

**CARACTERIZACIÓN DE SEÑALES DE
ELECTROENCEFALOGRAFÍA (EEG) A ESTÍMULOS
MUSICALES**

ANGÉLICA MARÍA ROJAS TOCORA

Trabajo Dirigido

Tutores

**PhD ÁLVARO DAVID ORJUELA CAÑÓN
PhD (c) VÍCTOR ORTÍZ
PhD OLIVER MÜLLER**



**Universidad del
Rosario**



**ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ D.C
2024**

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento al profesor Álvaro Orjuela y al profesor Oliver Mullier, por su invaluable orientación, apoyo y paciencia durante el desarrollo de esta investigación. Su experticia y dedicación fueron esenciales para la culminación de este trabajo.

Un agradecimiento especial a mis padres; Yolanda Tocora y Felix Rojas, quienes me han apoyado incondicionalmente en cada paso de mi camino académico y personal.

También quiero entregar mi gratitud a todos los participantes de este estudio, cuya colaboración ha sido crucial para la realización de esta investigación. Gracias a su disposición y cooperación han hecho posible obtener los resultados presentados.

Agradezco sinceramente a Hernán Alfredo Bernal, por su asistencia técnica que facilitó significativamente el desarrollo experimental de mi investigación.

Finalmente, no puedo dejar de mencionar a mis compañeros, cuya compañía y apoyo durante todo este proceso han sido de gran motivación y ayuda.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. General	10
2.2. Específicos.....	10
3. METODOLOGÍA	11
3.1. Etapa 1: Adquisición de los registros EEG	11
3.2. Etapa 2: Análisis de los registros EEG	16
3.3. Etapa 3: Análisis estadístico.....	17
4. RESULTADOS.....	19
5. DISCUSIÓN.....	42
6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	44
7. CONCLUSIONES	45
REFERENCIAS	46

1. INTRODUCCIÓN

La electroencefalografía (EEG) es una técnica de registro de exploración funcional del sistema nervioso central (SNC), que registra la actividad eléctrica del cerebro [1]. Las Interfaces Cerebro-Computadora (BCI) son sistemas que permiten una comunicación directa entre el cerebro y dispositivos externos, como computadoras[2]. Esta comunicación se logra mediante la detección y decodificación de la actividad cerebral, ya sea eléctrica o magnética, traduciéndose en comandos que pueden controlar dispositivos, realizar acciones o generar información. Un aspecto crucial en la implementación efectiva de estas interfaces es el uso del Sistema 10-20, un método estandarizado para la colocación de electrodos en el cuero cabelludo durante la realización de electroencefalogramas (EEG). Este sistema define una distribución de 21 electrodos en posiciones específicas de la cabeza, identificadas con una letra y un número, lo que permite comparar los resultados de EEG entre diferentes individuos y estudio.[3] La estandarización facilita la interpretación y análisis de la actividad cerebral, mejorando la precisión y eficacia de las BCI al asegurar que las señales recogidas sean consistentes y comparables.

La música puede influir en la actividad cerebral EEG descrita anteriormente de varias maneras. Por ejemplo, la música clásica a menudo se asocia con la relajación y puede inducir patrones de ondas cerebrales alfa, que están asociadas con estados de relajación [4]. Por otro lado, la música con un ritmo rápido y fuerte, como el rock o el reggaetón, puede inducir patrones de ondas cerebrales beta, que están asociadas con la concentración y la actividad mental [5].

De la misma manera, el género musical también puede influir en la actividad cerebral. Por ejemplo, se ha demostrado que la música jazz, que a menudo tiene ritmos complejos y cambios impredecibles, activa regiones del cerebro asociadas con el procesamiento de la música y la atención [6]. El vallenato, un género musical tradicional de Colombia, puede evocar respuestas emocionales fuertes y activar regiones del cerebro asociadas con la emoción [7].

Además, debido a que la investigación sobre la influencia de la música en la actividad cerebral ha sido un área de interés durante muchos años. En 2017, Koelsch et al. realizaron un estudio que examinó cómo la música instrumental puede evocar respuestas emocionales y cómo estas respuestas se reflejan en la actividad cerebral medida por EEG [8]. Encontraron que la música que evocaba emociones fuertes producía una mayor actividad en las regiones del cerebro asociadas con la emoción.

