

# EEGmagic: programa para analizar señales electroencefalográficas

Miguel Ángel Guevara Pérez,\*  
Marisela Hernández González\*

\* Instituto de Neurociencias, Universidad de Guadalajara.

Correspondencia:  
Marisela Hernández González  
Instituto de Neurociencias, Universidad de Guadalajara.  
mariselh@cencar.udg.mx

Artículo recibido: 12/febrero/2009  
Artículo aceptado: 5/junio/2009

## RESUMEN

El análisis cuantitativo de la actividad electroencefalográfica (EEG) constituye una herramienta útil que permite relacionar cambios en la actividad eléctrica cerebral con funciones cognitivas y conductuales ante diversas condiciones experimentales. Su registro y análisis se realiza, en la actualidad, principalmente a través de programas computacionales. En este trabajo se presenta un programa computacional (EEGmagic) que fue elaborado en lenguaje Delphi para sistema operativo Windows, diseñado para analizar señales EEG y agilizar su exploración cuantitativa. Para ello, el programa aplica, a las señales EEG de uno o más grupos de sujetos, la Transformada Rápida de Fourier para obtener los espectros de potencias, tanto absolutas como relativas. También calcula los espectros de correlación, tanto interhemisférica como intrahemisférica. Finalmente, aplica análisis estadísticos paramétricos a esos espectros de potencia y correlación. Los análisis estadísticos se aplican para cada frecuencia individual y para frecuencias agrupadas en bandas. A diferencia de otros programas, EEGmagic además de ser sencillo y barato, obtiene de forma rápida y precisa los archivos de resultados con las significancias estadísticas correspondientes, por lo cual EEGmagic puede constituir una herramienta importante en el estudio de la funcionalidad cerebral y del comportamiento.

**Palabras clave:** EEG, correlación interhemisférica, correlación intrahemisférica, señales bioeléctricas, potencia relativa, potencia absoluta.

## ABSTRACT

The quantitative analysis of electroencephalographic activity (EEG) constitutes a useful tool that makes it possible to relate changes in cerebral electrical activity to cognitive and behavioral functions under a variety of experimental conditions. Their recording and analysis are currently carried out primarily through the use of computer programs. This study presents a computerized program (EEGmagic) that was elaborated for the Windows operating system using the Delphi language, and that is designed to analyze EEG signals and facilitate their quantitative exploration. To do so, the program applies Rapid Fourier Transform to the EEG signals of one or more groups of subjects in order to obtain both absolute and relative potentials spectra. It also calculates the correlation spectra, both interhemispheric and intrahemispheric, and, finally, applies parametric statistical analyses to these potential and correlation spectra. Statistical analyses are ap-

plied to each individual frequency and to frequencies grouped in bands. Unlike other programs, EEGmagic is simple and inexpensive. It obtains the results files with the corresponding statistical significances rapidly and with precision; thus, EEGmagic may constitute an important tool for the study of cerebral functionality and behavior.

**Key Words:** Interhemispheric correlation, intrahemispheric correlation, bioelectric signal, relative power, absolute power.

## INTRODUCCIÓN

El registro electroencefalográfico (EEG) es una herramienta que permite estudiar la relación entre la conducta y el sistema nervioso sin intervención invasiva<sup>1</sup>. La actividad electroencefalográfica es generada por la actividad conjunta de neuronas corticales influenciadas por la interrelación de la actividad entre regiones corticales y subcorticales. El EEG se puede definir como las oscilaciones de voltaje originadas por las corrientes iónicas intra y extraneuronales en una gran población de células, dispuestas en forma radial a la superficie, que se activan sincrónicamente.

El registro y análisis cuantitativo de la actividad electroencefalográfica ha sido usado durante muchos años como una de las más sensibles herramientas que permiten examinar cambios en la actividad eléctrica cerebral asociados a diferentes estados fisiológicos, manipulaciones hormonales y farmacológicas o ante la resolución de diferentes tipos de tareas. La importancia del electroencefalograma radica, principalmente, en su alta resolución temporal, que permite obtener registros desde milisegundos hasta horas o días.

El EEG ha sido analizado con dos tipos de técnicas: las basadas en el dominio de la frecuencia, como la Transformada Rápida de Fourier (TRF) y las basadas en el dominio del tiempo, como la correlación.

Para poder trabajar con medidas cuantitativas es necesario utilizar métodos de análisis que utilicen series de tiempo (para lo cual es necesario trabajar con señales digitalizadas). El análisis espectral de potencias es un método muy poderoso de cuantificación de series de tiempo. Todos los análisis espectrales descomponen una forma de onda compleja en una suma lineal de componentes de ondas más elementales. En el análisis de Fourier, las ondas elementales son ondas seno y coseno, las cuales permiten ejecutar el análisis lineal de una manera eficiente mediante simples cambios del dominio del tiempo al dominio de las frecuencias<sup>2</sup>.

Por lo tanto, en el dominio de las frecuencias la TRF permite separar una señal EEG en los componentes de frecuencia que la constituyen y calcular la amplitud de cada uno de ellos para, posteriormente, agruparlos en bandas de frecuencias particulares. Estas amplitudes (por frecuencias individuales o agrupadas en bandas) constituyen el espectro de amplitudes de la señal en estudio. El espectro de potencias absolutas de una señal es el espectro de amplitudes elevado al cuadrado (la amplitud en cada frecuencia se eleva al cuadrado). La suma de todos los valores de potencia absoluta, que forman el espectro, se llama potencia absoluta total; la cual gráficamente se puede considerar como el área comprendida entre la curva del espectro y el eje de las abscisas. El espectro de potencias relativas se obtiene a partir del de potencias absolutas, calculando el porcentaje de la potencia absoluta en cada frecuencia respecto a la potencia absoluta total.

En el dominio del tiempo, el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson, que es uno de los índices matemáticos con mayor potencia estadística, permite encontrar posibles relaciones entre las variables de interés en el estudio, al determinar el grado de semejanza entre dos señales electroencefalográficas y ha sido utilizado para establecer una posible relación funcional entre diferentes regiones del cerebro. Para su cálculo se considera tanto la relación de fase como la polaridad entre las dos señales que se están analizando, no toma en cuenta la amplitud o voltaje de la señal y permite determinar el grado de semejanza entre dos señales eléctricas durante un periodo de tiempo<sup>3-6</sup>. Una correlación de 1 indica la máxima correlación positiva, de 0 la mínima y -1 la máxima negativa.

Recientemente, el estudio sobre la actividad eléctrica cerebral y su función se ha basado, por un lado, en el uso de programas computacionales para análisis de señales y por otro, de paquetes estadísticos para el análisis cuantitativo de ésta, de manera que el investigador tiene que invertir mucho tiempo en un análisis completo e interpreta-

ción de los resultados. En este artículo se presenta un programa: EEGmagic, diseñado para analizar señales EEG. Dicho programa es una versión ampliada del programa POTENCOR<sup>7,8</sup>, el cual, además de realizar el análisis de la señal, agiliza la exploración con pruebas estadísticas paramétricas de los datos obtenidos a partir del análisis cuantitativo EEG y por tanto, reduce el tiempo invertido en el análisis estadístico por parte del investigador. Así, el objetivo principal de este artículo es describir el manejo y las características de EEGmagic, así como las ventajas y desventajas que derivan de su uso.

