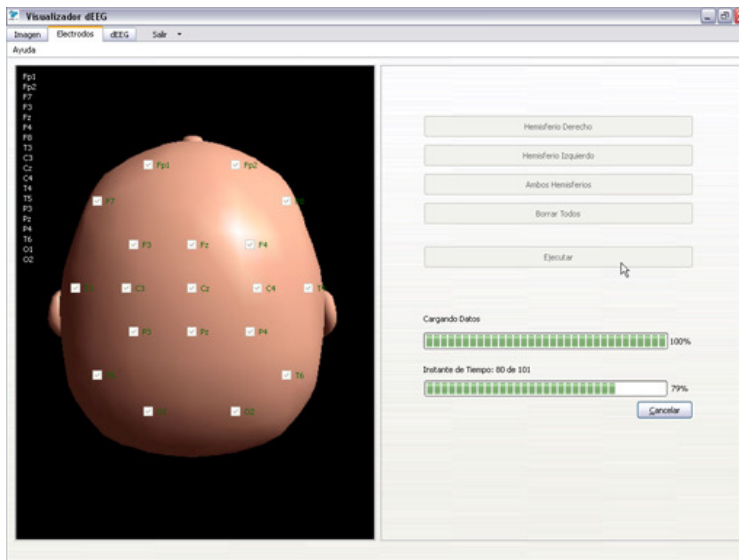


Figura 7. Apariencia del módulo de configuración de electrodos con la que se define el arreglo de electrodos con sólo seleccionar los utilizados.

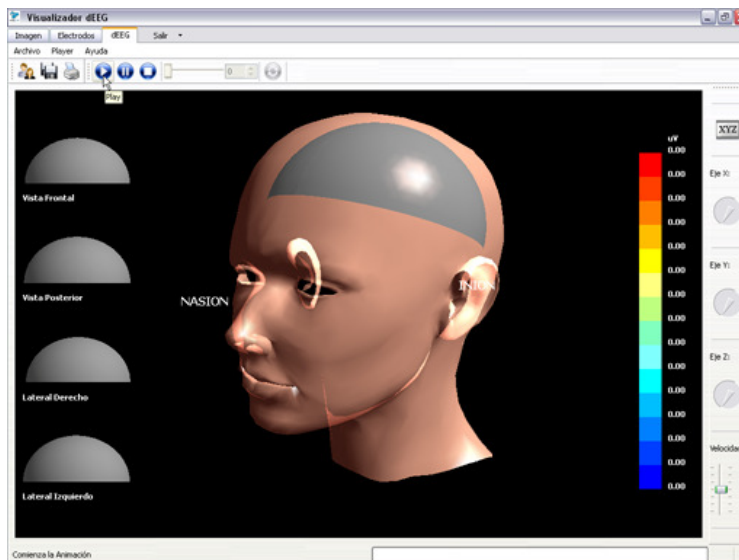


Figura 8. Apariencia del modulo de cartografía cerebral. El panel inferior presenta los mapas de actividad eléctrica cerebral con las 4 proyecciones ortogonales fijas (izquierda) y la proyección encefálica completa 3D (centro) desde cualquier perspectiva. Escala de voltaje (μV) de 14 tonos de pseudocolores. En el marco aparecen los controles de velocidad de presentación, perspectiva, grabación e impresión de imágenes.

RESULTADOS

A continuación se presenta un conjunto de resultados obtenidos con la aplicación desarrollada en este trabajo. Todos estos resultados fueron generados en una PC convencional con procesador Pentium 4 de 2.66Ghz. La tabla 1 muestra la comparación en tiempo de proceso para la generación de la película de mapas de EEG para periodos de 5, 10, 15 y 20 segundos respectivamente, a partir de registros monopolares de ocho electrodos. La columna *Previos* muestra los tiempos obtenidos con la versión anterior del algoritmo de generación mapas EEG propuesto previamente (13-15), mientras que la columna *Actual* muestra los tiempos obtenidos en este trabajo, en la que se optimiza el proceso de interpolación. Asimismo, la columna *Reducción* muestra el porcentaje de reducción del tiempo alcanzando entre 89,5 y 96,5% para los tiempos de generación de la película.

Tabla 1. Tiempo de generación de los mapas cerebrales en función del intervalo del EEG obtenidos con algoritmos previos (13-15), y la propuesta del presente estudio mediante interpolación por splines esféricos.

