

MAPEO DE ACTIVIDAD ELECTROENCEFALOGRÁFICA EN MATLAB

Karen Victoria Villanueva De Luna Blanca Tovar Corona, Dra.
Adrián Octavio Ramírez Morales, Dr. Álvaro Anzueto Ríos, Dr.

Instituto Politécnico Nacional --- UPIITA

kvillanuevad1900@alumno.ipn.mx, bltovar@ipn.mx, adramirez@ipn.mx, aanzuetor@ipn.mx

Resumen

Este artículo presenta una metodología para el mapeo de los valores promedio de energía derivados de señales electroencefalográficas, utilizando herramientas de MATLAB. La técnica incluye una fase de preprocesamiento de datos seguida de la extracción de bandas de frecuencia específicas. Se emplean filtros digitales ajustados a las particularidades de las señales y sus espectrogramas, los cuales se analizan mediante la Densidad Espectral de Potencia para visualizar y cuantificar los valores de energía normalizados. Posteriormente, se crea una representación topográfica mediante la interpolación sobre una cuadrícula que simula la disposición de los electrodos en el cuero cabelludo. Los mapas resultantes se validan con datos del archivo MDD S1 TASK, extraído de la base de datos de Mumtaz et al. (2017), validando así la eficacia del enfoque propuesto.

Palabras Clave: EEG, electroencefalograma, Densidad Espectral de Potencia, PSD, bandas de frecuencia, MATLAB, mapeo topográfico, interpolación, Trastorno Depresivo Mayor.

1. Introducción

El análisis de señales electroencefalográficas es una herramienta fundamental en el estudio de la actividad cerebral. Un aspecto crucial del análisis de electroencefalogramas (EEG) es la identificación y cuantificación de las diferentes bandas de frecuencia, que se asocian con distintos estados cerebrales y cognitivos. Sin embargo, la interpretación de estas señales puede ser compleja [?].

El uso de herramientas computacionales como MATLAB permite aplicar técnicas avanzadas de procesamiento de señales para extraer información relevante. En particular, la **Densidad Espectral de Potencia** (PSD, *Power Spectral Density*) es una técnica que permite descomponer una señal en sus componentes de frecuencia y analizar su distribución de energía. Al integrar la PSD en diferentes bandas de frecuencia, es posible obtener valores de energía que representan el aporte de cada banda al total de la señal. Estos valores pueden ser normalizados para facilitar su comparación.

En este artículo se presenta una metodología detallada para el mapeo del promedio de las bandas de energía normalizadas, extraídas de señales de EEG. Se describe el preprocesamiento de las señales, la obtención de valores de energía y su normalización, así como la generación de mapas que esquematizan la distribución espacial de estos valores en el cuero cabelludo. La metodología propuesta se valida utilizando el archivo MDD S1 TASK de la base de datos pública de Mumtaz et al. (2017) [?], demostrando su utilidad.

2. Metodología

Obtención de bandas normalizadas

La obtención de bandas normalizadas se caracteriza por tres pasos, descritos a continuación.

Preprocesamiento de las señales

De acuerdo con las características del método de digitalización de los registros electroencefalográficos, se debe tomar en cuenta la frecuencia de muestreo para implementar los filtros digitales adecuadamente. La función `butter` devuelve los coeficientes de un filtro digital tipo Butterworth; recibe como parámetros el

orden del filtro y un arreglo que contiene el rango de frecuencias de la banda de paso normalizado respecto a la frecuencia de Nyquist $f_N = f_s/2$ [?]:

```
1 % Orden del filtro y frecuencias de corte normalizadas [f1, f2] / (fs/2)
2 [b, a] = butter(N, [f1, f2] / (fs/2), 'bandpass');
```

Listing 1 Diseño del filtro Butterworth con `butter`.

Las funciones `filter` y `filtfilt` permiten aplicar los coeficientes en cada señal. Por una parte, `filter` devuelve la señal filtrada sin corregir el desfase de grupo inherente al proceso. En contraste, `filtfilt` filtra la señal dos veces —una en sentido directo y otra en sentido inverso— para revertir el desfase; sin embargo, este método implica un decaimiento del 50 % en las frecuencias de corte:

```
1 % filtfilt: filtra directo e inverso para cancelar el desfase de grupo
2 senal_filtrada = filtfilt(b, a, senal);
```

Listing 2 Aplicación del filtro con `filtfilt` (sin desfase).