### CARACTERÍSTICAS DE EEGMAGIC

#### Funciones principales

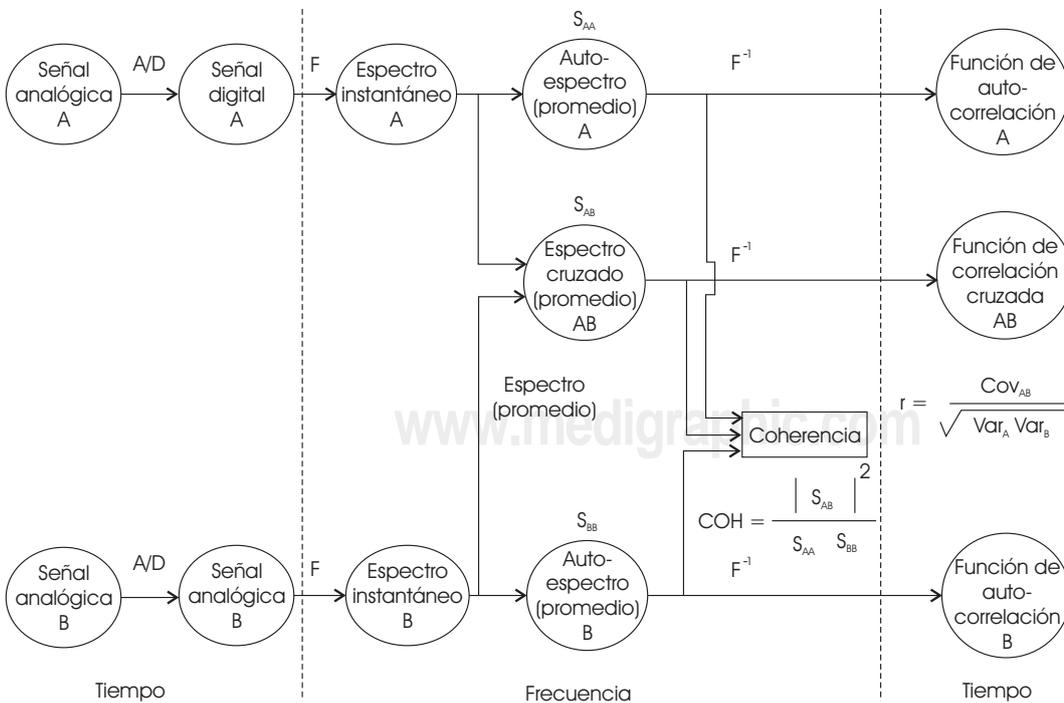
EEGmagic es un programa de computadora diseñado para analizar señales EEG. El programa aplica a dichas señales la Transformada Rápida de Fourier con el fin de obtener los valores de potencia absoluta (PA) y potencia relativa (PR) de cada frecuencia individual, así como de frecuencias agrupadas en bandas anchas. Se calculan los espectros de correlación (producto-momento de Pearson) para determinar cuantitativamente la semejanza entre las señales EEG de áreas homólogas de los hemisferios (correlación interhemisférica) y entre áreas localizadas dentro de un mismo hemisferio (intrahemisférica). Todos los cálculos anteriores se llevan a

cabo también con datos normalizados, esto es, los valores de PA y PR son transformados a logaritmos naturales y los valores puntuales de correlación a valores Z de Fisher<sup>9</sup>. EEGmagic, termina aplicando estadística paramétrica a los valores obtenidos de los análisis espectrales anteriores. Para aplicar dichos análisis paramétricos es necesario tener claramente definido a qué diseño estadístico se ajustan los datos EEG registrados.

### MÉTODO

#### Características del Hardware y Software requerido

EEGmagic funciona en cualquier computadora compatible con PC que tenga un procesador Pentium o superior con apenas 128 Mb de memoria RAM (pero se sugiere tener la máxima posible); el espacio que requiere en disco duro es el necesario para guardar las señales a ser analizadas, pues su salida son archivos en formato texto que ocupan muy poco espacio. Se ha elaborado bajo ambiente Delphi para sistema operativo Windows. Básicamente es un programa que en su módulo principal contiene casi íntegro a POTENCOR, de hecho se obtienen los mismos archivos de resultados, pero adicionalmente se obtienen otros que contienen los resultados de las pruebas estadísticas paramétricas aplicadas.



**Figura 1.** Diagrama que indica los pasos a seguir para obtener los valores de las variables de las variables a analizar por EEGmagic.

**Fórmulas para calcular los parámetros**

Cada uno de los parámetros que se analizan con EEGmagic son calculados siguiendo los pasos indicados en la Figura 1.

Los espectros instantáneos, de las señales digitalizadas, se obtienen al calcular las partes real e imaginaria de la transformada discreta directa de Fourier<sup>10</sup> (fórmulas 1, 2 y 3).

$$\text{Espectro instantáneo} = (\text{Fre})^2 + (\text{Fim})^2 \quad (1)$$

$$\text{Fre}(x) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \cos \left( \frac{2\pi nx}{N} \right) \quad (2)$$

$$\text{Fim}(x) = - \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \text{sen} \left( \frac{2\pi nx}{N} \right) \quad (3)$$

Donde:

Fre(x), Fim(x): x = 0, 1, 2, ..., N-1 (las N frecuencias en que se descomponen las señales)

f(n): n = 0, 1, 2, ..., N-1 (las N muestras que componen a las señales en el tiempo)

Las fórmulas 4 a 13 son para calcular los autoespectros (promedio) y el espectro cruzado (promedio) de las señales A y B digitalizadas:

Autoespectro de la señal A:

$$S_{AA} = \lim_{nd \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{nd} \right) \sum_{i=1}^{nd} A_i^*(x) A_i(x) \quad (4)$$

$$S_{AA} = \lim_{nd \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{nd} \right) \sum_{i=1}^{nd} \{[\text{FreA}(x) - \text{FimA}(x)][\text{FreA}(x) + \text{FimA}(x)]\} \quad (5)$$

$$S_{AA} = \lim_{nd \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{nd} \right) \sum_{i=1}^{nd} \{[\text{FreA}(x)]^2 + [\text{FimA}(x)]^2\} \quad (6)$$

Autoespectro de la señal B:

$$S_{BB} = \lim_{nd \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{nd} \right) \sum_{i=1}^{nd} B_i^*(x) B_i(x) \quad (7)$$

$$[\lim_{nd \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{nd} \right) \sum_{i=1}^{nd} \{(\text{FreA}(x) \text{FreB}(x) + \text{FimA}(x) \text{FimB}(x))\}]^2 + [\lim_{nd \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{nd} \right) \sum_{i=1}^{nd} \{\text{FreA}(x) \text{FimB}(x) - \text{FimA}(x) \text{FreB}(x)\}]^2$$

$$\text{coh}(x) = \frac{\dots}{[\lim_{nd \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{nd} \right) \sum_{i=1}^{nd} \{(\text{FreA}(x))^2 + (\text{FimA}(x))^2\}] [\lim_{nd \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{nd} \right) \sum_{i=1}^{nd} \{(\text{FreB}(x))^2 + (\text{FimB}(x))^2\}]} \quad (16)$$

$$S_{BB} = \lim_{nd \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{nd} \right) \sum_{i=1}^{nd} \{[\text{FreB}(x) - \text{FimB}(x)][\text{FreB}(x) + \text{FimB}(x)]\} \quad (8)$$

$$S_{BB} = \lim_{nd \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{nd} \right) \sum_{i=1}^{nd} \{[\text{FreB}(x)]^2 + [\text{FimB}(x)]^2\} \quad (9)$$