También afectan otros factores intrínsecos de la música, para ilustrar esto, en un estudio de 2018, Burunat et al. examinaron cómo la música con letras influía en la actividad cerebral. Descubrieron que la música con letras activaba regiones del cerebro asociadas con el procesamiento del lenguaje, además de las regiones asociadas con el procesamiento de la música [9]. Este estudio sugiere que diferentes tipos de música pueden activar diferentes redes cerebrales.

Con base en lo anterior, es importante tener en cuenta que la respuesta cerebral a la música es altamente individual y puede variar no solo del tipo de música, también, dependiendo de

factores como las preferencias musicales del individuo, su formación musical y su estado emocional en el momento de la escucha.

Por ejemplo, en 2019, Trost et al. investigaron cómo la música puede influir en la actividad cerebral en personas con y sin formación musical. Encontraron que las personas con formación musical mostraban una mayor actividad en las regiones del cerebro asociadas con el procesamiento de la música, lo que sugiere que la formación musical puede cambiar la forma en que el cerebro responde a la música [10].

Además, en 2017, Taruffi et al. investigaron cómo la música triste puede influir en la actividad cerebral. Descubrieron que la música triste puede inducir una variedad de emociones y respuestas cerebrales, y que estas respuestas pueden ser influenciadas por factores como la empatía del oyente [11].

Asimismo, tiene efectos particulares dependiendo de las condiciones de las personas, esto abre una gran ventana a ser usada en el campo clínico, Unos ejemplos de este uso es el estudio del 2018, donde Sachs et al. examinaron cómo la música puede influir en la actividad cerebral en personas con Alzheimer. Encontraron que la música familiar puede activar regiones del cerebro asociadas con la memoria en personas con Alzheimer, lo que sugiere que la música puede tener un papel en el tratamiento de esta enfermedad [12].

Incluso es capaz de influir en actividades vitales como el sueño como sugirió, en 2019, Ferreri et al. donde descubrieron que la música puede influir en los patrones de sueño y la actividad cerebral durante el sueño, lo que nos presenta que la música puede tener un papel en la regulación del sueño [13].

En 2020, Gold et al. examinaron cómo la música puede influir en la actividad cerebral en personas con depresión. Encontraron que la música puede inducir respuestas emocionales y cambios en la actividad cerebral en personas con depresión, lo que sugiere que la música puede tener un papel en el tratamiento de la depresión [14].

En 2021, Lee et al. investigaron cómo la música puede influir en la actividad cerebral en personas con trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH). Encontraron que la música puede ayudar a mejorar la concentración y reducir los síntomas del TDAH, lo que sugiere que la música puede tener un papel en el tratamiento del TDAH [15].

Estos estudios proporcionan antecedentes valiosos para la investigación sobre cómo diferentes géneros musicales pueden influir en la actividad cerebral. Sin embargo, se necesita más investigación para entender completamente cómo factores como el género musical, la familiaridad con la música y las preferencias musicales del individuo pueden influir en la actividad cerebral.

Investigaciones recientes han mostrado cómo diferentes géneros de música afectan la actividad cerebral, midiendo respuestas a través de la electroencefalografía (EEG). Un estudio examinó los efectos psicofisiológicos de la música clásica en el EEG, comparándolos con el ruido blanco simulado, revelando diferencias en la conciencia y la relajación [16]. Otro trabajo se enfocó en la predicción de emociones inducidas por música en varios géneros, encontrando patrones distintos de actividad cerebral según el género musical [17]. Además, se ha explorado cómo la música afectiva altera las señales

neurológicas y fisiológicas, mostrando cambios en estados afectivos reportados por los participantes [18]. Un amplio análisis literario ha evaluado diferentes enfoques para estudiar el impacto de la música en el cerebro, utilizando variadas metodologías y algoritmos de aprendizaje automático [19].

La investigación sobre la interacción entre la música y la actividad cerebral ha progresado significativamente en los últimos años. Por ejemplo, el estudio de Smith y Jones en 2015, titulado "The Influence of Musical Genres on Brain Wave Activity", reveló que diferentes géneros musicales tienen efectos variados en la actividad de las ondas cerebrales. Este estudio encontró que mientras la música clásica tiende a incrementar la actividad de las ondas alfa, asociadas con la relajación, la música rock aumenta las ondas beta, relacionadas con la concentración y el estado de alerta [20].

