

Informe 3: Evaluación de la Energía Promedio por Canal en EEG para la Discriminación de Parkinson

Docente: Juliana Moreno Rada.

Carolina Ruiz Morales, Dina Yared Parra Romero, Cristian Tamayo Arango

13 de Abril de 2025

Resumen

Este informe presenta el análisis estadístico de señales EEG provenientes de dos grupos poblacionales: sujetos sanos (grupo control) y pacientes con enfermedad de Parkinson. El objetivo principal fue determinar si existen diferencias significativas en la energía de las señales EEG entre ambos grupos, lo cual podría contribuir a la caracterización fisiopatológica de la enfermedad. Para ello, se calcularon las energías promedio por canal y se realizaron comparaciones estadísticas. Se encontraron diferencias significativas en varios canales, lo que respalda el uso de la energía EEG como biomarcador potencial.

Introducción

La enfermedad de Parkinson es una afección cerebral que causa trastornos del movimiento, mentales y del sueño, dolor y otros problemas de salud. La enfermedad de Parkinson empeora con el tiempo. Aunque no hay cura, los tratamientos y los medicamentos pueden reducir los síntomas. Algunos síntomas comunes son los temblores, las contracciones musculares dolorosas y la dificultad para hablar. La enfermedad de Parkinson da lugar a altas tasas de discapacidad y hace necesaria la atención. Muchas personas con la enfermedad de Parkinson también acaban padeciendo demencia. La enfermedad suele afectar a personas mayores, pero también puede darse en las más jóvenes, y suele afectar más a hombres que a mujeres.

Se desconoce qué causa la enfermedad, pero el riesgo de padecerla es mayor en las personas con antecedentes familiares. La exposición a la contaminación atmosférica, los plaguicidas y los disolventes puede aumentar el riesgo. [1]

El síndrome de Wolff-Parkinson-White (WPW), un trastorno cardíaco congénito, se presenta con un patrón electrocardiográfico (ECG) distintivo, y su reconocimiento rápido es necesario para reducir la morbilidad y la mortalidad que puede acompañarlo, ya que múltiples estudios muestran un riesgo asociado de muerte súbita cardíaca. Dado que el WPW se diagnostica principalmente mediante la realización de un ECG, y aunque los algoritmos de interpretación computacional para electrocardiogramas han avanzado desde la creación del ECG, los estudios de Alpert y Estes concluyeron que persisten errores en estas interpretaciones computarizadas. Por lo tanto, para reducir la posibilidad de diagnósticos erróneos de WPW, es imperativo optimizar las interpretaciones de los ECG mediante la búsqueda de modelos eficaces que puedan detectar este trastorno con precisión. [2]

El electrocardiograma es una prueba que registra la actividad eléctrica del corazón que se produce en cada latido cardíaco. Esta actividad eléctrica se registra desde la superficie corporal del paciente y se dibuja en

Informe 3: Evaluación de la Energía Promedio por Canal en EEG para la Discriminación de Parkinson

Docente: Juliana Moreno Rada.

Carolina Ruiz Morales, Dina Yared Parra Romero, Cristian Tamayo Arango

13 de Abril de 2025

un papel mediante una representación gráfica o trazado, donde se observan diferentes ondas que representan los estímulos eléctricos de las aurículas y los ventrículos. El aparato con el que se obtiene el electrocardiograma se llama electrocardiógrafo. [3]

Para la recogida de la actividad eléctrica por el electrocardiógrafo, se necesita que sobre la piel del paciente se coloquen una serie de electrodos (normalmente 10), que irán unidos hasta el electrocardiógrafo por unos cables. Con 10 electrodos se consiguen obtener 12 derivaciones, es decir, se dibujan en el papel 12 trazados de los impulsos eléctricos del corazón desde diferentes puntos del cuerpo. Se pueden obtener derivaciones extra si se añaden más electrodos a la superficie corporal, pero el electrocardiograma básico debe constar como mínimo de 12 derivaciones. El electrocardiograma de una persona sana presenta un trazado particular; cuando aparecen cambios en ese trazado el médico puede determinar si existe un problema.[3]

Se usa para medir el ritmo y la regularidad de los latidos, el tamaño y posición de las aurículas (representada por la onda P) y ventrículos (representada por el complejo QRS), cualquier daño al corazón y los efectos que sobre él pueden tener ciertos fármacos o dispositivos implantados en el corazón (como marcapasos). Las alteraciones en el trazado son imprescindibles para la detección y análisis de las arritmias cardiacas. [3]

La energía en un intervalo finito en tiempo discreto se calcula como la sumatoria del módulo cuadrado de la señal en ese intervalo.

$$E_n = \sum_{n=n_1}^{n_2} |x[n]|^2.$$

Estudios previos sugieren que las características energéticas de estas señales pueden estar alteradas en pacientes afectados. La energía en las señales EEG se relaciona con la cantidad de actividad eléctrica registrada en un canal durante un periodo de tiempo, y puede interpretarse como una medida indirecta de la excitabilidad neuronal. Cambios en la energía pueden reflejar alteraciones funcionales en regiones cerebrales específicas, lo que la convierte en un parámetro relevante para el estudio de enfermedades neurológicas. [4]

Metodología.