Espectro cruzado entre las señales A y B:

$$S_{AB} = \lim_{nd \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{nd} \right) \sum_{i=1}^{nd} A_i^*(x) B_i(x) \quad (10)$$

$$S_{AB} = \lim_{nd \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{nd} \right) \sum_{i=1}^{nd} \{[\text{FreA}(x) - \text{FimA}(x)][\text{FreB}(x) + \text{FimB}(x)]\} \quad (11)$$

$$S_{ABre} = \lim_{nd \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{nd} \right) \sum_{i=1}^{nd} \{[\text{FreA}(x) \text{FreB}(x)] + [\text{FimA}(x) \text{FimB}(x)]\} \quad (12)$$

$$S_{ABim} = \lim_{nd \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{nd} \right) \sum_{i=1}^{nd} \{[\text{FreA}(x) \text{FimB}(x)] - [\text{FimA}(x) \text{FreB}(x)]\} \quad (13)$$

Donde :

nd = número de segmentos

A<sub>i</sub>(x), B<sub>i</sub>(x) = espectros instantáneos de las señales A y B en la frecuencia X

A<sub>i</sub><sup>\*</sup>(x), B<sub>i</sub><sup>\*</sup>(x) = conjugados de los espectros instantáneos de las señales A y B en la frecuencia X (el conjugado de un número complejo se obtiene al invertir el signo de la parte imaginaria)

A partir de los autoespectros y del espectro cruzado, de las señales A y B, se pueden obtener los valores del espectro de coherencia<sup>11</sup> (fórmulas 14-16):

$$\text{coh}(x) = \frac{|S_{AB}(x)|^2}{S_{AA}(x) S_{BB}(x)} \quad (14)$$

donde: X = 0, 1, 2, ..., N-1 (las N frecuencias en que se descomponen las señales A y B)

$$|S_{AB}(x)|^2 = (S_{ABre})^2 + (S_{ABim})^2 \quad (15)$$

Sustituyendo en la fórmula 14 las fórmulas 6, 9, 12 y 13:

La correlación puntual entre dos señales, A y B por ejemplo, puede ser calculada empleando la fórmula 17. Sin embargo, con los autoespectros y el espectro cruzado, de las señales A y B, y de acuerdo a lo reportado por Guevara y cols.<sup>4,8</sup> se puede aplicar la fórmula 18 para obtener el espectro de correlaciones:

$$r = \frac{Cov_{AB}}{\sqrt{Var_{AA} Var_{BB}}} \quad (17)$$

$$r(x) = \frac{S_{ABc}(x)}{\sqrt{facA(x)facB(x)}} \quad (18)$$

donde:  $X = 0, 1, 2, \dots, N-1$  (las N frecuencias en que se descomponen las señales A y B)

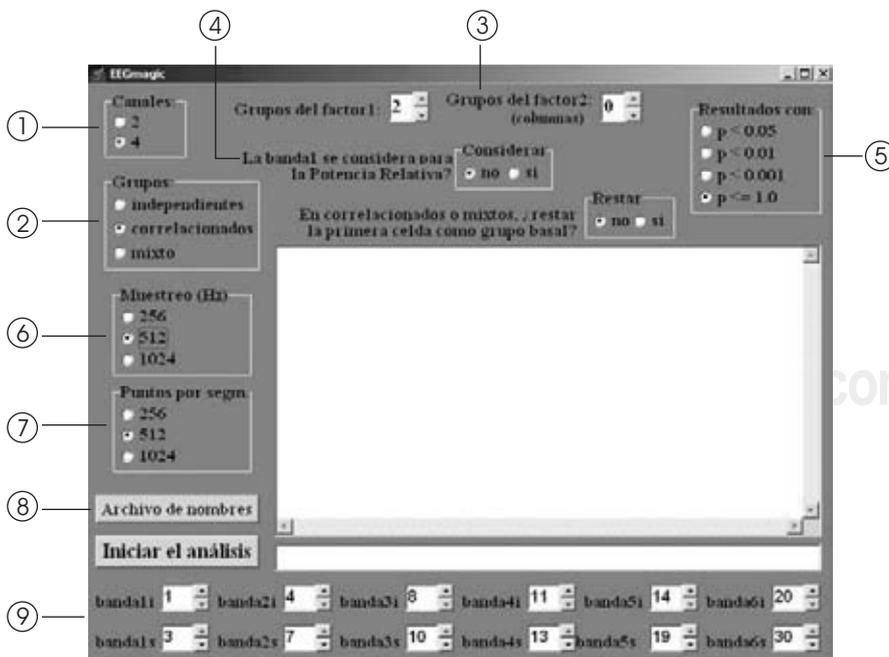
### Ejecución del programa

Para poder ejecutar EEGmagic, se requieren señales analógicas (continuas en la amplitud y en el tiempo) que hayan sido digitalizadas (discretizadas en la amplitud y en el tiempo). Para ello se toman «N» puntos (muestras), igualmente espaciados en el tiempo, por cada segmento de señal; tomándose varios de estos segmentos que representen a la condición de interés. Si las señales no han sido capturadas con CAPTUSEN o alguna de sus variantes<sup>8</sup>, entonces se deberán preparar para ajustarse

a las características de los archivos de salida de ese programa. Las señales que se proporcionen al programa ya deben haber sido previamente revisadas con el fin de eliminar posibles artefactos y ruido coherente (ruido con componentes de frecuencias en el rango de las señales de interés).

Aunque el programa se ejecuta bajo ambiente Windows, se requiere asignar a los archivos de las señales, un nombre de 8 dígitos, por ejemplo el nombre 21HABAF3.RE2 indica: dos dígitos para el nombre del sujeto (sujeto 21), cuatro dígitos para la condición (HABA) y dos dígitos para la derivación (F3). Además deben tener 3 dígitos indicando el tipo de archivo (es convencional y para efectos del programa puede ser cualquiera; RE2 en este ejemplo).