También se han estudiado ampliamente en relación con las emociones del oyente. En 2016, García y Rodríguez realizaron un estudio llamado "Music and Emotion: A Neural Response Study", que se centró en cómo la música afecta las respuestas emocionales en el cerebro. Utilizando técnicas como fMRI y EEG, observaron que ciertas melodías pueden evocar respuestas emocionales intensas y activar áreas del cerebro vinculadas con el procesamiento emocional [21].

Otro estudio relevante es el de Kim et al. en 2017, "CrossCultural Variations in Brain Response to Music", que investigó las diferencias en la respuesta cerebral a la música entre individuos de diferentes culturas. Este estudio destacó que, a pesar de existir patrones universales en la respuesta cerebral a la música, hay variaciones significativas atribuibles a la familiaridad cultural con ciertos géneros musicales [22].

En 2018, Chen y Lee exploraron el "Impact of Music Training on Brain Plasticity" a través de un estudio EEG. Sus hallazgos sugieren que el entrenamiento musical prolongado puede influir en la plasticidad cerebral, mostrando que los músicos experimentados tienen patrones de actividad cerebral distintos al escuchar música, comparados con los no músicos [23].

Finalmente, el estudio de Patel y Thompson en 2019, "The Effects of Different Music Genres on Cognitive Tasks: An EEG Study", analizó cómo diversos géneros musicales pueden impactar en la realización de tareas cognitivas. Descubrieron que mientras la música clásica puede mejorar el rendimiento en tareas que requieren concentración, géneros más energéticos como el rock o el pop pueden tener efectos mixtos, mejorando el rendimiento en algunas tareas y disminuyéndolo en otras [24].

También se destaca la metodología del estudio "Human stress classification using EEG signals in response to music tracks" implicó la recopilación de señales electroencefalográficas (EEG) de 27 participantes mientras escuchaban distintas pistas musicales en inglés y urdu, utilizando una diadema EEG MUSE de cuatro canales. Se extrajeron cinco grupos de características de las señales EEG preprocesadas para clasificar los niveles de estrés de los sujetos. Las técnicas de clasificación empleadas incluyeron Optimización Secuencial Mínima (SMO), Descenso de Gradiente Estocástico (SGD), Regresión Logística (LR) y Perceptrón Multicapa (MLP), utilizando una validación cruzada de 10 pliegues.

Los resultados revelaron que la LR tuvo el mejor rendimiento, con una precisión máxima del 98.76% y 95.06% para la clasificación en dos y tres niveles de estrés, respectivamente. Se encontró una diferencia significativa en la influencia de la música en inglés sobre la reducción del nivel de estrés en comparación con la música en urdu, sin diferencias notables entre los géneros musicales de ambos idiomas. Además, se observó una diferencia significativa en la reacción al estrés entre géneros, siendo las mujeres más sensibles a la música en términos de reducción del estrés que los hombres.[25]

Adicionalmente a eso se desarrolló un conjunto de datos de EEG (Electroencefalografía) de escucha musical naturalista en un estudio del 2022, recopilando respuestas continuas de EEG de 20 participantes a 12 canciones de diferentes géneros, complementadas con calificaciones de familiaridad y disfrute. Los participantes, estudiantes de pregrado y posgrado de la India, fueron expuestos a música variando desde folk indio hasta rock gótico y electrónica occidental, usando un sistema de 128 canales para la recogida de datos EEG. Este enfoque metodológico permitió capturar la dinámica neuronal en respuesta a estímulos musicales diversos. Los resultados mostraron diferencias significativas en las respuestas neuronales basadas en la familiaridad y el disfrute de la música, sugiriendo aplicaciones potenciales en la investigación de la cognición musical y el desarrollo de interfaces cerebro-computadora adaptativas [26].

En el estudio realizado por Singh, Gupta, y Sahoo, se investigó la respuesta neurofisiológica del cerebro a diversos géneros musicales a través de electroencefalografía (EEG) en 23 adultos sanos. Se analizaron cambios en las frecuencias cerebrales (beta, alfa, theta, y delta) en respuesta a cinco géneros musicales distintos y dos controles. Los hallazgos mostraron variaciones significativas en la actividad cerebral asociadas con diferentes géneros, destacando el potencial de la música para inducir estados mentales similares al sueño no REM, sin dependencia del género o preferencias musicales previas de los participantes [27].

