



ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE EEG EN UN CONTEXTO DE EMOCIONES INDUCIDAS

Juan Pablo Corvacho Hernández^{1, 2}, Michael Stiven Ramírez Campos^{1, 2}, Laura Daniela Serrano Andrade^{1, 2}, Juan Manuel López López¹

¹Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, ²Universidad del Rosario

Resumen

Aunque no hay un consenso científico sobre la definición de las emociones, estas se pueden entender como las respuestas psicofisiológicas a un estímulo interno o externo, donde se dan un grupo de interacciones entre factores objetivos y subjetivos que son manejados por sistemas hormonales y neuronales. Esto puede conducir a comportamientos que en algunos casos son expresivos. Ahora, como el sistema neuronal se ve inmerso en la regulación de estas, algunas de las regiones directamente relacionadas son; la corteza cingulada anterior subgenual con depresión y rumia, las cortezas orbitofrontal y cingulada con procesamiento de recompensa. Incluso, otras zonas como las cortezas sensoriales primarias se pueden ver afectadas indirectamente. Teniendo en cuenta estas zonas de actividad cerebral, es posible hacer uso del EEG para un estudio profundo del comportamiento de estas bajo situaciones emocionales.

En este contexto, el presente artículo propone integrar una serie de técnicas de procesamiento digital de señales, aplicadas a EEG. Para esto se hace uso de la base de datos DEAP, la cual consta de 32 registros, donde cada uno de estos cuenta con 48 canales. Dichos registros contienen la grabación del antes, durante y después de la inducción de un estado emocional.

El procesamiento y extracción de características de dichas señales se planteó a partir de un análisis por ventanas de tiempo de 5 segundos. Posteriormente se calcularon parámetros no lineales como la entropía, la complejidad y la movilidad (parámetros de Hjörth), que permiten caracterizar la señal. Ahora bien, la integración de los parámetros planteados permitió definir cuantitativamente cuándo ocurre la inducción de una emoción y cómo evoluciona su respuesta en EEG, teniendo en cuenta una línea base (estado neutral), un instante de presentación de estímulo y finalmente la manifestación fisiológica de la emoción.

Se considera que la metodología planteada en el presente artículo es novedosa, en tanto a que propone un análisis de la evolución de las características del EEG en el contexto de la inducción de emociones.

Así mismo, se pudo determinar que los métodos aquí descritos pueden constituir una herramienta viable para ser usada en el desarrollo de estudios que involucren procesos emocionales. Se pretende a futuro llevar a cabo un protocolo experimental que permita determinar las transiciones fisiológicas, cuando hay inducción de emociones, en una muestra más amplia.

Palabras clave: EEG; emociones; procesamiento digital de señales

Abstract

Although there is no scientific consensus on the definition of emotions, they can be understood as psychophysiological responses to an internal or external stimulus, where there is a group of interactions between objective and subjective factors that are managed by hormonal and neural systems. This can lead to behaviors that in some cases are expressive. Now, as the neural system is immersed in the regulation of these, some of the regions directly related are; the subgenual anterior cingulate cortex with depression and rumination, the orbitofrontal and cingulate cortex with reward processing. Taking into account these areas of brain activity, it is possible to make use of EEG for an in-depth study of their behavior under emotional situations.

In this context, this article proposes to integrate a series of digital signal processing techniques applied to EEG, using the DEAP database, which consists of 32 records, each of which has 32 channels. These records contain EEG signals before, during and after the induction of an emotional state.

The processing and feature extraction of these signals was based on a 5-second time window analysis. Subsequently, nonlinear parameters such as entropy, complexity and mobility (Hjörth parameters) were calculated to characterize the signal. However, the integration of the proposed parameters made it possible to quantitatively define when the induction of an emotion occurs and how its EEG response evolves, taking into account a baseline (neutral state), an instant of stimulus presentation and finally the physiological manifestation of the emotion.

It is considered that the methodology proposed in this article is novel, since it proposes an analysis of the evolution of EEG characteristics in the context of emotion induction.

Likewise, it was determined that the methods described here can constitute a viable tool to be used in the development of studies involving emotional processes. In the future, it is intended to carry out an experimental protocol that allows determining the physiological transitions, when emotions are induced, in a larger sample.