El rango de frecuencias a filtrar depende de las componentes que se busca mantener, por lo que es recomendable visualizar constantemente la información con el método de PSD. En este trabajo se utiliza el **método de Welch**, implementado mediante la función `pwelch`, que recibe los siguientes parámetros: la señal original, el tipo de ventana, la cantidad de muestras entre cada traslape de ventanas, el valor de la resolución y la frecuencia de muestreo. Se implementó la ventana de Hanning (`hanning`). Los vectores de salida `FREC` y `PSD` contienen los valores de frecuencia y densidad de potencia del espectrograma:

```
1 ventana = hanning(fs); % ventana de Hanning de longitud fs
2 solapamiento = fs / 2; % 50% de traslape
3 resolucion = fs; % resolucion espectral en puntos
4
5 [PSD, FREC] = pwelch(senal, ventana, solapamiento, resolucion, fs);
```

Listing 3 Cálculo del espectrograma mediante el método de Welch (`pwelch`).

Al graficar `FREC` en Hz en el eje de las abscisas, y la PSD con unidades de $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ en el eje de las ordenadas:

$$\text{PSD} \left[\frac{\mu\text{V}^2}{\text{Hz}} \right] \quad (1)$$

se obtiene el espectrograma de la señal. Es especialmente útil visualizar las señales antes y después de implementar los filtros para corroborar su efecto y reconocer si es necesario adecuar los valores de las frecuencias de corte.

Obtención de valores de energía

Una vez preprocesadas las derivaciones, se identifican los valores de energía en cada banda de frecuencia analizada. Los límites en las bandas de frecuencia varían respecto al autor; en este trabajo se consideran los siguientes rangos (tabla 1):

Cuadro 1 Bandas de frecuencia EEG y sus rangos en Hertz.

Banda	Símbolo	Rango (Hz)
Delta	δ	0.5 – 4
Theta	θ	4 – 8
Alpha	α	8 – 13
Beta	β	13 – 30

Los valores de energía corresponden al área bajo la curva del diagrama de PSD en cada rango de frecuencias; para ello se utiliza la función `trapz`, que realiza una integración numérica mediante la regla del trapecio:

$$E_{\text{banda}} = \int_{f_1}^{f_2} \text{PSD}(f) df \approx \text{trapz}(\text{FREC_banda}, \text{PSD_banda}) \quad (2)$$

Para normalizar se calcula también la energía total del espectrograma:

$$E_{\text{total}} = \int_0^{f_N} \text{PSD}(f) df \approx \text{trapz}(\text{FREC}, \text{PSD}) \quad (3)$$

```

1 % Índices de frecuencia para cada banda (ej. delta: 0.5-4 Hz)
2 idx_banda = (FREC >= f1) & (FREC <= f2);
3
4 % Energía en la banda (regla del trapecio)
5 E_banda = trapz(FREC(idx_banda), PSD(idx_banda));
6
7 % Energía total del espectrograma
8 E_total = trapz(FREC, PSD);
9
10 % Energía normalizada respecto al total
11 E_norm = E_banda / E_total;
```

Listing 4 Cálculo de energía por banda y energía total con trapz.

Este método puede llevarse a cabo segmentando la señal en ventanas temporales de un segundo de grabación del EEG (figura 1a), realizando un análisis del promedio de energía en el tiempo. La cantidad de muestras por segundo está relacionada con la frecuencia de muestreo f_s .

Normalización

Se tienen N valores de energía por cada electrodo, donde $N = n + 1$ (n bandas analizadas más el valor del espectrograma total, por segundo de grabación). Se normaliza respecto al ancho Δf_k de cada banda k (tabla 2):

Cuadro 2 Tabla I. Ancho de banda para la normalización.

Banda	Rango (Hz)	Ancho Δf (Hz)
Delta (δ)	0.5 - 4	3.5
Theta (θ)	4 - 8	4.0
Alpha (α)	8 - 13	5.0
Beta (β)	13 - 30	17.0

La energía normalizada por ancho de banda de cada banda k se obtiene como:

$$\tilde{E}_k = \frac{E_k}{\Delta f_k} \quad (4)$$

De igual forma, la energía total normalizada:

$$\tilde{E}_{\text{total}} = \frac{E_{\text{total}}}{f_N} \quad (5)$$

Los valores a graficar corresponden a la razón del aporte energético de cada banda respecto al aporte normalizado del espectrograma total (figura 1c):