Se observaron metodologías similares en "The Effect of Music on Human Brain; Frequency Domain and Time Series Analysis Using Electroencephalogram" por Rab Nawaz, Humaira Nisar, y Yap Vooi Voon, se exploraron los efectos de la música en el cerebro humano mediante dos experimentos utilizando EEG. Se evaluaron los efectos de la música preferida y música relajante (con batidos binaurales alfa) sobre el cerebro. Los resultados mostraron que la música relajante tiene efectos más calmantes en el cerebro comparado con la música preferida de los participantes. Se analizaron diversas métricas como la potencia absoluta en la banda alfa, la entropía aproximada, la entropía de muestra y la asimetría frontal, concluyendo que la música relajante mejora significativamente estas medidas en comparación con la música preferida, lo que sugiere su potencial para inducir relajación y reducir la complejidad de la señal cerebral [28].

En "Natural music evokes correlated EEG responses reflecting temporal structure and beat" por Blair Kaneshiro, Duc T. Nguyen, Anthony M. Norcia, Jacek P. Dmochowski, y Jonathan Berger, se exploró cómo el cerebro humano procesa la música natural. Utilizando EEG, se registraron respuestas de 48 adultos mientras escuchaban música de Bollywood en condiciones intactas, con medidas reorganizadas, invertidas y con el espectro de fase aleatorizado. Los resultados demostraron que la música con sus características temporales intactas generaba respuestas neuronales más correlacionadas, implicando un procesamiento profundo de la estructura musical y el ritmo. Este estudio subraya la

sincronización cerebral durante la percepción musical y sugiere que ciertos aspectos de la música, como su ritmo y estructura temporal, son fundamentales para cómo se procesa y disfruta la música [29] .

En el estudio "Brain Melody Informatics: Analysing Effects of Music on Brainwave Patterns" por Sharmin et al, se exploraron los efectos de diferentes géneros musicales en patrones de ondas cerebrales usando EEG. Se grabaron señales EEG de 24 participantes mientras escuchaban música de géneros variados, y se extrajeron características estadísticas de las señales. Utilizando algoritmos de clasificación como K-nearest Neighbour (KNN), Support Vector Machine (SVM), y Neural Network (NN) con selección de características mediante algoritmos genéticos, el estudio alcanzó una precisión de hasta el 97.5% en la clasificación de géneros musicales y del 98.6% en la clasificación basada en la valoración subjetiva de emociones por los participantes. Los resultados destacan la capacidad de la música para influir en patrones específicos de actividad cerebral [30].

Recientes estudios también han avanzado considerablemente en la comprensión de cómo la música afecta al cerebro humano, empleando técnicas de neuroimagen como EEG para investigar la respuesta cerebral a diferentes estímulos musicales. En el estudio "Neural decoding of music from the EEG" por Ian Daly y colaboradores, se investigó cómo decodificar y reconstruir música escuchada por individuos mediante el uso combinado de EEG y fMRI. Utilizando un enfoque de localización de fuentes informado por fMRI y una red neuronal profunda bidireccional de memoria a corto y largo plazo (biLSTM), se logró reconstruir la música escuchada con una precisión media del 71.8% en un conjunto de 18 participantes. Además, aplicando el modelo solo con datos de EEG, se identificó la música escuchada con una precisión media del 59.2% en 19 participantes, demostrando la viabilidad de decodificar información acústica compleja sólo a partir de la actividad cerebral [31].

Otro estudio examinó cómo la familiaridad con la música afecta la sincronización cortical, utilizando EEG para observar diferencias en la respuesta cerebral entre música familiar y desconocida. Con este enfoque del estudio "Familiarity Affects Entrainment of EEG in Music Listening" por Yuiko Kumagai, Mahnaz Arvaneh, y Toshihisa Tanaka se descubrió que la música desconocida y alterada provocaba una mayor sincronización cortical que la música familiar, sugiriendo que la familiaridad influye significativamente en cómo el cerebro procesa la música. Este hallazgo tiene implicaciones en la comprensión de la percepción musical y potencialmente en aplicaciones terapéuticas y educativas [32].

El estudio "Music training is associated with cortical synchronization reflected in EEG coherence during verbal memory encoding" por Mei-chun Cheung y colaboradores investiga cómo el entrenamiento musical influye en la sincronización cortical y la memoria verbal. A través de EEG en participantes con y sin entrenamiento musical, se descubrió que aquellos con entrenamiento mostraban mayor coherencia en la banda theta, correlacionándose con mejor rendimiento en memoria verbal. Esto indica que más allá de afectar el procesamiento auditivo, el entrenamiento musical puede mejorar funciones cognitivas como la memoria, a través de la modulación de la sincronización cortical [33].