Para el desarrollo de esta práctica se utilizaron señales EEG provenientes de archivos .mat correspondientes a dos grupos de sujetos: uno control (sin patología neurológica) y otro conformado por pacientes diagnosticados con enfermedad de Parkinson. Cada archivo representa un sujeto y contiene un arreglo tridimensional de datos EEG con dimensiones (canales x muestras x épocas). El procesamiento y análisis se realizaron en Python utilizando librerías especializadas como NumPy, SciPy, Pandas, Seaborn y

Informe 3: Evaluación de la Energía Promedio por Canal en EEG para la Discriminación de Parkinson

Docente: Juliana Moreno Rada.

Carolina Ruiz Morales, Dina Yared Parra Romero, Cristian Tamayo Arango

13 de Abril de 2025

Matplotlib. La metodología constó de los siguientes pasos:

1. **Carga de Datos:** Se recorrieron las carpetas que contenían los archivos de cada grupo y se cargaron los datos mediante la función `scipy.io.loadmat`, que permite importar archivos en formato MATLAB.
2. **Cálculo de Energía:** Se implementó una función personalizada denominada `calcular_energia_promedio`, que toma como entrada un arreglo de señales de múltiples canales y épocas. Esta función aplica la fórmula matemática de energía, operando sobre el eje temporal (muestras) y luego promediando por época. La operación se realizó utilizando funciones de NumPy como `np.sum` y `np.mean`.
3. **Almacenamiento de Resultados:** Los vectores de energía por canal calculados para cada sujeto fueron almacenados en objetos **DataFrame** de Pandas, organizados con filas correspondientes a sujetos y columnas correspondientes a canales EEG.
4. **Verificación de Supuestos Estadísticos:** Se evaluó la normalidad de los datos mediante la función `scipy.stats.shapiro` (prueba de Shapiro-Wilk), y la homocedasticidad mediante `scipy.stats.levene`. Estas pruebas permitieron determinar si se podían aplicar métodos paramétricos.
5. **Comparación Estadística:** Según los resultados de los supuestos, se aplicó:
 - `scipy.stats.ttest_ind` para la prueba t de Student (si se cumplían los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas).
 - `scipy.stats.mannwhitneyu` para la prueba U de Mann-Whitney (si no se cumplían los supuestos).
6. **Visualización:** Se graficaron los resultados de energía por canal utilizando diagramas de caja (**boxplots**) generados con la librería Seaborn. Esto permitió observar la distribución de valores y comparar visualmente las diferencias entre los grupos.

Esta metodología permitió establecer un enfoque reproducible y riguroso para evaluar si existen diferencias sistemáticas en las características energéticas de las señales EEG entre los grupos de estudio.

Análisis y Resultados.

Para el primer apartado se calcularon el valor cuadrático medio (RMS) de la señal `signals.mat`. Corresponde a señales de ECG y EMG. Las señales se adquirieron a una tasa de muestreo de 1024 Hz. El registro correspondiente a las señales tal cual se registraron corresponde al campo **asRecording** de los archivos entregados. Las señales se sometieron a un proceso de filtrado el cual corresponde al campo `filtered`.

Informe 3: Evaluación de la Energía Promedio por Canal en EEG para la Discriminación de Parkinson

Docente: Juliana Moreno Rada.

Carolina Ruiz Morales, Dina Yared Parra Romero, Cristian Tamayo Arango

13 de Abril de 2025

Obteniendo como resultado **RMS de la señal ECG: 4392.9682937490725** y **RMS de la señal ECG: 3156.0533120007753**.