$$R_k = \frac{\tilde{E}_k}{\tilde{E}_{\text{total}}} \quad (6)$$

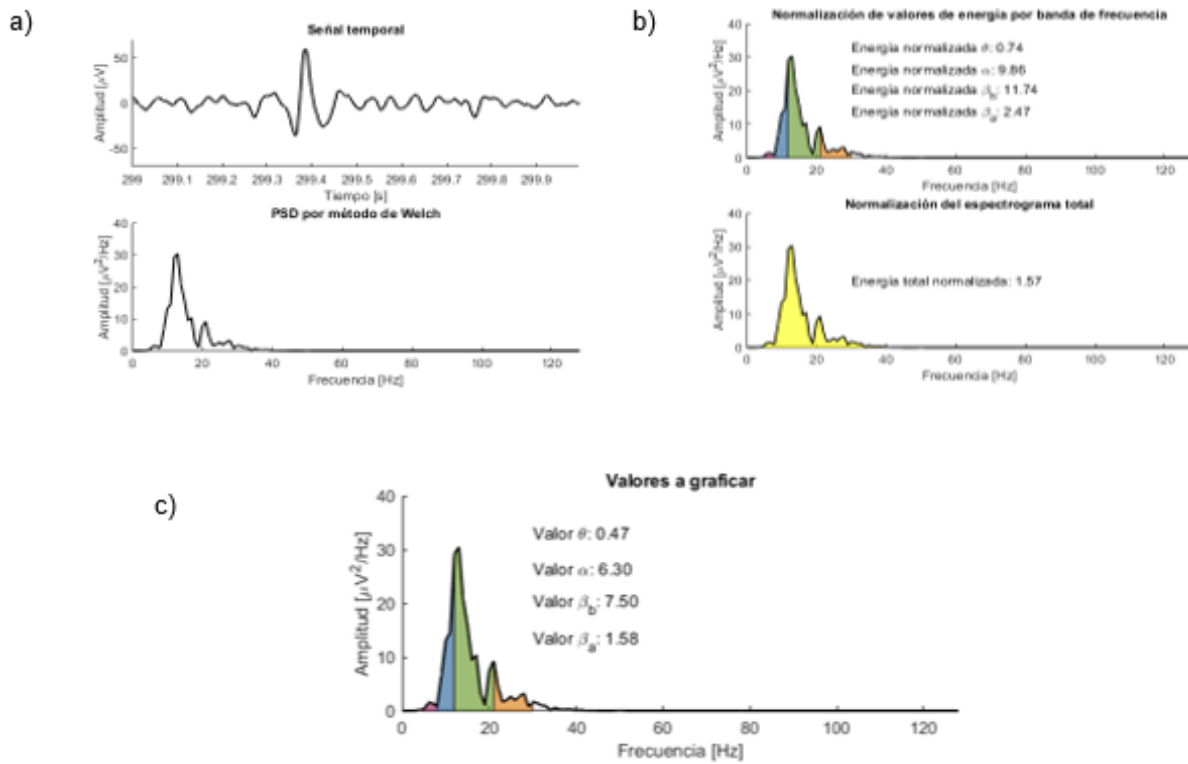


Figura 1 Figura I. Proceso para la obtención de bandas normalizadas. (a) Segmentación temporal en ventanas de 1 s. (b) Cálculo de energía de banda y total con trapz. (c) Razón de energía normalizada por banda.

3. Generación de mapas

Para analizar la energía promedio en cada banda de frecuencias, se calcula el valor promedio \bar{R}_k de la razón (6) para cada electrodo. En el estudio se identifican **cuatro valores de energía promedio por electrodo**, cada uno asociado a una banda de frecuencia distinta. El mapeo se realiza mediante un proceso de interpolación estructurado en cuatro etapas clave, ilustradas en la figura 2:

1. Dibujo de la cabeza y localización de electrodos.
2. Generación de una cuadrícula.
3. Interpolación en los puntos especificados.
4. Visualización de la superficie interpolada.

Este proceso se aplica sobre los 19 electrodos de un registro EEG conforme al **sistema 10-20**.

