



# ANÁLISIS DE RESPUESTA NOCICEPTIVA MEDIANTE LA SEÑAL DE EEG

Mateo Hueza Echeverri, Juan Manuel López López

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito – Universidad del Rosario  
Bogotá, Colombia

## Resumen

En el presente artículo, se analizó el proceso nociceptivo mediante señales de electroencefalografía (EEG) de 17 voluntarios, quienes recibieron un estímulo nociceptivo y durante la presencia de este, evaluaron el dolor percibido según la escala EVA. La señal de EEG se analiza en línea base y en el momento en que se tiene el valor de dolor más alto de la escala. Para el análisis, se hizo una previa remoción de artefactos presentes en los canales a trabajar mediante el uso de la transformada wavelet discreta. Una vez obtenida la señal filtrada, se hizo una descomposición en bandas de ondas cerebrales características theta, alfa, beta y gamma, usando filtros FIR; con el fin de ver la diferencia interhemisférica del valor RMS entre pares de canales complementarios. Se analizaron las diferencias interhemisféricas de línea base contra las de dolor máximo en cada una de las bandas encontrando que, en promedio, la variación más significativa se encuentra en onda theta y en los canales ubicados en regiones correspondientes a zona media del cerebro.

**Palabras clave:** nocicepción; electroencefalografía; escala EVA; ondas cerebrales

## Abstract

*In this article, the nociceptive process was analyzed through the electroencephalography (EEG) signals of a group of 17 volunteers who received a nociceptive stimulus while assessing their perceived pain according to the EVA scale of pain. The EEG signal is studied during the base line before the stimulus and in the window in which the volunteer is marking the highest value in the EVA scale. At first, artifacts and noise were removed using the discrete time wavelet transform. Once the signal was cleaned, it was decomposed in the brain waves theta, alpha, beta, and gamma; using FIR filters to compare the interhemispheric difference of the RMS value of each band. The comparison*

*was between the base line and highest pain. It was found that the highest variation of the RMS, is in theta waves in the channels located in the medium zone of the head.*

**Keywords:** *nociception; electroencephalography; EVA scale; brain waves*

## 1. Introducción

La nocicepción hace referencia al proceso llevado a cabo en el sistema nervioso del cuerpo humano, cuando recibe un estímulo que el cuerpo cataloga como perjudicial. Este proceso comienza cuando el estímulo interactúa con el cuerpo en un primer momento y termina cuando el impulso llega al cerebro, quien lo procesa y genera una respuesta para el mismo (Purves 1997). El cuerpo humano posee dos vías para transmitir este tipo de estímulo, de manera que pueda reaccionar a ellos, estos mecanismos hacen referencia a las fibras A $\delta$  y C; las cuales tienen como única función la de transmitir el impulso desde los nociceptores hasta el cerebro. Estudios realizados con estas fibras, han permitido realizar clasificaciones del dolor (Tripanpitak *et al.*, 2021).

A lo largo de los años, se han realizado experimentos para establecer cómo se lleva a cabo este proceso y como se transmite el impulso y como evitarlo o reducirlo. Experimentos como el estimular la corteza motora primaria y la corteza somatosensorial primaria mediante ondas theta, ha demostrado que se puede reducir las potenciales relacionados a la nocicepción. (Torta *et al.* 2013). Sin embargo, una de las incógnitas a la hora de estudiar la nocicepción corresponde a la diferenciación del proceso fisiológico de la percepción de la persona. Es por ello, que se planteó este estudio, para relacionar una de las escalas de dolor, en este caso la EVA, en la cual la persona evalúa el dolor percibido de manera subjetiva, en una escala de 1 a 6. Se busca con ello, relacionar la señal de EEG con la percepción de dolor evaluada con dicha escala. Así se busca ver si la percepción de dolor trae consigo características cuantificables.

## 2. Metodología

### 2.1 Sujetos de prueba:

La base de datos utilizada corresponde a la señal de electroencefalografía de 17 participantes elegidos con criterio de inclusión: estudiantes de entre 19 y 24 años, excluyendo fumadores y personas con trastornos neurológicos.