La Figura 2 muestra la pantalla de inicio de EEGmagic. A diferencia de POTENCOR, solamente se requiere un archivo de nombres (de archivos de datos); la principal diferencia se encuentra en que es necesario trabajar con al menos 2 grupos de sujetos (grupos independientes) o bien un grupo de sujetos en al menos 2 condiciones (grupos correlacionados). Cada grupo independiente, o cada repetición de un mismo grupo, ocupa un lugar en el diseño estadístico que se denomina «celda»; en todo caso deben existir al menos 2 celdas. El número máximo de celdas que ocupen las condiciones (o los grupos, según sea el caso) es de 20. Se debe indicar si se ha de trabajar con 2 o con 4 canales (es decir, si se analizarán 2 ó 4 derivaciones



**Figura 2.** En la pantalla inicial se selecciona: el número de canales a analizar (1); si se trata de un diseño de grupos independientes, de grupos correlacionados o si es un diseño mixto (2); los niveles de los factores del diseño (3); considerar o no a la potencia relativa de la primera banda en el análisis estadístico (4); el nivel de significancia con que deben presentarse las pruebas estadísticas t de Student (5); la frecuencia de muestreo utilizada y los puntos por segmento de señal (6 y 7); el nombre del archivo de texto que contiene los nombres de los archivos con las señales a analizar (8); en la selección de las bandas de análisis de interés, i significa el valor inferior o mínimo de cada banda seleccionada y s indica el valor superior de la banda (9).

por sujeto), y si el muestreo ha sido realizado a 256, 512, ó 1024 Hz (únicas frecuencias de muestreo permitidas en el programa). Los puntos por segmento con que se puede trabajar son 256, 512 ó 1024 (únicos tamaños de segmentos permitidos por el programa), siempre respetando que se tenga al menos un segundo de señal por segmento (por ejemplo, si la frecuencia de muestreo es de 512Hz, entonces 512 puntos capturados son un segundo de señal). Por omisión el programa determina los límites de las bandas del EEG en: banda 1, de 1 a 3 Hz; banda 2, de 4 a 7 Hz; banda 3, de 8 a 10 Hz; banda 4, de 11 a 13 Hz; banda 5, de 14 a 19 Hz; banda 6, de 20 a 30 Hz. Sin embargo, en la pantalla de inicio se pueden definir las modificaciones a estas bandas de análisis. Se debe indicar si se desea que la banda 1 no sea considerada en los cálculos de la potencia relativa (pero siempre se considera para la potencia absoluta y para la correlación). Si se trabaja con diseños correlacionados o mixtos, se puede elegir restar la primera celda como línea basal.

En la pantalla inicial se debe elegir si se trata de un diseño de grupos independientes, de grupos correlacionados o si se trata de un diseño mixto, también conocido como de parcelas divididas<sup>12</sup>. Se debe indicar si existen uno o dos factores (tratamientos) en el diseño, además de los niveles de cada uno de ellos, pero siempre respetando la restricción de tener como máximo 20 celdas (grupos y/o condiciones en total) y se deben tener igual número de sujetos en todos los grupos (o condiciones). El máximo de sujetos por grupo es 25. En el diseño mixto siempre habrá 2 factores, el primero de ellos son los grupos independientes (las parcelas) y el segundo factor son las medidas repetidas que se hacen a cada grupo. En general, en todos los diseños factoriales, solamente puede haber 2 factores, con un máximo de 10 niveles cada uno. Si se tienen 2 grupos (ó 2 condiciones del mismo grupo) a los resultados (los mismos que se obtienen con POTENCOR) se les aplican pruebas t de Student (para grupos independientes o para grupos correlacionados, según sea el caso). Sin embargo si los grupos (o condiciones) son más de 2, entonces se les aplica automáticamente análisis de varianza y se hacen las pruebas a posteriori correspondientes (pruebas de Tukey y Duncan).

Finalmente, se debe indicar si se desea que aparezcan los resultados de todas las pruebas t de Student (se elige  $p \leq 1$ ) o si se han de restringir a que alcancen un nivel de significancia preestablecido (se puede elegir entre  $p < 0.5$ ,  $p < 0.01$  ó  $p <$

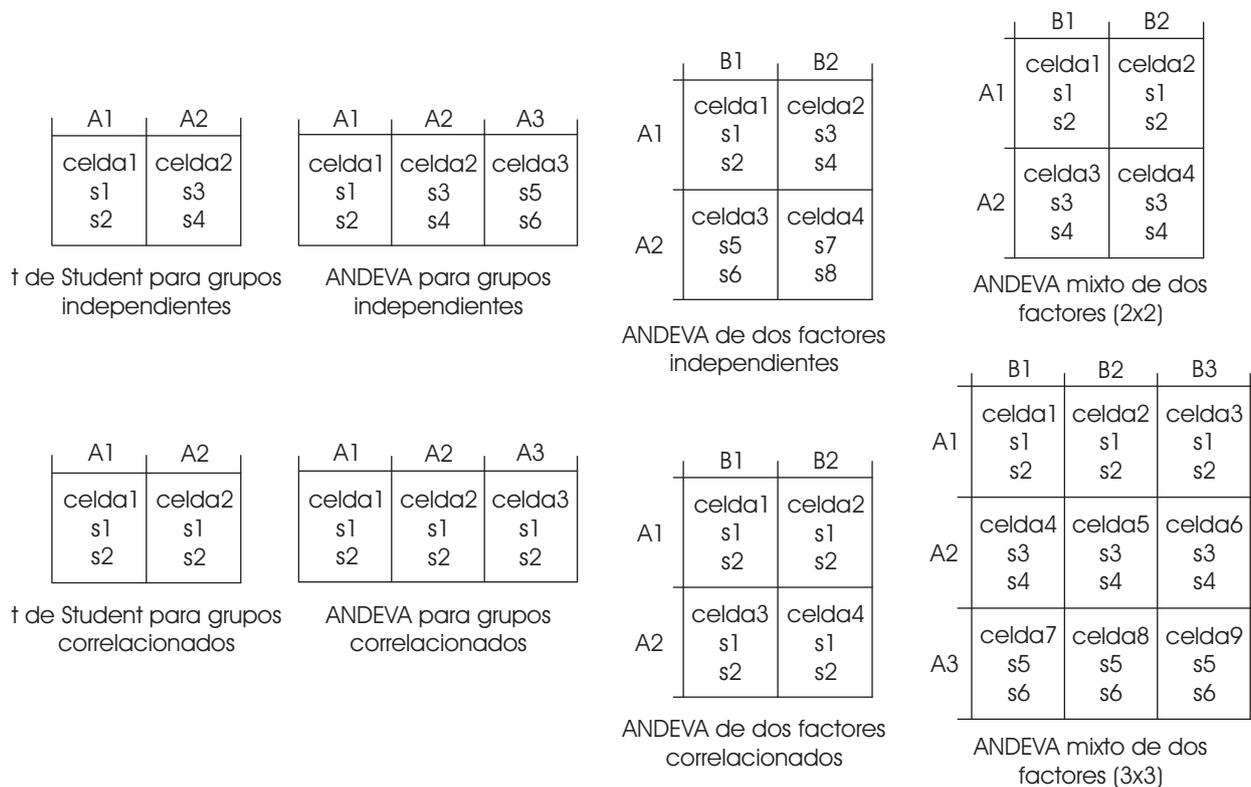
0.001) y se elige el nombre del archivo de nombres, es decir, el nombre del archivo de texto que contiene los nombres de los archivos con las señales a analizar.

Antes de hacer el archivo de nombres para EEG-magic se debe saber claramente a qué diseño estadístico se adaptan los datos que se le van a proporcionar. En la Figura 3 se detallan gráficamente los diferentes diseños en que pueden analizarse los datos. Es importante aclarar que en todos los diseños es indispensable, para este programa, que el número de sujetos en cada celda sea el mismo (no se permiten «enes» desiguales). Como puede verse, las celdas son numeradas en orden secuencial de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. En los archivos de nombres se deben incorporar los datos siguiendo el orden de las celdas.