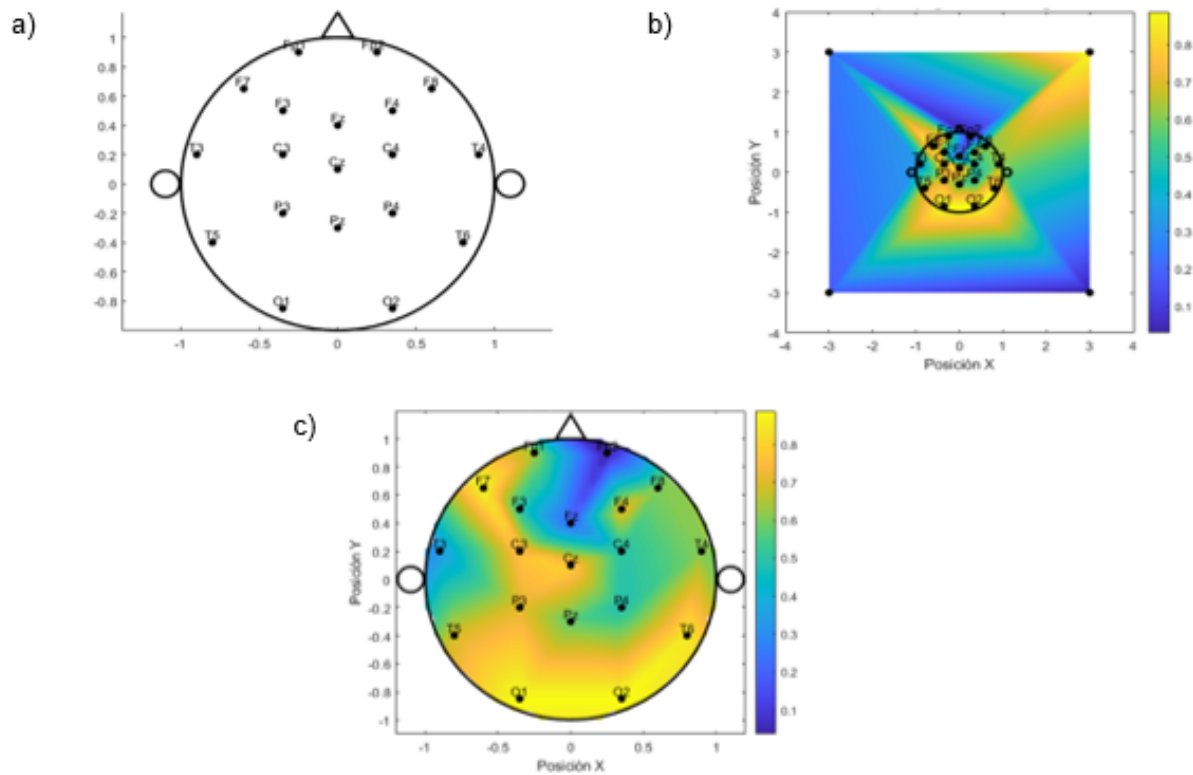


Figura 2 Figura II. Proceso para generar los mapas. (a) Esquema de cabeza con electrodos. (b) Cuadrícula con puntos de interpolación adicionales en el exterior. (c) Superficie interpolada antes del enmascaramiento. (d) Mapa final con NaN fuera del cráneo.

Dibujo de la cabeza y localización de electrodos

Se dibuja la cabeza como una circunferencia centrada en $(0, 0)$ que representa la vista superior del cráneo. Dos circunferencias pequeñas a los costados asemejan las orejas, y un triángulo en la parte superior corresponde a la nariz. Los 19 electrodos se representan mediante puntos; dado que se identifican en pares (excepto los de la zona medial), al localizar el electrodo de un hemisferio el otro es su proyección en el eje y (figura 2a).

Generación de una cuadrícula

El comando `meshgrid` genera las coordenadas de una cuadrícula 2D con los vectores x e y . Es recomendable establecer los límites del rango por fuera de la cabeza para que la interpolación dentro de ésta se calcule adecuadamente:

```
1 % Cuadrícula que rebasa los límites de la cabeza (-1.2 a 1.2)
2 [X, Y] = meshgrid(linspace(-1.2, 1.2, 200), ...
3                 linspace(-1.2, 1.2, 200));
```

Listing 5 Generación de la cuadrícula 2D con `meshgrid`.

Interpolación en los puntos especificados

El comando `griddata` recibe las posiciones (x, y) de los electrodos y los valores normalizados promedio \bar{R}_k , y produce la superficie interpolada Z en la cuadrícula (X, Y) . Se recomienda agregar 4 puntos externos en la circunferencia (con $\bar{R}_k = 0$) para que la información dentro de la cabeza sea graficada adecuadamente (figura 2b):

```
1 % x_e, y_e: coordenadas de los electrodos
2 % R_prom:   valores normalizados promedio por electrodo
3
```

```

4 % 4 puntos externos con valor 0 para bordes adecuados
5 x_e = [x_e; -3; 3; 0; 0];
6 y_e = [y_e; 0; 0; 3; -3];
7 R_prom = [R_prom; 0; 0; 0; 0];
8
9 % Interpolacion v4 (biharmonic spline)
10 Z = griddata(x_e, y_e, R_prom, X, Y, 'v4');

```

Listing 6 Interpolación espacial sobre la cuadrícula con `griddata`.