Para el experimento, a cada uno de los participantes se les fue ubicado en la cabeza, el Emotiv EPOC+, electroencefalógrafo de superficie con disposición de 14 electrodos para la toma de la señal, se trabajó con una frecuencia de muestreo de 128Hz.

### 2.2 Experimento realizado

Inicialmente se ubica el dispositivo en la cabeza del sujeto, verificando que cada uno de los electrodos esté conectado de manera adecuada, para ello, se humectan con solución salina para mejorar la impedancia.

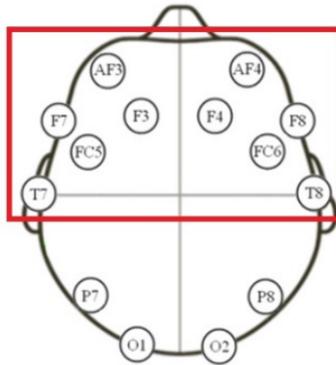


Se inicia la toma de la señal con el sujeto en reposo durante 30 segundos para tener la línea base. Posterior a ello, el sujeto introduce la mano en agua con hielo, que corresponde al estímulo nociceptivo. En todo momento el sujeto va marcando un número correspondiente al valor en la escala EVA del dolor que percibe, de manera que cada que cuando el dolor aumente, queda guardado el momento en que esto ocurre. Se procede de esta manera hasta que el participante llega al valor máximo de dolor de la escala o hasta que decide retirar la mano del estímulo.

El EEG se almacenó junto con los marcadores obtenidos de la escala EVA para cada participante en registros independientes, de manera que de cada paciente existe un registro único, para cada voluntario la duración es diferente, ya que depende de la resistencia al dolor de cada uno.

### 2.3 Procesamiento de la señal.

De los 14 canales de los que se adquiere la señal, se toman los de la región frontal y línea media como se muestra en la *Imagen 1.*, excluyendo los de la región occipital, dado que se va a estudiar, la zona somatosensorial y motora.



*Imagen 1: Canales de trabajo.*

A cada uno de los canales seleccionados, se les realizó una remoción de ruido utilizando la transformada wavelet discreta; sin embargo, el ruido no es tan significativo dado que la señal se transmite del dispositivo al computador de manera inalámbrica. Adicional a esta remoción, para los canales AF3 y AF4 al estar ubicados tan cerca de los ojos, se les hizo una remoción de parpadeos, que se presentan generalmente en frecuencias bajas. Para ello, se realizó una descomposición wavelet discreta en 5 niveles, usando la wavelet Symlet y una posterior reconstrucción, pero eliminando el nivel 4 correspondiente al rango de frecuencias de entre 11.25Hz y 22.5Hz.

Una vez obtenida la señal libre de artefactos, con el uso de filtros FIR, se dejaron las señales de cada canal en sus ondas características theta (4Hz-8Hz), alfa(8Hz-12Hz), beta(12Hz-30Hz) y gamma(30Hz-64Hz). Cabe recalcar que la onda gamma va hasta frecuencias de 128Hz, pero al tener una frecuencia de muestro de 128Hz del dispositivo, solo se pueden trabajar componentes hasta de 64Hz, por el teorema de Nyquist.



Al tener la señal de cada canal descompuesta en bandas, se tomó por cada una el segmento de la línea base y el segmento correspondiente a la ventana donde se presenta el valor de dolor más alto según la escala EVA.

A cada segmento se calcula el valor RMS y se haya la diferencia interhemisférica usando las señales provenientes de canales complementarios (AF3-AF4, F3-F3, F7-F8, FC5-FC6, T7-T8). Esta diferencia se calculó para ambos momentos para hacer una comparación entre la diferencia interhemisférica de línea base contra la del estímulo.