Keywords: EEG; emotions; digital signal processing



1. Introducción

Desde siempre las emociones han representado una parte importante en la vida y actuar de los seres humanos. A lo largo de la historia se ha buscado llegar a un consenso sobre su definición, Aristóteles y Descartes trataron de dar una definición a estas, ubicándolas en un espacio entre los estímulos y las respuestas. Ahora bien, en el año 1981 Paul R. Kleinginna y Anne M. Kleinginna realizan un estudio donde recogen 92 definiciones propuestas para lograr definir las emociones, la conclusión a la que se llegó fue que estas son un conjunto de interacciones entre factores objetivos y subjetivos que son regulados por sistemas neuronales y hormonales; estas pueden desembocar en experiencias afectivas con efectos que son emocionalmente relevantes y que conducen a comportamientos expresivos que permiten al sujeto orientarse a una meta y adaptarse. (Bonilla, 2019) Es importante resaltar además que estas también juegan un papel crucial, en términos de supervivencia. Pues cuando se da un estímulo, se prepara el cuerpo para responder de la forma más adecuada y afrontar la vida intentando al máximo preservar la propia existencia. (Arango, 2006)

Como anteriormente se dijo, el sistema neuronal está directamente involucrado con el manejo de las emociones, pues a lo largo del tiempo se ha logrado evidenciar cómo regiones del mismo presentan actividad en presencia de emociones. Zonas del cerebro tales como: la corteza cingulada anterior subgenual con depresión y rumia, las cortezas orbitofrontal y cingulada con procesamiento de recompensa. Además, hay regiones que debido a factores sinápticos rápidos y / o neuromoduladores lentos como: la dopamina, serotonina, acetilcolina, etc, se ven indirectamente relacionados y tienen una actividad diferenciada en el EEG durante estados emocionales (Konar, Chakraborty, 2015).

Ahora, algunos estudios que han ampliado la literatura frente al comportamiento de las señales de EEG con las emociones, han indicado que los cambios de potencia en el rango de frecuencia gamma, es decir 30-60 Hz, muestran una alta precisión en la detección de la variación de estados emocionales, aun así, las bandas de baja frecuencia como Theta y Alpha, es decir de 4-12 Hz, también han sido útiles para observar cambios de humor naturales, emociones inducidas por la música, entre otros. (Konar, Chakraborty, 2015)

El presente estudio se fundamenta en la hipótesis de que, basados en características no lineales de las secuencias temporales como la entropía de Shannon, parámetros de Hjörth, entre otros, es posible identificar variaciones en la señal de EEG que estén asociados con el momento en que comienza la inducción de una emoción. Este trabajo está enfocado en establecer relaciones, basadas en un contexto de emociones inducidas, entre las características de estudio, regiones del cerebro e instantes de tiempo.

Finalmente, la mayoría de estudios en torno a emociones se concentran en determinar criterios cuantitativos, que permitan diferenciar emociones entre sí y clasificarlas, pero es muy poca la información que existe, respecto a determinar el momento en que ocurre la inducción de una emoción. De esta manera, se pretende hacer uso de diferentes definiciones, como las mencionadas anteriormente y algunos principios de análisis fundamentados en el estudio por hemisferios del cerebro, como los planteados en (Konar, Chakraborty, 2015), y ciertas propiedades de la señal



de EEG. Al integrar este conjunto de parámetros con criterios de estudio propios de los investigadores, se espera conseguir resultados que den solución a la problemática planteada.

2. Métodos y materiales

En el desarrollo de este proyecto, se utilizó la base de datos DEAP descrita en (Sander, 2012), la cual consta de 32 registros de EEG, de 48 canales cada uno. Dichos registros contienen la grabación del antes, durante y después de la inducción de un estado emocional. Esta inducción se obtiene exponiendo al participante a estímulos audiovisuales (videos musicales), clasificados con respecto a su nivel de valencia, activación y dominancia, según el modelo emocional de Russel.

Una vez obtenidos los datos, se procede a eliminar 16 canales que contienen información de electrooculografía (EOG), electromiografía (EMG), electrocardiografía (ECG), respuesta galvánica de la piel (GSR), temperatura y un canal de estados donde se registra la información del experimento, para dejar los 32 canales referentes a EEG.

Los registros están conformados por señales continuas de más de una hora de grabación, donde se pueden encontrar los cambios generados en la señal de EEG, ante cada uno de los 40 estímulos que se aplican durante el experimento. A partir de esto, se procede a dividir las señales continuas en 40 ventanas de tal manera que se pueda trabajar de forma independiente con la señal de EEG asociada a cada estímulo. Estas ventanas cuentan con una duración de 75 segundos cada una, donde los primeros 15 segundos son de línea base y los 60 segundos posteriores pertenecen a la aplicación del estímulo audiovisual.