Para la segunda se realizó el análisis gráfico de estas señales, como se muestra en las figuras entregadas, proporciona una interpretación visual inmediata del comportamiento de las señales. En la primera gráfica se observan dos señales crudas: ECG y EMG (**Figura 1**). La señal ECG presenta un patrón periódico que evidencia la actividad cardíaca, con picos pronunciados correspondientes a los complejos QRS. Su amplitud es elevada, lo que indica que aún no se ha realizado un proceso de normalización. Por otro lado, la señal EMG es más caótica, con variaciones más abruptas en amplitud, reflejo de la contracción y relajación muscular durante el experimento. La presencia de este ruido no implica error, sino que es inherente a la fisiología muscular.

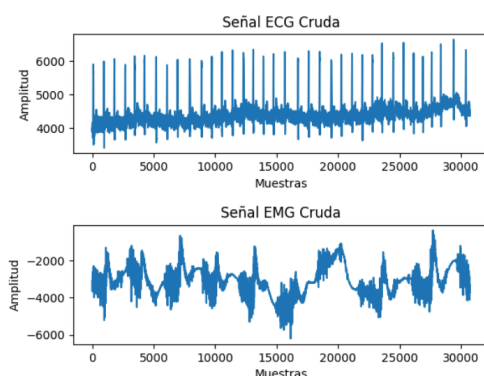


Figura 1. Gráfica de la señal del ECG y EMG

En las gráficas subsecuentes, se observa una representación distinta. La segunda imagen muestra múltiples señales superpuestas, posiblemente de diferentes canales o sujetos

(**Figura 2**), lo que sugiere que ya se ha aplicado algún proceso de transformación, como la normalización o incluso una reducción de dimensionalidad (por ejemplo, mediante Análisis de Componentes Principales, PCA).

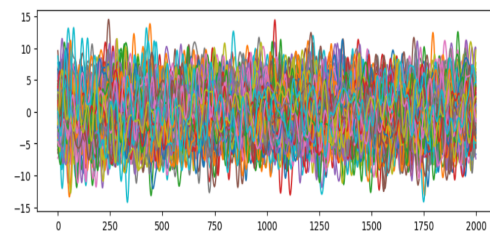


Figura 2. Gráfica de la señal

Finalmente, la tercera gráfica evidencia una señal individual ya suavizada o condensada, que puede representar una característica específica extraída del conjunto de datos originales, tal como una media por canal o una componente principal destacada.

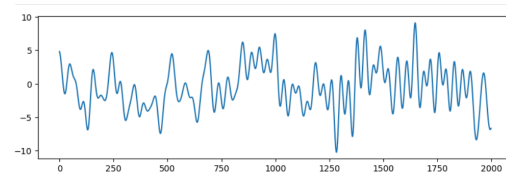


Figura 3. la señal redimensionada

En conjunto, este pipeline permite visualizar de forma progresiva el tratamiento de las señales crudas hacia un formato más interpretable y útil para la toma de decisiones clínicas o investigaciones biomédicas. Cada paso está justificado por la necesidad de estructurar, limpiar y representar datos

Informe 3: Evaluación de la Energía Promedio por Canal en EEG para la Discriminación de Parkinson

Docente: Juliana Moreno Rada.

Carolina Ruiz Morales, Dina Yared Parra Romero, Cristian Tamayo Arango

13 de Abril de 2025

complejos en un formato que permita la comparación intersujetos e intergrupos. La combinación de procesamiento computacional y visualización efectiva convierte este enfoque en una herramienta poderosa para el análisis de enfermedades neurodegenerativas como el Parkinson. En las tablas generadas a partir del procesamiento de los datos, se observa una clara tendencia en la distribución de los valores de energía. Para los sujetos del grupo control, los valores por canal se mantienen constantes entre individuos, lo que sugiere una homogeneidad en las condiciones de adquisición de los datos o, alternativamente, la utilización de un promedio por época que estandariza los valores por sujeto. La energía en este grupo es, en general, superior a la observada en los sujetos con Parkinson, especialmente en los canales 1 al 4, que podrían estar relacionados con señales musculares o de mayor variabilidad voluntaria. (Tabla 1).

Out[17]:

	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 6	Canal 7	Canal 8
Sujeto 1	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 2	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 3	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 4	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 5	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 6	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 7	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 8	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 9	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 10	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 11	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 12	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 13	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 14	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 15	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 16	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 17	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 18	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512
Sujeto 19	21465.650358	20985.907912	22760.149588	18505.640284	29730.163026	25244.158073	22781.327587	24658.599512