En la Figura 4 se muestra un ejemplo de cómo deben enlistarse los nombres de los archivos de datos de señales en el archivo de nombres (EEGMAGIC.DIR en el ejemplo). El archivo completo se usará para ejemplificar la ejecución del programa. Éste contiene 2 grupos con 12 sujetos cada uno y a su vez, cada grupo tiene 2 condiciones (HABA y HAHA). Cada sujeto fue registrado en 4 zonas cerebrales (derivaciones F3, F4, P3 y P4). Cabe aclarar que en la figura solamente se muestran 2 sujetos de cada grupo, en las 2 condiciones con sus 4 derivaciones. En el ejemplo todos los archivos tienen la terminación RE2, pero puede ser cualquier otra (el archivo debe ser creado en un editor de texto o en Block de notas de Windows, no debe hacerse en un procesador de palabras).

Los archivos de nombres están acomodados de tal manera que primero están todos los sujetos de la primera celda, cada sujeto con todas sus derivaciones (primero el canal izquierdo y luego el derecho) y por bloques de sujetos (en el mismo orden) se repiten todas las celdas del diseño en el archivo de nombres. De esa manera se presentan los datos de un diseño mixto de 2 factores (2 x 2); cabe aclarar que para aplicar EEGmagic no puede haber archivos faltantes, se debe contar con todos los archivos de todos los sujetos (y todos deben aparecer en el archivo de nombres).

La Figura 5 ilustra los parámetros con que se correrá el ejemplo que aquí se presenta (con el archivo de nombres EEGMAGIC.DIR). Se han elegido los valores por omisión, para los rangos de las bandas anchas de frecuencias. Para cada banda se debe proporcionar un valor de frecuencia (en Hertz) inicial y un valor de frecuencia final (por ejem-



**Figura 3.** Representación esquemática de los diferentes diseños estadísticos que se pueden trabajar en EEGmagic. En todos ellos debe haber igual número de sujetos en todas las celdas. A: indica el factor o tratamiento 1, B: indica el factor o tratamiento 2.

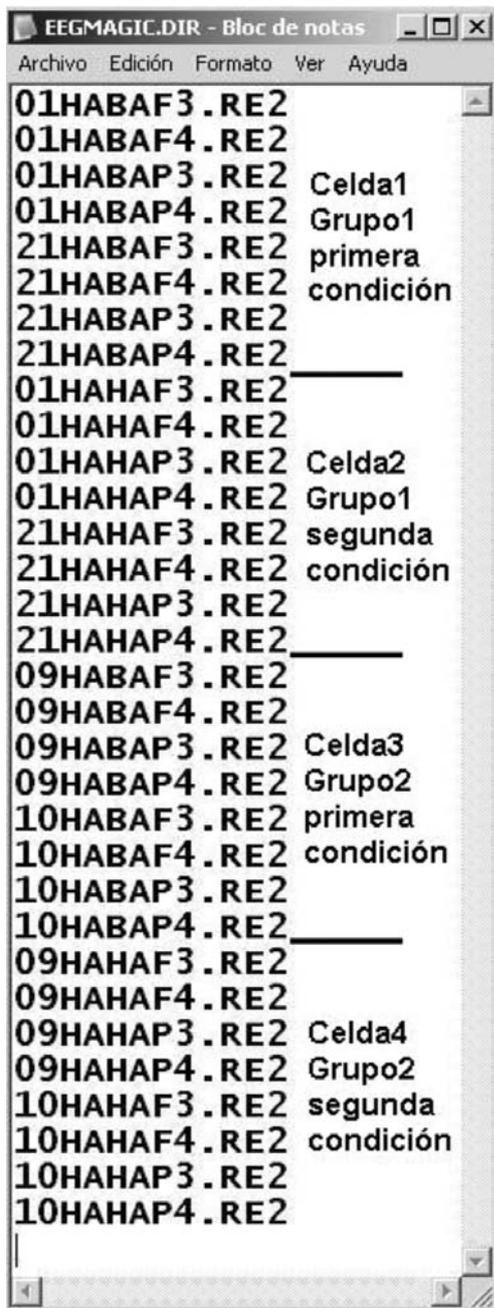
plo, para la primera banda:  $banda1i = 1\text{Hz}$  y  $banda1s = 3\text{Hz}$ ).

Al oprimir el botón «Iniciar el análisis» el programa inicia los cálculos y se obtienen los siguientes archivos de resultados (todos ellos son de texto):

Son 20 archivos de salida (ver cuadro 1), todos tendrán el nombre del archivo de nombres con la terminación (últimos 3 caracteres) cambiada. Los primeros 12 archivos son parte del conjunto de archivos que se obtienen con POTENCOR<sup>8</sup>, los 8 últimos (del 13 al 20) son únicos de EEGmagic. El archivo ABF contiene el espectro de amplitudes por frecuencia (de 1 a 30 Hz), en ALF se encuentran los valores de este espectro, normalizados (convertidos a logaritmos naturales). En REF están los valores del espectro de potencias relativas (de 1 a 30 Hz) y en RLF sus valores transformados a logaritmos. El archivo ERF tiene los valores del espectro (1 a 30 Hz) de correlaciones interhemisféricas (entre canales izquierdos y derechos) y EZF sus valores transformados a Z de Fisher. En ARF están los valores del espectro (1 a 30 Hz) de correlaciones intra-hemisféricas (entre zonas anteriores y posteriores

del mismo hemisferio) y en AZF sus valores transformados a Z de Fisher. ABS tiene los valores del espectro de amplitudes agrupado en las 6 bandas seleccionadas, tanto en valores transformados como sin transformar. REL contiene el espectro de potencias relativas, en valores transformados y sin transformar, agrupadas en las 6 bandas seleccionadas. TER contiene el espectro de correlaciones interhemisféricas agrupado en las 6 bandas, tanto transformado como sin transformar. En TRA está el espectro de correlaciones intrahemisféricas, agrupado en las 6 bandas seleccionadas, tanto en valores transformados como sin transformar.

El archivo RES contiene los resultados de todos los espectros calculados, tanto por frecuencia como por banda, sin transformar; en tanto que RET contiene los valores transformados. Si se está trabajando con un diseño que involucra 4 canales (4 zonas cerebrales registradas) se obtendrán 432 variables (columnas) en los archivos RES y RET, en el Cuadro 2 se describe la posición de dichas variables. Si sólo se trabaja con 2 canales (2 zonas cerebrales) entonces el archivo contiene 180



**Figura 4.** Archivo de nombres con 4 celdas, que corresponde a un diseño mixto de 2 factores (2x2). Cada celda contiene solamente 2 sujetos, cada uno registrado en 4 derivaciones. Las líneas y comentarios a la derecha de los nombres de los archivos se han agregado solamente para ejemplificar el orden de las celdas. En el ejemplo, los sujetos 01 y 21 pertenecen al primer grupo, los sujetos 09 y 10 al segundo grupo. Cada grupo se registró en 2 condiciones, HABA y HABA; y se registró a cada sujeto en 4 zonas, F3, F4, P3 y P4. La extensión de los archivos es RE2 (puede ser cualquier otra). Al final del último nombre de archivo no debe haber renglones en blanco (el cursor aparece abajo del último nombre y no puede bajar más en el archivo).