El registro de las señales de EEG se realizó a una frecuencia de muestreo de 512 Hz, sin embargo, para facilitar el manejo de los datos y, dado que las frecuencias de interés (1-45 Hz) son inferiores a dicha frecuencia, se planteó y desarrolló un proceso de submuestreo a 128 Hz.

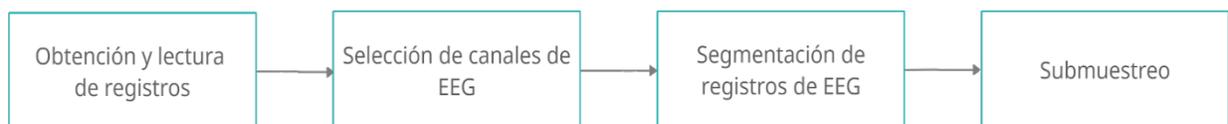


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de homogeneización de los datos.

Luego, se llevó a cabo un preprocesamiento de las señales de EEG para eliminar el ruido presente en estas. Se utilizaron dos filtros IIR, con atenuación de 60 dB en la banda de rechazo y 1 dB de ripple en la banda de paso. Primero se aplicó un filtro pasa bajas de orden 5, con frecuencia de corte a 45 Hz, seguido de un pasa altas a 1 Hz de orden 4. A su vez, para los canales frontales se aplicó un filtro notch a 10 Hz, dado que estos presentaban artefactos del movimiento ocular (Najarian, Splinter, 2012).

Dado que el presente estudio busca determinar el momento en que una emoción es inducida, a través de estímulos audiovisuales, se decidió trabajar con los canales **Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2**, principalmente por los tres componentes que se involucran en la inducción de



la emoción. El lóbulo occipital del cerebro se encarga del procesamiento primario de estímulos visuales y los lóbulos frontales están asociados con las respuestas emocionales. De igual manera, se consideraron pares de canales de ambos hemisferios (izquierdo y derecho). El criterio para la selección de dichos canales se fundamenta en el índice de asimetría. Este índice afirma que según la valencia de la emoción (positiva o negativa), se presenta una mayor actividad neuronal en hemisferio derecho para emociones de valencia negativa, en tanto que el hemisferio izquierdo se asocia a emociones de valencia positiva (Konar, Chakraborty, 2015).

Con base en los datos preprocesados, se calcularon características no lineales de la señal. La primera característica calculada fue la Entropía de Shannon. Para esto, se utilizó la ecuación (1), donde p_i corresponde a la probabilidad de que suceda un determinado evento x_i . En este estudio en particular, se obtuvo el histograma de la señal de EEG, con un número de bins de 97. El histograma se normalizó dividiéndolo entre el total de muestras de la señal, obteniendo una aproximación de la probabilidad de ocurrencia p_i , para cada rango de voltaje en el EEG. Finalmente, se hace uso de la ecuación (1), para calcular la entropía de la señal.

$$H(x) = \sum_{i=0}^{N-1} p_i \log\left(\frac{1}{p_i}\right) \quad (1)$$

Además de la entropía, también se calcularon los parámetros de Hjörth, ya que estos permiten extraer información relevante de EEG (Albaladejo, 2013). En este caso se calculó la movilidad y la complejidad de la señal, cabe resaltar que no se calculó la actividad, ya que esta hace referencia a la varianza de la señal, por lo tanto, se descartó. El principio matemático de estas características se observa en las ecuaciones (2) y (3), donde el término var corresponde a la varianza de la variable en cuestión, y es la señal para analizar y , y' hace referencia a la primera derivada de la señal.

$$\text{Movilidad} = \sqrt{\frac{\text{var}(y'(t))}{\text{var}(y(t))}} \quad (2)$$

$$\text{Complejidad} = \frac{\text{Movilidad}(y'(t))}{\text{Movilidad}(y(t))} \quad (3)$$

Con el propósito de identificar si hay relación entre el inicio del estímulo y la emoción que se busca inducir, se decidió trabajar únicamente con aquellos videos musicales que estuvieran etiquetados según la información de la base de datos, por lo cual se obtuvieron 17 canciones, cómo se puede observar en la Tabla 1.