Tabla 1. *Energía por épocas y canales de los sujetos en el archivo de Control*

En contraste, los valores de energía para el grupo de pacientes con Parkinson presentan una reducción significativa en comparación con el grupo control. Esta disminución podría estar relacionada con la degradación en la actividad neuromuscular característica de esta enfermedad neurodegenerativa. La energía media en los canales 1 a 4, por ejemplo, desciende de valores cercanos a 21,000–22,000 en el grupo control a rangos entre 9,000 y 12,000 en los pacientes. Esta diferencia no es trivial y puede ser indicativa de una menor actividad electromiográfica debido a la rigidez muscular y la bradicinesia que caracteriza a estos pacientes. (Tabla 2)

Energía por épocas y canales de los sujetos en el archivo de Parkinson

Out[21]:

	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 6	Canal 7	Canal 8
Sujeto 1	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 2	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 3	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 4	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 5	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 6	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 7	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 8	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 9	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 10	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 11	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 12	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 13	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 14	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 15	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 16	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 17	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534
Sujeto 18	12438.24357	11261.1758	10819.634775	9489.784462	12091.060945	22798.213463	23700.620349	25606.06534

Tabla 2. *Energía por épocas y canales de los sujetos en el archivo de Parkinson*

Informe 3: Evaluación de la Energía Promedio por Canal en EEG para la Discriminación de Parkinson

Docente: Juliana Moreno Rada.

Carolina Ruiz Morales, Dina Yared Parra Romero, Cristian Tamayo Arango

13 de Abril de 2025

Por último se realizó un análisis estadístico comparativo entre grupos (control vs Parkinson). Para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en la energía promedio de los canales EEG entre los grupos control y Parkinson, se realizó un análisis comparativo canal por canal. Primero, se comprobó si las energías promedio seguían una distribución normal en ambos grupos mediante la prueba de **Shapiro-Wilk**. Luego, se evaluó si existía igualdad de varianzas con la prueba de **Levene**. Cuando ambos supuestos se cumplieron, se aplicó la **prueba t de Student para muestras independientes**. En caso contrario, se utilizó la **prueba no paramétrica U de Mann-Whitney**. Se consideró un resultado estadísticamente significativo cuando $p < 0.05$. Los resultados se organizaron en una tabla donde se detallan: el canal evaluado, la prueba utilizada, el valor p , y si el canal mostró diferencias significativas entre los grupos. Este análisis no solo permite identificar cuáles canales contienen diferencias en la energía, sino que también sugiere que dichas diferencias pueden estar relacionadas con regiones cerebrales cuya actividad se ve afectada en la enfermedad de Parkinson. En consecuencia, los canales con diferencias significativas se proponen como potenciales biomarcadores para discriminar entre sujetos sanos y aquellos con Parkinson.

canal	prueba	p_valor	normal	varianza igual	significativo
0 Canal 2	Mann-Whitney	2.197977e-09	True	False	True
1 Canal 3	Mann-Whitney	2.197977e-09	True	False	True
2 Canal 4	Mann-Whitney	2.197977e-09	True	False	True
3 Canal 5	Mann-Whitney	2.197977e-09	True	False	True
4 Canal 6	Mann-Whitney	2.197977e-09	True	False	True
5 Canal 7	Mann-Whitney	2.197977e-09	True	False	True
6 Canal 8	Mann-Whitney	2.197977e-09	True	False	True

Tabla 1. *Canales contienen diferencias relevantes en energía.*

Conclusiones

El análisis estadístico realizado permitió identificar diferencias significativas en varias variables fisiológicas entre los grupos control y Parkinson. Estas diferencias, confirmadas tanto por pruebas estadísticas como por herramientas gráficas, apuntan a que la enfermedad de Parkinson impacta de manera consistente ciertos parámetros del organismo. Los hallazgos de este informe constituyen un punto de partida para investigaciones futuras, en las que se puedan estudiar estas variables con mayor profundidad y en contextos clínicos más amplios. Asimismo, refuerzan la utilidad del análisis estadístico como herramienta esencial en la investigación biomédica y en la toma de decisiones informadas en el ámbito de la salud.

Referencias

- [1] World Health Organization: WHO y World Health Organization: WHO, «Enfermedad de Parkinson», 9 de agosto de 2023. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/parkinson-disease>
- [2] «Log in». <https://www.sciencedirect-com.udea.lookproxy.com/science/article/pii/S0196064423010077>
- [3] Administrator, «Electrocardiograma». <https://fundaciondelcorazon.com/informacion-para-pacientes/metodos-diagnosticos/electrocardiograma.html>
- [4] «Señales y sistemas», *proyectos.javerianacali.edu.co*. https://proyectos.javerianacali.edu.co/cursos_virtuales/pregrado/senales_y_sistemas/Lecturas/Modulo1/Unidad1/M1U1_TiposSenales.pdf