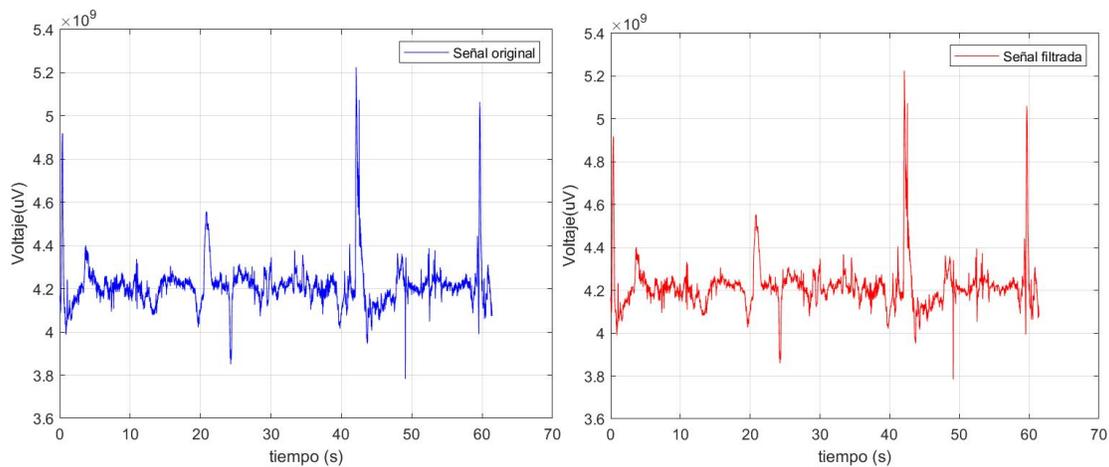
### 3. Resultados

#### 3.1 Dolor percibido y escala EVA.

Al momento de la toma de la señal, dos de los participantes interrumpieron la toma sin haber ingresado el valor máximo de la escala EVA; sin embargo, la ventana de trabajo tomada en estos casos fue desde el último nivel guardado, ya que a pesar de no se el mayor de la escala es la ventana de tiempo en que se presenta el estímulo de manera más fuerte. En el caso de estos dos sujetos el valor máximo no fue de 6 sino de 4. A pesar de ello, el manejo de la señal fue exactamente igual.

#### 3.2 Filtrado de la señal.

Se presenta un segmento de señal del Sujeto 1, previo a la remoción de artefactos con el uso de la wavelet de tiempo discreto y a su vez cuando ya se ha realizado el filtrado.



Gráfica 1: Segmento de señal del sujeto 1 antes y después del filtrado

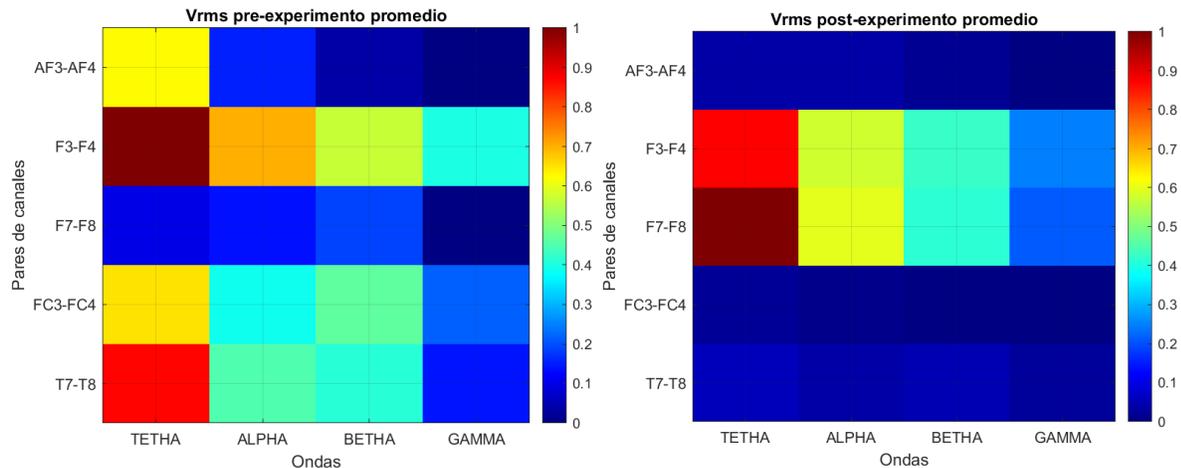
Así como se muestra en la Gráfica 1, se realizó el filtrado a la totalidad de canales de casa sujeto.