Canción	Etiqueta	Valencia (Promedio)	Activación (Promedio)	Dominancia (Promedio)
1	fun	6.86	5.86	6.00
2	exciting	5.93	6.93	5.50
3	joy	6.93	6.47	5.80
11	happy	7.14	4.86	5.21
12	cheerful	5.93	3.36	4.93
13	love	6.57	4.21	5.43
14	happy	7.07	4.73	5.33
15	lovely	6.47	4.00	4.93



16	sentimental	5.13	2.40	4.47
22	sentimental	4.20	3.73	3.93
23	melancholy	3.33	4.47	3.20
24	sad	3.33	2.93	4.67
25	depressing	4.20	3.60	4.60
26	mellow	4.20	3.00	3.33
31	terrible	3.67	5.47	4.60
32	shock	4.67	6.40	4.93
33	Hate	3.93	6.13	5.53

Tabla 1. Canciones analizadas de la base de datos DEAP con la correspondiente emoción a inducir y sus valores promedio de valencia, activación y dominancia.

Con los registros ya segmentados en ventanas de 5 segundos, se procedió a extraer las características descritas anteriormente, las cuales se calcularon para cada una de las ventanas. Considerando que la línea base tiene una duración de 15 segundos se decidió dividir los datos obtenidos en 5 partes iguales, compuesto por línea base, momento 1 (inicio del estímulo hasta el segundo 14), momento 2 (desde el segundo 15 hasta el segundo 29), momento 3 (desde el segundo 30 hasta el segundo 44) y momento 4 (desde el segundo 45 hasta el fin del estímulo), con la finalidad de comparar el comportamiento de las características de la línea base, con los diferentes intervalos de tiempo en los que se presenta el estímulo.

Se realizó un análisis estadístico inferencial, con el propósito de poder llevar a cabo un análisis de los datos en general, y para relacionar los comportamientos de las características respecto a los canales de interés para el estudio. Inicialmente, se aplicó la prueba Shapiro-Francia para poder establecer el tipo de distribución estadística que poseían los datos. Con los resultados de la prueba, se determinó que los datos no presentaban una distribución normal, por lo tanto, con el fin de poder evidenciar si existía una diferencia estadísticamente significativa entre los datos, se hizo uso de la prueba Mann Whitney para datos no paramétricos.



Figura 2. Diagrama de flujo del esquema general de trabajo.

3. Resultados

A partir de los datos obtenidos y de las pruebas estadísticas realizadas, se lograron obtener los p-valores que se calcularon a partir de la prueba estadística Mann-Whitney (tabla 2), donde la hipótesis nula será rechazada en caso de obtener un p-valor inferior a 0.05. Esta prueba fue



aplicada a la comparación entre la línea base y los intervalos de tiempo en los que se presenta el estímulo.

Canal	Entropía				Complejidad				Movilidad			
	Lb vs m1	Lb vs m2	Lb vs m3	Lb vs m4	Lb vs m1	Lb vs m2	Lb vs m3	Lb vs m4	Lb vs m1	Lb vs m2	Lb vs m3	Lb vs m4
Fp1	0	0	0,003	0	0	0	0,140	0	0	0	0,054	0
Fp2	0	0	0,007	0	0	0	0,151	0	0	0	0,082	0
F3	0	0	0,008	0	0	0	0,246	0	0	0	0,056	0
F4	0	0	0,006	0	0	0	0,893	0	0	0	0,046	0
C3	0	0	0,008	0	0	0	0,606	0	0	0	0,044	0
C4	0	0	0,004	0	0	0	0,588	0	0	0	0,043	0
P3	0	0	0,007	0	0	0	0,866	0	0	0	0,056	0
P4	0	0	0,011	0	0	0	0,926	0	0	0	0,043	0
O3	0	0	0,003	0	0	0	0,080	0	0	0,002	0,040	0
O4	0	0	0,003	0	0	0	0,101	0	0	0,003	0,046	0

Tabla 2. P-values obtenidos al aplicar la prueba Mann-Whitney, a la comparación entre la línea base(Lb) y los intervalos de tiempo(m1, m2, m3 y m4) donde se presenta el estímulo.

De igual forma, se obtuvieron los p-values para la aplicación de la prueba Mann-Whitney a los pares de canales que pertenecen a la misma zona cerebral en el hemisferio contrario (tabla 3), con respecto a las características obtenidas para cada uno.