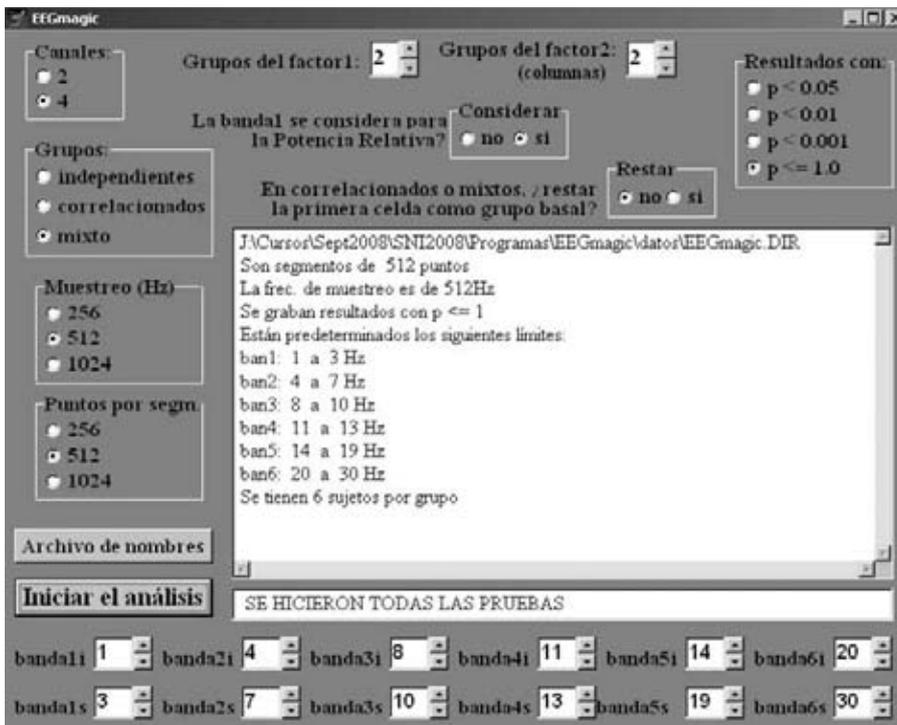
columnas (correspondiendo a las primeras 180 del Cuadro 2).

En la Figura 6 se muestran partes de los archivos de resultados RES y RET. Puede verse que los renglones quedan agrupados en las diferentes celdas que forman el diseño estadístico. A cada columna de estos archivos de resultados se le aplicará la prueba estadística adecuada, de comparación de grupos (o de condiciones), y con los resultados se obtendrán los restantes archivos de salida.

En la Figura 7 se presentan los resultados de aplicar el análisis de varianza de parcelas divididas a cada una de las variables (columnas) en los archivos de resultados RES y RET. Se han indicado con un asterisco las pruebas que resultaron significativas ( $p < 0.05$ ). Debido a que en la pantalla inicial se indicó trabajar con  $p < 1.0$  aparecen todos los resultados de las pruebas no importando la significancia obtenida.

Si el diseño estadístico consta de solamente 2 celdas, se deberá aplicar en EEGmagic, la prueba t de Student, ya sea para grupos independientes o correlacionados. La Figura 8 muestra parte de los archivos de resultados, TES (para datos sin transformar) y TET (para datos transformados), obtenidos al aplicar la prueba t de Student a celdas que contienen grupos independientes.

Si se tienen más de 2 celdas se aplicará análisis de varianza. Si solamente se tiene un factor (una variable independiente o tratamiento) el análisis de varianza será un diseño de un factor para grupos independientes o para grupos correlacionados. En caso de existir más de un factor (más de una variable independiente o tratamientos) el análisis de varianza será un diseño factorial. EEGmagic solamente puede trabajar diseños factoriales con 2 factores, en 3 modalidades: grupos independientes, grupos correlacionados y diseños mixtos (de parcelas divididas). En todos los casos debe trabajarse con igual número de sujetos por celda, es decir, no se permite tener diferente número de sujetos por celda. En todos los casos en que se aplique el análisis de varianza, además de los archivos de resultados AVA (datos sin transformar) y AVT (datos transformados) se obtendrán los archivos TES y TET (los mismos que aparecen al tener diseños de 2 celdas); en diseños mixtos se realizan pruebas t para grupos independientes y pruebas t para grupos correlacionados (según corresponda); estos archivos pueden ser bastante grandes, dependiendo del diseño elegido y del número de celdas.



**Figura 5.** Se ha indicado que existen 4 canales, que son señales en segmentos de 512 puntos, muestreadas a 512 Hz; se ha elegido agrupar las 6 bandas en los límites preestablecidos, la banda1 sí se considerará para los cálculos de la potencia relativa y no se restará la primera celda. Se trata de un diseño mixto de 2x2 (hay 4 celdas) y para presentar los resultados se ha elegido un nivel de significancia de 1.0 (por lo que aparecerán todos los resultados). El archivo de nombres es EEGmagic.DIR.

**Cuadro 1.** Nombres de los archivos de salida de EEGmagic. En la columna central se encuentran los nombres de los archivos de datos sin transformar y en la columna de la extrema derecha los nombres de los archivos equivalentes con datos transformados (las potencias a logaritmos y las correlaciones a Z de Fisher).

1, 2	EEGmagic.ABF	EEGmagic.ALF
3, 4	EEGmagic.REF	EEGmagic.RLF
5, 6	EEGmagic.ERF	EEGmagic.EZF
7, 8	EEGmagic.ARF	EEGmagic.AZF
9	EEGmagic.ABS	
10	EEGmagic.REL	
11	EEGmagic.TER	
12	EEGmagic.TRA	
13, 14	EEGmagic.RES	EEGmagic.RET
15, 16	EEGmagic.AVA	EEGmagic.AVT
17, 18	EEGmagic.TES	EEGmagic.TET
19, 20	EEGmagic.TUK	EEGmagic.TUT

Si se ha aplicado análisis de varianza, EEGmagic reportará los archivos TUK (para datos sin transformar) y TUT (para datos transformados). Éstos contienen las comparaciones entre celdas, utilizando las pruebas de Duncan y Tukey, con el fin de determinar las diferencias significativas entre grupos (o entre condiciones) (Figura 9).

Es importante mencionar que a pesar de que el programa realiza la estadística para datos transfor-

mados y sin transformar, al momento de la interpretación de los datos, se deben considerar las significancias de los archivos transformados. Los datos generados de los no transformados son una ayuda para ver el comportamiento de los datos y posiblemente graficar a partir de ellos.