En el estudio "Short-term enhancement of cognitive functions and music: A three-channel model" por Ashish Gupta, Braj Bhushan, y Laxmidhar Behera, se investigó el efecto a corto

plazo de la música en la mejora de las funciones cognitivas. Utilizando EEG para analizar la potencia y la conectividad funcional en la banda alfa, el estudio encontró cambios significativos después de la exposición a música clásica india. Se observó una disminución en el flujo de información a larga distancia entre el córtex frontal y parietal y un aumento en la potencia en el córtex prefrontal y occipital. Estos hallazgos llevaron al desarrollo de un modelo neurocognitivo de tres canales que explica cómo la música induce mejoras cognitivas mediante la eficiencia global del cerebro, la eficiencia neural local en el lóbulo prefrontal y la atención sostenida mejorada [34].

Estos estudios son un marco crucial para entender cómo la música puede influir en la actividad cerebral y serán fundamentales para guiar la investigación propuesta. Este proyecto pretende caracterizar las respuestas EEG de los participantes a estímulos musicales de diferentes géneros, incluyendo rock, jazz, clásica, vallenato y reggaetón, para analizar las diferencias en las respuestas cerebrales según el género musical y el nivel de familiaridad con la música.

Sin embargo, como se pudo notar, a pesar de los diferentes estudios aún no hay un consenso general sobre los patrones que genera la música en los oyentes, debido a su variabilidad según factores tanto individuales como inherentes al género musical, en consecuencia, el tema sigue abierto por lo que el presente trabajo busca generar un estudio de caracterización de las señales EEG; es decir extraer características peculiares de la señal para realizar una comparativa y así poder responder, a la pregunta de '¿cómo varían las señales de EEG en términos del espectro de densidad de potencia en respuesta a diferentes géneros musicales, para poder complementar la literatura existente?'.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Estudiar la influencia de diferentes géneros musicales en la generación de señales electroencefalográficas en sujetos sanos.

2.2. Específicos

1. Desarrollar la adquisición de señales electroencefalográficas bajo un escenario de escucha de diferentes géneros musicales a partir del sistema de adquisición Nautilus de gTec.
2. Analizar los registros encefalográficos empleando características extraídas en el dominio de la frecuencia para los diferentes géneros musicales propuestos.
3. Elaborar un análisis estadístico de la caracterización de las señales electroencefalográficas de acuerdo con los géneros musicales estudiados.

3. METODOLOGÍA

Este trabajo investigativo tiene un alcance de tipo correlacional, donde se aplicaron medidas para estimar correlación entre un género musical y los registros encefalográficos al momento de escuchar música.

El proyecto se desarrolló siguiendo una metodología estructurada, que contempla tres grandes fases.

3.1. Etapa 1: Adquisición de los registros EEG

Esta incluye, el diseño del protocolo, la preparación del entorno, unas preguntas previas a la adquisición, una prueba piloto, la selección de participantes, el consentimiento informado, la medición de la impedancia, la colocación de electrodos EEG, la presentación de estímulos musicales y el registro EEG. Esto con el fin de desarrollar la adquisición de señales electroencefalográficas bajo un escenario de escucha de diferentes géneros musicales a partir del sistema de adquisición Nautilus de gTec

Se diseñó un protocolo teniendo en cuenta las condiciones físicas y psicológicas de los participantes con el objetivo, tanto de garantizar la veracidad del registro como la integridad de los participantes.