Canales Fp			Canales F			Canales C			Canales P			Canales O		
Com p	Entr o	Mov	Com p	Entr o	Mov	Com p	Entr o	Mov	Com p	Entr o	Mov	Com p	Entr o	Mov
0,763	0,798	0,990	0	0,001	0	0	0,688	0,094	0,598	0,827	0,728	0,942	0,861	0,391
0,771	0,962	0,952	0	0,112	0	0	0,610	0,640	0,806	0,911	0,966	0,700	0,787	0,613
0,999	0,950	0,924	0,001	0,313	0	0,186	0,123	0,624	0,782	0,840	0,718	0,826	0,993	0,361
0,801	0,969	0,887	0	0,012	0	0	0,591	0,101	0,542	0,912	0,836	0,848	0,878	0,437
0,724	0,908	0,796	0,002	0,335	0,008	0,010	0,642	0,179	0,535	0,819	0,908	0,925	0,940	0,535

Tabla 3. P-value de la comparación entre los pares de canales. Entró (entropía), comp (complejidad), mov (movilidad).

4. Discusión de resultados

Teniendo en cuenta, los resultados registrados en la tabla 2, es posible afirmar que respecto a un análisis general, donde se comparan los intervalos que involucran la presencia de un estímulo, con la línea base, los parámetros de Hjörth proporcionan información que puede resultar valiosa, al momento de determinar en qué intervalo específico, durante la aplicación del estímulo, empiezan a variar las características temporales de EEG con respecto a la línea base en un contexto de inducción de emociones. En el presente estudio, la complejidad fue el parámetro que mayor



información aportó acerca del comportamiento general de EEG, enfocado a identificar el momento en que se induce una emoción. Para la columna de complejidad de la tabla 2, se evidencia que entre el momento 2(m2) y el momento 3(m3), el p-value aumenta para todos los canales, lo que significa que se reduce la diferencia estadística entre la línea base y dichos momentos en cuanto al valor de complejidad. Estos cambios pueden deberse a que la señal tiende a cambiar su comportamiento a lo largo de la aplicación del estímulo, ya que, en momentos específicos durante el estímulo, dicho comportamiento difiere significativamente en magnitud con respecto a otros momentos, y es posible que en dichos cambios se presente la inducción de la emoción.

Por otro lado, la movilidad a pesar de haber arrojado resultados similares a los de complejidad, en cuanto a los intervalos donde se presentan diferencias estadísticamente significativas, difiere en ciertos aspectos, pues presenta el mismo cambio en el mismo intervalo de tiempo, sin embargo, aporta información más específica respecto al comportamiento de algunos canales, donde solamente Fp1, Fp2, F3 y P3, presentan el mismo comportamiento que mostraron respecto a la complejidad. Esto permite establecer una relación más precisa, sobre los canales que contienen información relevante acerca de los cambios asociados a la inducción de una emoción en el EEG, en cuanto a los parámetros de Hjörth analizados en este estudio. Por su parte, la entropía no aportó información relevante para el presente estudio, puesto que, siempre presentó un comportamiento constante, sin embargo, no se descarta que pueda ser una herramienta valiosa para este análisis, pues, la entropía presentada a lo largo del estímulo, presentó una diferencia estadísticamente significativa respecto a la entropía de la línea base.

De igual manera, se planteó un análisis estadístico entre canales contiguos de hemisferios opuestos. Para las 3 características de estudio, se realizó la prueba de Mann-Whitney por las siguientes parejas de canales: Fp1-Fp2, F3-F4, O1-O2, P3-P4, C3-C4. Con base en los resultados de la tabla 3, se puede observar que para los canales Fp, O y P, la prueba estadística evidencia que no existe diferencia significativa entre los datos. Con base en esto se afirma que, para determinar el momento de inducción de una emoción, realizar un análisis de la señal de EEG, a partir de estos canales de hemisferios contrarios y contiguos, no aporta información que esté significativamente relacionada con la inducción de la emoción. Lo anterior permite contradecir la hipótesis inicial de generalizar, para canales diferentes a los frontales, el comportamiento asimétrico del cerebro respecto a emociones inducidas, y la posibilidad de obtener información respecto a cambios relacionados con inducción. A pesar de esto, vale la pena resaltar el hecho de que para los canales frontales y centrales se evidencian diferencias estadísticamente significativas al realizar la prueba estadística entre pares contiguos. Lo anterior confirma, para el caso de canales frontales, el comportamiento descrito para el índice de Asimetría, y a su vez también aporta nueva información relacionada con los canales centrales y dicho comportamiento asimétrico. Con base en esto, los autores consideran que estudiar el EEG a partir de un análisis de canales pares (frontales y centrales), puede aportar información importante sobre los cambios que se generan en la señal al inducir una emoción.