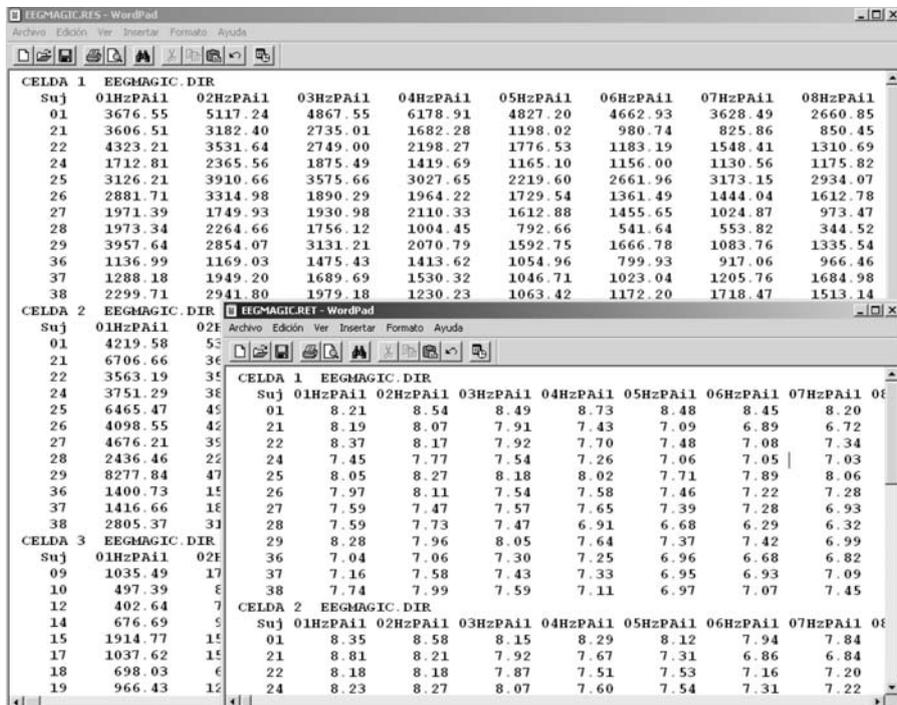
### CONSIDERACIONES

Si se elige restar la primera celda (como línea base), ésta ya no debe considerarse en el número de celdas del resultado (la nueva celda 1 ahora es la resta de la que era la celda 2 menos la que era la celda 1). Si el diseño es de dos factores, se resta la primera celda de cada nivel del factor A, es decir, se toma como basal el primer nivel del factor B. De esa manera, si se propone un diseño mixto de 2 factores con 2 niveles por factor (4 celdas: A1B1, A1B2, A2B1, A2B2), y se elige restar la celda basal, al final se tendrán solamente 2 celdas (A1B2-A1B1 y A2B2-A2B1) (el primer nivel del factor B es restado del segundo nivel) y EEGmagic aplicará, automáticamente, la prueba t de Student para 2 grupos independientes (en vez del diseño mixto).

Si se resta la primera celda, entonces en el archivo RET (con las variables transformadas) se encuentran las transformaciones de las diferencias, es decir, las restas se hacen con los datos sin transformar

**Cuadro 2.** Distribución de las variables analizadas con EEGmagic en los archivos RES y RET, cuando se analizan 4 canales.

Columna	Variable correspondiente
1 – 30	Potencia absoluta, por frecuencia, canal izquierdo 1
31 – 60	Potencia relativa, por frecuencia, canal izquierdo 1
61 – 66	Potencia absoluta, por bandas, canal izquierdo 1
67 – 72	Potencia relativa, por bandas, canal izquierdo 1
73 – 102	Potencia absoluta, por frecuencia, canal derecho 1
103 – 132	Potencia relativa, por frecuencia, canal derecho 1
133 – 138	Potencia absoluta, por bandas, canal derecho 1
139 – 144	Potencia relativa, por bandas, canal derecho 1
145 – 174	Correlación ínter, por frecuencia, para canales 1
175 – 180	Correlación ínter, por bandas, para canales 1
181 – 210	Potencia absoluta, por frecuencia, canal izquierdo 2
211 – 240	Potencia relativa, por frecuencia, canal izquierdo 2
241 – 246	Potencia absoluta, por bandas, canal izquierdo 2
247 – 252	Potencia relativa, por bandas, canal izquierdo 2
253 - 282	Potencia absoluta, por frecuencia, canal derecho 2
283 – 312	Potencia relativa, por frecuencia, canal derecho 2
313 – 318	Potencia absoluta, por bandas, canal derecho 2
319 – 324	Potencia relativa, por bandas, canal derecho 2
325 – 354	Correlación ínter, por frecuencia, para canales 2
355 – 360	Correlación ínter, por bandas, para canales 2
361 – 390	Correlación intra, por frecuencia, canales izquierdos
391 – 396	Correlación intra, por bandas, canales izquierdos
397 – 426	Correlación intra, por frecuencia, canales derechos
427 – 432	Correlación intra, por bandas, para canales derechos



**Figura 6.** Parte de los archivos de resultados RES y RET, trabajando con 4 canales, en un diseño mixto de 2x2. La primera columna (suJ) es para la identificación de cada sujeto; las columnas que siguen (01HzPAI1, 02HzPAI1...) son para los valores de todas las variables, calculadas por el programa, para cada sujeto.

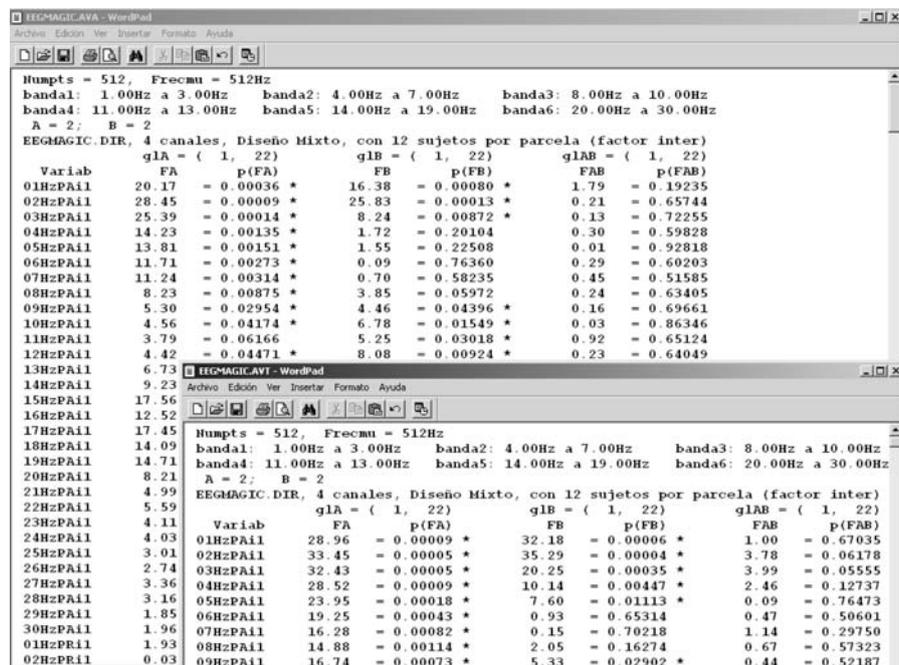


Figura 7. Parte de los archivos de resultados AVA y AVT, trabajando con 4 canales, con un diseño mixto de 2x2. En las columnas se obtiene la significancia para el factor A [p(FA)], para el factor B [p(FB)] y para la interacción AxB [p(FAB)].