Periodo	Hemisferios	Previos	Actual	Reducción
5 seg.	Ambos	59 seg.	6,2 seg.	89,5 %
10 seg.	Ambos	116 seg.	8,3 seg.	92,8 %
15 seg.	Ambos	173 seg.	10,4 seg.	94,0 %
20 seg.	Ambos	338 seg.	11,7 seg.	96,5 %

La figura 9 ilustra el procesamiento de una imagen de EEG escaneada y su conversión en una traza de amplitudes comprensible por el módulo de cartografía cerebral. Como puede observarse, la traza generada queda libre de ruido y cada traza del EEG es representada como una curva continua de grosor unitario, consistente con la forma de la traza original en papel.

Por su parte, la imagen de la figura 10 muestra el hemisferio derecho y el hemisferio izquierdo para un mismo instante de tiempo, tal como es mostrado en la aplicación desarrollada. Asimismo, la secuencia de imágenes de la figura 11 muestra cuatro pictogramas de una película de cartografía cerebral generados a partir de un EEG en papel. Esta secuencia se presenta a manera de cine o animación en una sola pantalla y en cualquiera de las proyecciones requeridas por el usuario.

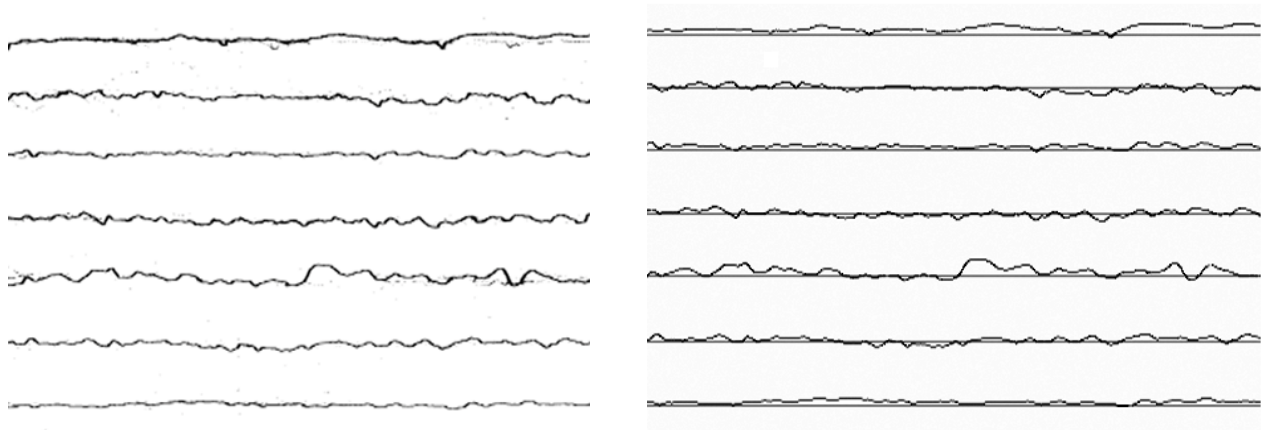


Figura 9. En la izquierda se muestra un trazado EEG original escaneado, en la derecha el mismo EEG procesado y reconstruido por el sistema propuesto.

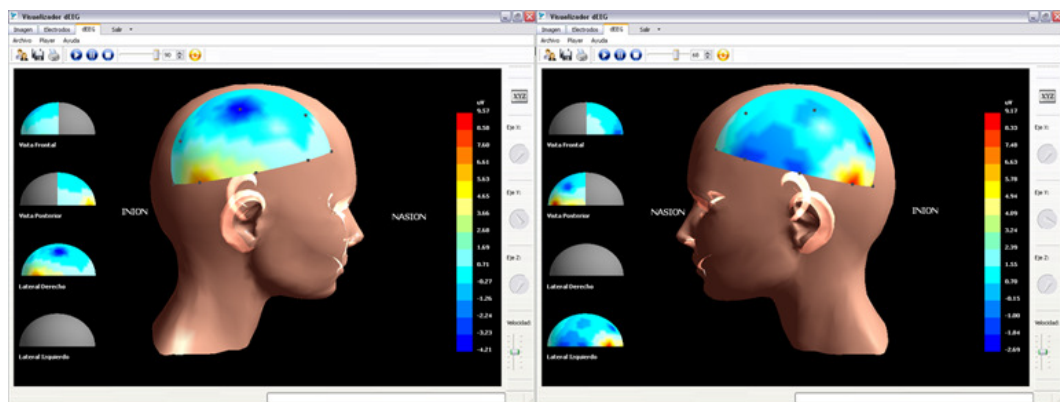


Figura 10. Mapas de actividad eléctrica cerebral de un paciente masculino de 17 años de edad, sin estimulación, mostrando un área de activación de alto voltaje parietal alto en el hemisferio derecho (mapa de la izquierda). El hemisferio izquierdo presenta una gran área de alto voltaje fronto-temporal con áreas más restringidas de alto voltaje en los lóbulos parietal y occipital.