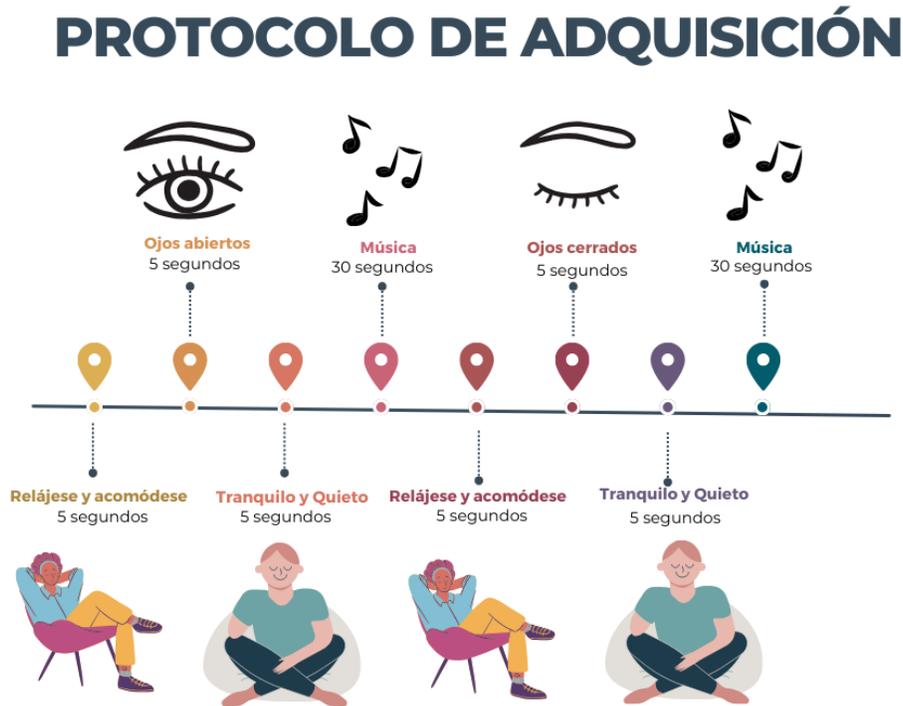


Figura 1. Protocolo de adquisición EEG

Como se puede observar en la Figura 1 se tiene 8 fases.

1. Relájese y acomódese : Tiempo asignado para que el participante se sitúe y esté listo para la adquisición.
2. Ojos abiertos : Instrucción de mantener los ojos abiertos durante la presentación del estímulo.
3. Línea de Base: Instrucción al participante de no realizar movimientos y esperar la música.
4. Música: Reproducción aleatoria de una canción preseleccionada, que comienza 30 segundos después del inicio y dura 30 segundos. Presentado de forma aleatoria.
5. Línea de Base: Instrucción al participante de no realizar movimientos y esperar la música.
6. Relájese y acomódese: Similar a la primera fase, donde el participante se prepara para la siguiente parte del protocolo
7. Ojos cerrados : Instrucción al participante de mantener los ojos cerrados hasta que termine el estímulo, con un aviso previo en el protocolo.
8. Música: Igual que la cuarta fase, con presentación de estímulo musical.

Se construyeron 17 preguntas previas que se consideraron relevantes para garantizar la fiabilidad del registro EEG y poder realizar un análisis posterior. Seleccionando preguntas a la demografía del sujeto, relevantes al estado del sujeto para la adquisición de EEG, Por ejemplo, si durmió bien o si tiene problemas de audición. También se preguntó sobre la frecuencia de escucha de los géneros para evaluar la familiaridad de los mismos, y la preferencia musical de estos. Estas fueron las preguntas realizadas a cada participante:

1. Edad
2. Ocupación
3. ¿Dormiste bien?
4. ¿Tienes problemas de audición?
5. ¿Usas la música usualmente para concentrarte?
6. ¿Tienes alguna experiencia musical? (cantas, bailas, tocas un instrumento etc.)
7. ¿Cómo te sientes? (siendo 5 muy bien y 1 muy mal)
8. ¿Con qué frecuencia escuchas Jazz? (siendo 5 muy frecuentemente y 0 no la he escuchado)
9. ¿Con que frecuencia escuchas Rock? (siendo 5 muy frecuentemente y 1 no la he escuchado)
10. ¿Con qué frecuencia escuchas Reggaetón? (siendo 5 muy frecuentemente y 1 no la he escuchado)
11. ¿Con qué frecuencia escuchas Clásica? (siendo 5 muy frecuentemente y 1 no la he escuchado)
12. ¿Con qué frecuencia escuchas Vallenato? (siendo 5 muy frecuentemente y 1 no la he escuchado)
13. ¿Qué tanto te gusta el Vallenato? (siendo 5 mucho, 0 no la he escuchado o me es indiferente y -5 no me gusta nada)
14. ¿Qué tanto te gusta el Rock? (siendo 5 mucho, 0 no la he escuchado o me es indiferente y -5 no me gusta nada)

15. ¿Qué tanto te gusta la Clásica? (siendo 5 mucho, 0 no la he escuchado o me es indiferente y -5 no me gusta nada)
16. ¿Qué tanto te gusta el Reggaetón? (siendo 5 mucho, 0 no la he escuchado o me es indiferente y -5 no me gusta nada)
17. ¿Qué tanto te gusta el Jazz? (siendo 5 mucho, 0 no la he escuchado o me es indiferente y -5 no me gusta nada).