#### 3.2 Cálculo de valor RMS por bandas.

Una vez realizada la descomposición por bandas de cada una de las señales, se realizaron los respectivos cálculos de valor RMS, para encontrar las diferencias interhemisféricas. Esto realizó



tanto para el momento de línea base como para el momento de dolor máximo a causa del estímulo.

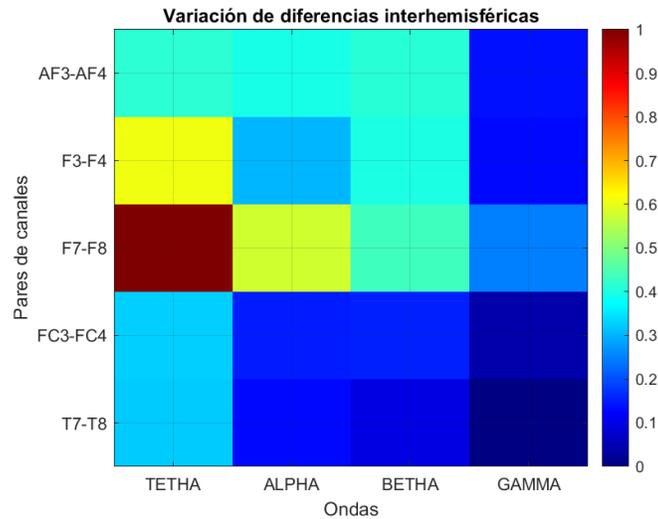


Gráfica 2: Valores RMS por banda. (escala normalizada, 1 es el mayor valor obtenido, 0 el menor).

En la Gráfica 2, se presentan los promedios poblacionales obtenidos de las diferencias interhemisféricas del RMS calculado de cada canal. Esta información se muestra para la línea base (preexperimental) y para la ventana de dolor máximo (post-experimento). En cada gráfica, las filas corresponden a cada par de electrodos complementarios, y las filas a las bandas características. Los valores se encuentran normalizados respecto a el mayor en cada uno de los casos. Es decir, que en el caso de la línea base, el valor máximo de diferencia interhemisférica corresponde a la de los canales F3-F4 en onda theta, y el menor a F7-F8 en onda gamma. De igual manera se analiza en el de mayor dolor, donde el mayor corresponde a F7-F8 en onda theta y el menor en FC3-FC4 en onda gamma.

Se evidencia, que previo al experimento, no hay un patrón marcado, ni una distribución específica, ya que los sujetos se encuentran en reposo. No hay estímulos ni se está realizando ninguna acción motora. Por otro lado, en el caso de la ventana de dolor máximo, la diferencia interhemisférica se hace más evidente en los pares de canales F3-F4 y F7-F8, siendo más marcado en el segundo par de canales. Y en ambos casos, principalmente en onda theta. Esto puede deberse, a que en cuanto a la zona somatosensorial a la que hacen referencia los electrodos allí posicionados, es precisamente la de las manos y brazos, lugar en donde se aplicó el estímulo.





Gráfica 3: Valoración de las diferencias interhemisféricas. (escala normalizada, 1 es el mayor valor obtenido, 0 el menor).