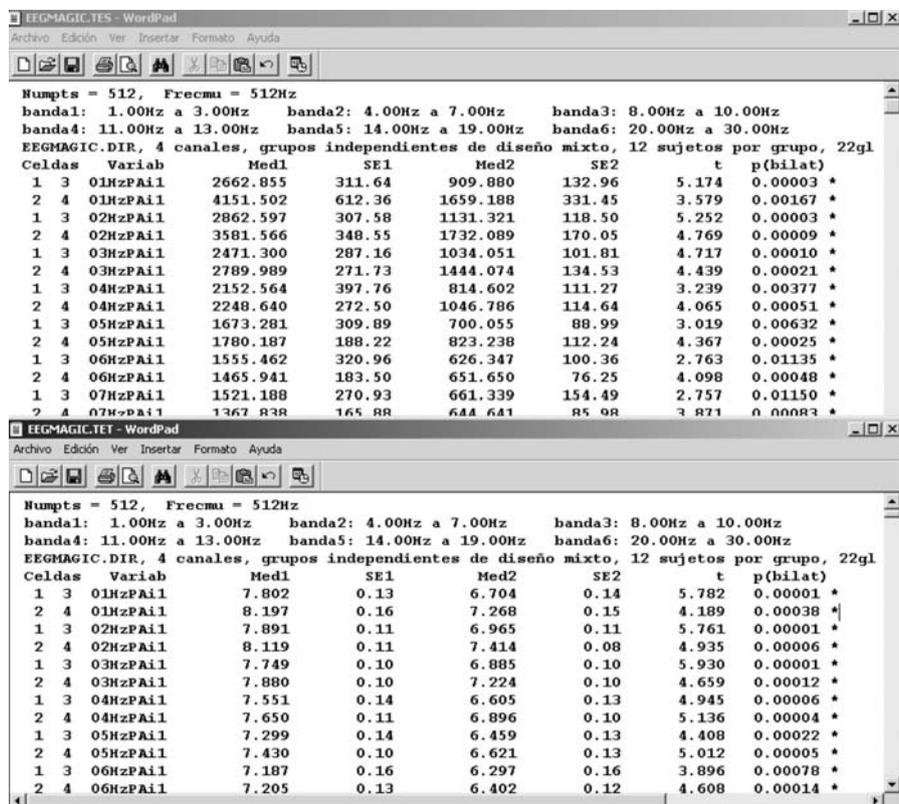


Figura 8. Parte de los archivos de resultados TES y TET. Se ha hecho la comparación entre celdas aplicando la prueba t de Student para grupos independientes.

y se transforma la diferencia; excepto para la potencia relativa, para la cual sus diferencias no se transforman. Otra consideración es que la diferencia en la potencia absoluta nunca se trabaja con

valor negativo (en números reales no hay logaritmos de números negativos); siempre se transforma el valor absoluto de la diferencia; por lo tanto, todas las comparaciones estadísticas, en potencia

The image shows two overlapping WordPad windows displaying the output of the EEGMAGIC program. The top window, titled 'EEGMAGIC.TUR - WordPad', shows a table with columns: 'Variab', 'Medi ai', 'Medi a', 'Medi -Medj', 'Duncan5%', 'Tukey 5%', 'Duncan 1%', and 'Tukey 1%'. The data rows list various derivations such as O1HzPA11, O2HzPA11, O3HzPA11, and O4HzPA11, each with associated numerical values and asterisks indicating statistical significance. The bottom window, titled 'EEGMAGIC.TUT - WordPad', shows a similar table with columns: 'Variab', 'Medi ai', 'Medi a', 'Medi -Medj', 'Duncan5%', 'Tukey 5%', 'Duncan 1%', and 'Tukey 1%'. The data rows list derivations like O1HzPA11, O2HzPA11, O3HzPA11, and O4HzPA11, with numerical values and asterisks.

Figura 9. Parte de los archivos de resultados TUK y TUT. Se han aplicado las pruebas de Tukey y Duncan, como pruebas a posteriori, a los resultados del análisis de varianza.

absoluta transformada, se hacen con los valores absolutos de las diferencias.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El programa descrito, EEGmagic, ofrece una forma simple de obtener complejos análisis cuantitativos del EEG registrado en varias derivaciones, combinando análisis simultáneos en el dominio de la frecuencia (Transformada Rápida de Fourier) y del tiempo (correlación), así como análisis estadísticos paramétricos acordes a diseños experimentales específicos.

EEGmagic ofrece varias ventajas. No requiere de equipos complejos, corre prácticamente en cualquier PC y los archivos de salida son almacenados en formato ASCII, facilitando su posterior manejo o representación gráfica.

Ya que EEGmagic es flexible y fácilmente adaptable a necesidades experimentales y clínicas, puede ser utilizado eficientemente en proyectos de investigación clínicos y con animales.

Una condición muy importante, es que los datos de las diferentes derivaciones y condiciones de cada sujeto, queden bien organizados en los archivos respectivos; si esta condición se cumple de forma adecuada, el programa aplicará, sin dificultad alguna, la prueba estadística requerida. Una de las limitaciones del programa, es el hecho de manejar sólo cuatro derivaciones, sin embargo, para estu-

dios donde se registran más derivaciones, es posible hacer varias corridas del programa, haciendo las comparaciones de interés.

Para fines de investigación científica, EEGmagic puede ser solicitado a los autores y libremente instalado. Lo único que se solicita es que, si se publican resultados en los que se haya utilizado el programa, se cite el crédito correspondiente.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen la colaboración técnica de Blanca Erika Gutiérrez Guzmán.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Niedermeyer E. The normal EEG of the waking adult. Electroencephalography. USA. Lippincott Williams y Wilkins. 1999.
2. Thatcher RW. Normative EEG databases and EEG biofeedback. Journal of Neurotherapy 1998; 2(4): 8-39.
3. Guevara MA, Lorenzo I, Arce C, Ramos J, Corsi-Cabrera M. Inter and intrahemispheric EEG correlation during sleep and wakefulness. Sleep 1995; 18(4): 257-265.
4. Guevara MA, Ramos J, Corsi-Cabrera M. Un método práctico para el espectro de correlación entre señales electroencefalográficas para evaluar relaciones funcionales entre áreas cerebrales. Revista Mexicana de Psicología, 1997; 14: 5-12. México.
5. Shibasaki H, Nagamine T. EEG (MEG)/EMG correlation. In: Hallett M, editor. Movement disorders: Handbook of Clinical Neurophysiology, Volume 1. Elsevier, 2003: 15-29.

6. Byring RF, Haapasalo S, Salmi T. Adolescents with learning disorders have atypical EEG correlation indices. II. Correlation indices during reading. *Clinical Neurophysiology* 2004; 115: 2584-2592.
7. Guevara MA, Hernández-González M, Zarabozo D, Corsi-Cabrera M. POTENCOR: A program to calculate power and correlation spectra of EEG signals. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2003; 72: 241-250. Amsterdam.
8. Guevara MA, Hernández-González M. Registro y análisis automatizado de señales bioeléctricas cerebrales durante la ejecución sexual. Universidad de Guadalajara (México), 2006.
9. Sánchez-Bruno A, Borges del Rosal A. Transformación Z de Fisher para la determinación de intervalos de confianza del coeficiente de correlación de Pearson. *Psicothema* 2005; 17: 148-153.
10. Brigham EO. *The Fast Fourier Transform*. USA: Prentice-Hall, Inc. 1974.
11. Bendat JS. *Engineering applications of correlation and spectral analysis*. John Wiley & Sons. USA, 1980.
12. Kirk R. *Experimental design: Procedures for the Behavioral Sciences*. Belmont, CA.: Brooks/Cole. 1968.