Visualización de la superficie interpolada

La función `contourf` grafica la distribución espacial de la energía como una superficie de contorno relleno en 2D. La escala de color se ajusta con `caxis` y se elige el mapa `jet` (de tonalidades frías a cálidas). Los valores de Z fuera de la circunferencia del cráneo se asignan como `NaN` para no graficarlos (figura 2c--d):

```

1 % Enmascarar valores fuera de la cabeza (radio = 1)
2 Z(X.^2 + Y.^2 > 1^2) = NaN;
3
4 % Graficar superficie de contorno
5 contourf(X, Y, Z, 64, 'LineColor', 'none');
6 colormap('jet');
7 caxis([0, max(R_prom)]); % escala de color
8 colorbar;

```

Listing 7 Visualización del mapa topográfico con `contourf` y enmascaramiento.

4. Resultados

Este estudio presenta los hallazgos derivados del archivo **MDD S1 TASK** perteneciente a la base de datos de Mumtaz et al. (2017) [?]. Este archivo corresponde a un paciente diagnosticado con Trastorno Depresivo Mayor (MDD, *Major Depressive Disorder*). La etiqueta 'S1' designa al sujeto analizado, mientras que 'TASK' indica que los datos se obtuvieron durante una sesión de 10 minutos en la que se registró el componente P300 mediante una prueba de paradigma *oddball* con tres estímulos.

Los resultados se presentan en cuatro subventanas, cada una correspondiente a una banda de frecuencia diferente (figura 3). Conforme a lo esperado, se observó una prominente actividad en la **banda beta (β) en la región occipital**, coherente con la naturaleza visual del estímulo empleado en la prueba.

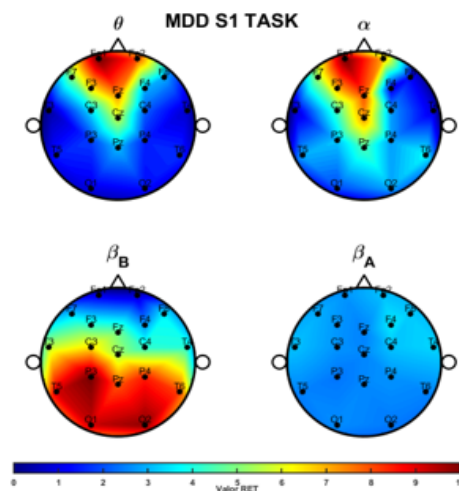


Figura 3 Figura III. Resultados obtenidos en el archivo MDD S1 TASK. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: bandas δ , θ , α y β . Se observa actividad prominente en la banda β en la región occipital.

5. Conclusión

Los resultados de este estudio ilustran claramente la utilidad del archivo MDD S1 TASK para la comprensión del Trastorno Depresivo Mayor mediante la observación del componente P300 en pruebas de paradigma *oddball* con estímulos visuales. La organización y análisis de los datos en cuatro bandas de frecuencia distintas permitieron una evaluación detallada de la actividad cerebral, especialmente en la región occipital. La actividad notable en la banda beta durante las pruebas confirma la hipótesis inicial de una mayor respuesta cerebral en áreas relacionadas con el procesamiento visual. Estos hallazgos no solo validan la metodología empleada, sino que también proporcionan un camino para futuras investigaciones sobre **biomarcadores** para pruebas en el laboratorio.

Referencias

- [1] Niedermeyer, E., Schomer, D. L. y Lopes da Silva, F. H. (2011). *Niedermeyer's Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields* (6.ª ed.). Wolters Kluwer Health / Lippincott Williams & Wilkins. ISBN: 978-0-7817-8942-4.
- [2] Mumtaz, W., et al. (2017). A Wavelet-Based Technique to Predict Treatment Outcome for Major Depressive Disorder. *PLOS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171409>
- [3] Proakis, J. G. y Manolakis, D. G. (1992). *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications* (3.ª ed.). Prentice-Hall. ISBN: 0-13-394338-9.

Cómo citar este artículo en APA

Villanueva De Luna, K.V., Tovar Corona, B., Ramírez Morales, A.O. y Anzueto Ríos, Á. (septiembre--octubre de 2024). Mapeo de actividad electroencefalográfica en MATLAB. *Boletín UPIITA*, 19(104). Disponible en: <https://www.poner-la-liga-del-articulo>