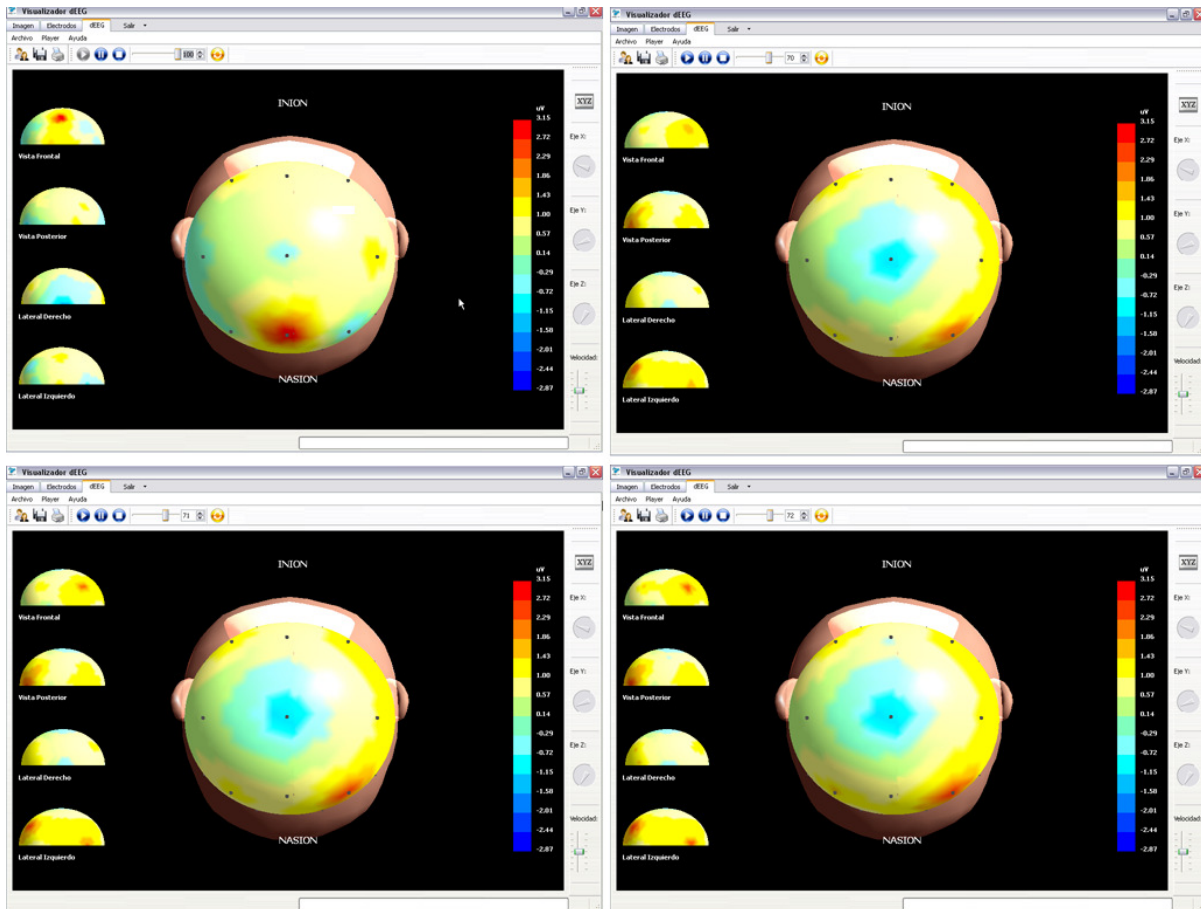


Figura 11. Secuencia de pictogramas de una película de cartografía eléctrica cerebral obtenidas a partir de un trazado de EEG sobre papel, escaneado, digitalizado, mapeado y visualizado deteniendo la secuencia en diferentes tiempos para obtener las imágenes que se muestran, con las proyecciones ortogonales fijas a la izquierda y la proyección cenital principal en el centro.

DISCUSIÓN

Se desarrolló una aplicación computacional que permite digitalizar trazas EEG en papel y generar mapas de actividad eléctrica cerebral en 3D usando interpolación basada en splines esféricos, la cual se ajusta mejor que un plano (13-15) a la topología de la cabeza humana. El algoritmo de extracción de valores de amplitud a partir de la imagen de la traza EEG demostró preservar con fidelidad la información presente por cada traza en la cinta de papel. Por otra parte, el proceso de interpolación fue mejorado disminuyendo significativamente (entre 89 y 96%) los tiempos de proceso sin sacrificar la exactitud del cálculo. Finalmente, con una interfaz gráfica con el usuario es posible representar la cartografía cerebral sobre una representación visual intuitiva que permite una interacción ágil en la aplicación y en la visualización, tanto en tiempo instantáneo como durante periodos de tiempo cinemático.