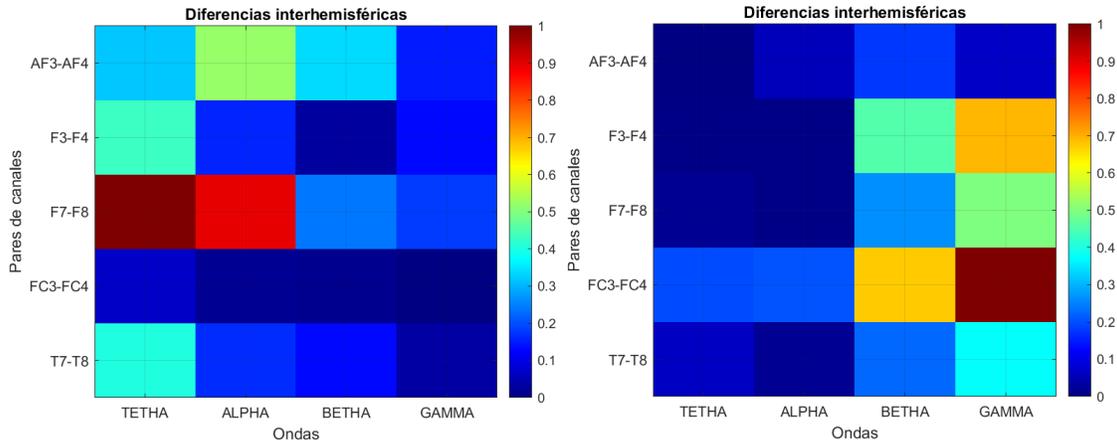
En la *Gráfica 3* se muestra la información de la variación. Es decir, los cambios que se presentan en las diferencias interhemisféricas entre la línea base y la ventana de dolor máxima. En este caso, también se normalizan los datos entre 0 y 1 con el fin de establecer de manera más sencilla las diferencias. En este caso, se evidencia que la mayor variación está en F7-F8 en onda theta, a su vez, que la variación se presenta principalmente en ondas de frecuencia baja, ya que en Alpha también se ve mayor variación; por el contrario, en las ondas gamma, la variación no es tan significativa. Es alrededor del 30% de la magnitud de la máxima.

Cabe también recalcar, que la variación es más significativa hacia los canales frontales, pues en las últimas dos filas que corresponden a los pares de canales FC3-FC4 y T7-T8, presentan un valor mucho más bajo casi en la totalidad de las ondas fundamentales. Esto puede deberse a que son canales muy lejanos a la zona somatosensorial ligada a las extremidades superiores que son las que se están viendo estimuladas.

La explicación a este tipo de comportamientos a nivel de las señales puede deberse muchos factores; sin embargo, a la hora de relacionar el proceso nociceptivo con lo obtenido, se concluye que hay relación entre el dolor y el aumento de la diferencia interhemisférica, a medida que se presenta el dolor. Al ser una diferencia interhemisférica, implica que el cambio en el valor RMS se da en uno de los dos hemisferios del cerebro, que en este caso corresponde al opuesto a la extremidad que recibe el estímulo.

Esto, debido a que los estímulos nociceptivos, generan activación tanto límbica, así como sensorial (Bastuji, *et al* 2016). Por eso, si el dolor se presenta en una extremidad, la activación se ve reflejada en el hemisferio opuesto.





Gráfica 4: Sujeto con variación en onda theta vs. sujeto con variación en onda gamma. (escala normalizada, 1 es el mayor valor obtenido, 0 el menor).

A los valores de diferencia de cada uno de los registros de los 17 participantes se aplicaron pruebas de normalidad con el fin de establecer el tipo de prueba de independencia estadística. En este caso la prueba de normalidad aplicada realizada fue la prueba Shapiro-Wilk paramétrica, tomando un Alpha de 0.05 (5%). Todos los sujetos dieron como resultado distribuciones no normales en los valores de diferencia interhemisférica.

El 76% de los participantes, tuvo la mayor variación de diferencia interhemisférica en onda theta, mientras que solo el 23% en otras ondas; lo esperado es la existencia en la variación de la onda Theta, por ejemplo, en pacientes que presentan dolor neurogénico, tienen una activación significativa en onda theta (Sarnthein, *et al.* 2008). Mientras que en los que presentan la variación en onda gamma, tienden a ser dolores subjetivos (Zhang, *et al.* 2012). En la Ilustración 5, se muestra la diferencia entre sujetos con mayor variación en onda theta y una de un sujeto con variación en onda gamma.