5. Conclusiones

Se pudo establecer que realizar un análisis global, donde se comparen los diferentes intervalos de tiempo en los cuales se lleva a cabo el estímulo, con la línea base puede aportar información



relevante respecto a la inducción de una emoción, tomando como características los parámetros de Hjörth. Por otro lado, trabajar con todos los canales seleccionados, a partir de los resultados obtenidos del análisis de los parámetros de Hjörth, basados en la asimetría frontal del cerebro, resultó ser una metodología acertada, dado que se pudo comprobar que los canales frontales presentan una relación de actividad neuronal asimétrica, como se plantea con el índice de asimetría para emociones. Además de esto se generó nueva información que relaciona el comportamiento de los canales centrales para llevar a cabo un análisis por parejas de canales (frontales y centrales) basados en el índice de asimetría.

Se logró identificar el efecto de inducir emociones en el comportamiento de la señal de EEG, puesto que las características de estudio calculadas durante los momentos en los cuales se presentaba el estímulo reflejaron en su mayoría un comportamiento que se asocia con la inducción de la emoción, lo cual se sustentó a partir de las pruebas estadísticas llevadas a cabo. Dichas características mostraron diferencias estadísticamente significativas, con respecto a las mismas características calculadas para la línea base. Es así, como se logra establecer que la inducción de una emoción genera cambios cuantificables en el comportamiento de EEG.

Con el fin de obtener un mayor número de parámetros, que permitan caracterizar cuantitativamente la inducción de una emoción a partir de la señal de EEG y basados en los resultados obtenidos, se recomienda integrar al estudio un mayor número de canales, principalmente aquellos que estén relacionados con funciones auditivas, buscando apoyar el análisis que se puede establecer con los canales occipitales (procesamiento de estímulos visuales).

Con base a lo explicado en esta sección, se propone como trabajo futuro desarrollar un protocolo experimental que permita determinar las transiciones fisiológicas, cuando hay inducción de emociones. En una muestra más amplia y a partir de los resultados que se obtengan, proponer un conjunto más amplio de características que apoyen el diseño de un algoritmo capaz de identificar el intervalo de tiempo, en el cual se induce una emoción durante un estímulo.

6. Referencias

Artículos de revista

- Arango, C. I. (2006). EL CEREBRO EMOCIONAL. LAS EMOCIONES COMO ESTRATEGIA DE SUPERVIVENCIA. *Poiésis*(11). doi:<https://doi.org/10.21501/16920945.419>
- Bonilla, J. (2019). *Detección automática de emociones mediante el análisis del electroencefalograma*. Sevilla.
- Sander Koelstra, C. M.-S. (s.f.). *DEAP: A Database for Emotion Analysis using Physiological Signals*. IEEE TRANS. AFFECTIVE COMPUTING.

Libros

- Konar, A. Chakraborty, A. (2015). *Emotion recognition, A pattern analysis approach*. Hoboken, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.



- Najarian K, Splinter R.. (2012). Biomedical Signal and image processing (2 ed.). Taylor & Francis Group, LLC.

Trabajos de tesis

- Albaladejo, F. J. (2013). EVALUACIÓN DE TÉCNICAS COMPUTACIONALES PARA EL ANÁLISIS LINEAL DE SEÑALES ELECTROENCEFALOGRÁFICAS. Cartagena de Indias. Obtenido de <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3871/1/tpfd30.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tenesaca, J. N. (s.f.). Detección de actividad física en señales cerebrales. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Obtenido de http://oa.upm.es/55990/1/TGM_JESSICA_NATHALY_CORREA_TENESACA.pdf

7. Sobre los autores

- **Juan Pablo Hernández Corvacho:** Estudiante de Ingeniería Biomédica. Integrante del Semillero de Investigación en Procesamiento de Imágenes y Señales PROMISE. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito -Universidad del Rosario. juan.hernandez-cor@mail.escuelaing.edu.co.
- **Laura Daniela Serrano Andrade:** Estudiante de Ingeniería Biomédica. Integrante del semillero de Investigación Synergia. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito - Universidad del Rosario. laura.serrano-a@mail.escuelaing.edu.co.
- **Michael Stiven Ramírez Campos:** Estudiante de Ingeniería Biomédica. Integrante del Semillero de Investigación en Procesamiento de Imágenes y Señales PROMISE. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito -Universidad del Rosario. michael.ramirez@mail.escuelaing.edu.co.
- **Juan Manuel López López:** Ing. Electrónico, Magister en Ingeniería. Área: Electrónica y de Computadores, Doctor en Ingeniería, Profesor Asistente del Programa de Ingeniería Biomédica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. 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)