Este sistema representa una excelente opción para la aplicación clínica a un muy bajo costo, complementando así los sistemas de EEG convencionales (trazados de papel) aún en uso en la mayoría de los hospitales de atención pública en los países en vías de desarrollo. De igual manera, el sistema se presta para brindar un servicio especializado de mapeo de actividad eléctrica cerebral vía internet, el cual permitiría que trazados escaneados de EEG sean enviados a un portal de referencia, y que los mapas de EEG en línea puedan ser procesados y visualizados. Estas potenciales alternativas podrían ser de implementación relativamente fácil, aunque restringidas al uso de especialistas.

AGRADECIMIENTO. *Este trabajo fue parcialmente financiado por el CDCH-UC a través del proyecto 2005-12.*

BIBLIOGRAFIA

1. Niedermeyer E, da Silva FL. Electroencephalography. Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields. Editors: Niedermeyer, Ernst; da Silva, Fernando Lopes. 5th Edition, 2005 Lippincott Williams & Wilkins. p.5-6.
2. Corsak J. Clinical utility of topographic EEG brain mapping. Clin Electroencephalogr 1988; 19:134-43.
3. Flores-Río de la Loza L, Ramírez-Bermúdez J, Ramos-Peek J. Utilidad del análisis cuantitativo del electroencefalograma en el estudio de las demencias. Rev Neurol 2005; 41:22-6.
4. Duffy FH, Jones K, Bartels P, Albert M, McAnulty GB, Als H. Quantified neurophysiology with mapping: statistical inference, exploratory and confirmatory data analysis. Brain Topogr 1990; 3:3-12.
5. Casaglia DC, Pantaleo GG. Brain mapping: A contribution to linear interpolation. Brain Topography 1993; 5:283-8.
6. Harder R., Desmarais R. Interpolation using surfaces splines. J Aircraft, 1972; 9:189-191.
7. Perrin F, Pernier J, Bertrand O, Giard M, Echalié J. Mapping of scalp potentials by surface spline interpolation. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1987; 66:75-81.
8. Perrin F, Pernier J, Bertrand O, Echalié J. Spherical splines for scalp potentials and current density mapping. Electroencephalogr Clin Neurophysiology 1989; 72:184-7.
9. Wahba G. Splines interpolation and smoothing on the spheres. SIAM J Sci Stat Computing 1981; 2:5-16.
10. Ferree TC. Spherical Splines and Average Referencing in Scalp Electroencephalography. Brain Topography 2006; 19:43-52.
11. Souflet L, Toussaint M, Luthringer R, Gresser J, Minot R, Macher J. A statistical evaluation of the main interpolation methods applied to 3-dimensional EEG mapping. Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1991; 79:393-402.
12. Walerian P, Tarnecki R. PC based EEG mapping system. Acta Neurobiol Experimentalis 1995; 55:307-15.
13. González I, Eblen-Zajjur A. A computer system for 3D animated mapping of the brain electrical activity (EEG) by biharmonic splines interpolation. In: Métodos Numéricos en Ingeniería y Ciencias Aplicadas. UDO Press. 2000; p.B19-B115.
14. Escalona J, Díaz W, González I, Eblen-Zajjur A, Rodríguez J. Software para la generación de mapas de actividad eléctrica cerebral a partir de trazados EEG convencionales en papel. Trabajo Especial de Grado, Dpto. de Computación, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo, 2004.

15. González I, Eblen-Zajjur A. Tridimensional Animated Brain Mapping from Conventional Paper-Ink EEG Recordings. *Comp Biol Med* 2004; 34:591-600.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO

CONSEJO DE DESARROLLO CIENTÍFICO, HUMANÍSTICO Y TECNOLÓGICO (CDCH)
Valencia - Venezuela



El Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la Universidad de Carabobo (CDCH) es el organismo que se encarga de administrar el presupuesto destinado a la actividad de investigación en todos los campos de las ciencias exactas, aplicadas, sociales y tecnológicas.

Las modalidades de subvenciones se hacen bajo las siguientes áreas:

- Ayudas menores para la realización de Tesis, Trabajos de Pre y Postgrado.
- Proyectos individuales y grupales.
- Equipamientos institucionales.
- Organización de eventos institucionales e interinstitucionales.
- Asistencia a eventos nacionales e internacionales.
- Publicaciones de periódicos y libros.
- Publicaciones de artículos en revistas especializadas.
- Entrenamientos cortos a personal de investigación.

Dirección CDCH: Av. Bolívar Norte, C.C.P. Camarucó, piso 11. Valencia, Edo. Carabobo. Teléfonos: (0241) 823.9414 - 823.6736 - 821.9137