#### 4. Conclusión

La diferencia interhemisférica de canales complementarios, analizada en ondas fundamentales, puede ayudar a detectar el dolor. De manera que a medida que sube el dolor percibido por el sujeto, la banda theta presenta mayor valor RMS en el hemisferio relacionado. De esta manera, calculando la diferencia en línea base en un primer momento, se puede establecer que el estímulo nociceptivo se está percibiendo a medida que la diferencia crece, de la misma manera si el estímulo está generando una activación mayor la diferencia crece de igual manera.

El manejo del EEG en banda theta, ayuda a que la adquisición de la señal sea más sencilla, ya que al estar presente entre los 4Hz y los 8Hz corresponde a una frecuencia baja por tanto requiere baja frecuencia de muestro. Gracias a esto los sistemas de adquisición de señales no requieren una frecuencia de muestreo muy elevada lo que puede facilitar el proceso de adquisición, transporte y almacenamiento de la señal. Por otro lado, el análisis cuantitativo de EEG puede permitir estudiar la nocicepción de manera objetiva e independiente de la percepción del dolor del sujeto.



## 5. Referencias

### Artículos de revistas

- Albu S, Meagher M W (2019) Divergent effects of conditioned pain modulation on subjective pain and nociceptive-related brain activity. Springer.
- Jensen M P, Hakimian S, Sherlin L H and Fregni F. (2008). New Insights Into Neuromodulatory Approaches for the Treatment of Pain. The Journal of Pain Vol 9. Pp 193-199.
- Lee M C, Mouraux A and Iannetti (2009) Characterizing the Cortical Activity through Which Pain Emerges from Nociception. The Journal of Neuroscience. Vol 29(24) pp.7909-7916.
- Ploner M, Sorg C, and Gross J. (2017) Brain Rhythms of Pain. Cellpress, Trends in cognitive sciences. Vol 21.
- Ripanpitak K, He S, Sönmezisik I, Morant T, Huang S Y, Yu W. (2021) Granger Causality-Based Pain Classification Using EEG Evoked by Electrical Stimulation Targeting Nociceptive A and C Fibers. IEEE Access.
- Sarnthein J and Jeanmonod D (2008). High thalamocortical theta coherence in patients with neurogenic pain. Elsevier NeuroImage, Vol. 39, pp. 446-462.
- Torta M E, Legrain V, Algoet M, Olivier E, Duque J and Mouraux A. (2013). Theta Burst Stimulation Applied over Primary Motor and Somatosensory Cortices Produces Analgesia Unrelated to the Changes in Nociceptive Event-Related Potentials. Plos One Vol 8.
- Valentini E, Betti V, Hu L and Aglioti S M (2019). Hypnotic modulation of pain perception and of brain activity triggered by nociceptive laser stimuli. Cortex Vol 49.
- Youssef AM, Macefield V, and Henderson L (2016). Cortical Influences on Brainstem Circuitry Responsible for Conditioned Pain Modulation in Humans. Human Brain Mapping, Vol 37, pp. 2630–2644
- Zhang Z G, Hu L, Hung Y S, Mouraux A, and Iannetti G D (2012) Gamma-Band Oscillations in the Primary Somatosensory Cortex—A Direct and Obligatory Correlate of Subjective Pain Intensity. The Journal of Neuroscience. Vol 32(22) pp. 7429 –7438.

### Libros

- Purves D, Augustine G, Fitzpatrick D, Hall W, LaMantia A. y White L. (1997) Neuroscience. 5ta edición. pp. 29 - 127.

### Sobre los autores

- **Mateo Hueza Echeverri:** Estudiante de noveno semestre de Ingeniería Biomédica, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito – Universidad del Rosario. [mateo.hueza@mail.escuelaing.edu.co](mailto:mateo.hueza@mail.escuelaing.edu.co)
- **Juan Manuel López López,** PhD: Doctor en Ingeniería, Máster en Ingeniería, Área: Electrónica y de computadores. Ingeniero Electrónico. Actualmente es Profesor Asistente del Programa de Ingeniería Biomédica de la Escuela Colombiana de Ingeniería y de la Universidad del Rosario. [juan.lopezl@escuelaing.edu.co](mailto:juan.lopezl@escuelaing.edu.co)



Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