Se hizo uso del software libre de BCI2000 al cual se le configuró una frecuencia de muestreo de 250 Hz, un filtro de 60 Hz. poniendo especial atención a los canales temporales; responsables de la audición, y centrales debido a que nos dan un panorama general de los dos hemisferios.

Se realizó una prueba piloto, con el fin de depurar la ejecución del protocolo y que se pudiera realizar de la mejor manera posible.

Para esta prueba se realizó primero las preguntas previas del sujeto, se colocó el dispositivo para después colocar gel en los electrodos correspondientes a las partes frontales y centrales, para después proseguir a realizar la medición de la impedancia para asegurar una buena adquisición.

Después se presentó todo el protocolo, y se adquirieron las señales como se muestra en las siguientes figuras.



Figura 2. Adquisición de las señales en prueba piloto



Figura 3. Ejecución del protocolo en prueba piloto

Se colocó el equipo de BCI el cual venía con la configuración del sistema 10-20 en el cuero cabelludo para registrar las señales cerebrales mientras los participantes escuchan música.

Así mismo, todo el proceso se llevará a cabo en español, incluyendo las instrucciones a los participantes y la documentación de resultados. Para la selección de géneros musicales; se tuvo en cuenta la presencia de un género nacional, como lo es el vallenato y la presencia de un género latino. Así como otros géneros utilizados frecuentemente en la literatura como el Jazz, Rock y la música clásica. Las canciones por su parte se establecieron según una búsqueda de las canciones más populares a través de la historia. La Tabla 1 muestra dichas canciones.

Género Musical	Canción Representativa
Jazz	Take Five de Dave Brubeck
Rock	Highway to Hell (AC/DC)
Vallenato	La Gota Fría de Carlos Vives
Urbano	Gasolina de Daddy Yankee
Música Clásica	Las cuatro estaciones de Vivaldi.

Tabla 1. Canciones escogidas de cada género musical

Además, dentro del mismo procedimiento se aseguró de que el entorno de registro EEG estuviera libre de interferencias y sea cómodo para los participantes. Dentro de la selección de participantes. Se definieron que debían estar entre 18 y 28 años; rango de edad frecuentemente usado en la literatura. Teniendo 5 hombres y 5 mujeres.

La selección fue de forma aleatoria, cumpliendo con los criterios de inclusión y que decidieron participar libremente en el estudio. El reclutamiento del grupo de participantes que estuvieron dispuestos a participar en el estudio, se hizo una explicación del propósito del estudio, así como otros factores relevantes, y los posibles riesgos y beneficios del estudio.

Para la adquisición el participante fue citado para la explicación del protocolo; anteriormente mencionado, se analizó la familiaridad y comodidad al usar el gorro de electrodos para EEG de gTec. También, se realizó la medición de la impedancia. La cual es fundamentalmente una medida de resistencia al flujo de corriente eléctrica entre los electrodos y la piel, a través del cuero cabelludo y el cráneo. Esta resistencia es crucial para determinar la calidad de las señales capturadas en estas mediciones. Si la impedancia es demasiado alta, puede haber una mayor cantidad de ruido en las señales de EEG, lo que dificulta la interpretación precisa de los datos cerebrales. Por lo tanto, mantener la impedancia dentro de un rango aceptable es esencial para obtener resultados fiables en un sistema BCI.

La impedancia depende de varios factores, como la preparación de la piel donde se colocan los electrodos, la naturaleza de los electrodos (por ejemplo, si son de tipo seco o requieren gel), y las condiciones de la piel del sujeto, como la presencia de cabello, grasa, o suciedad. Para disminuir la impedancia se aplica gel conductor, el cual, ayuda a mejorar la conductividad al reducir la resistencia entre la piel y el electrodo.

El rango de valores aceptable de impedancia para realizar mediciones en el sistema BCI que se utilizó el valor óptimo se establece por debajo de los 30 Kohms.

Esta medición se realizó para cada toma de datos, procurando que estuviera en un valor óptimo, tal como se muestra en la Figura 4.

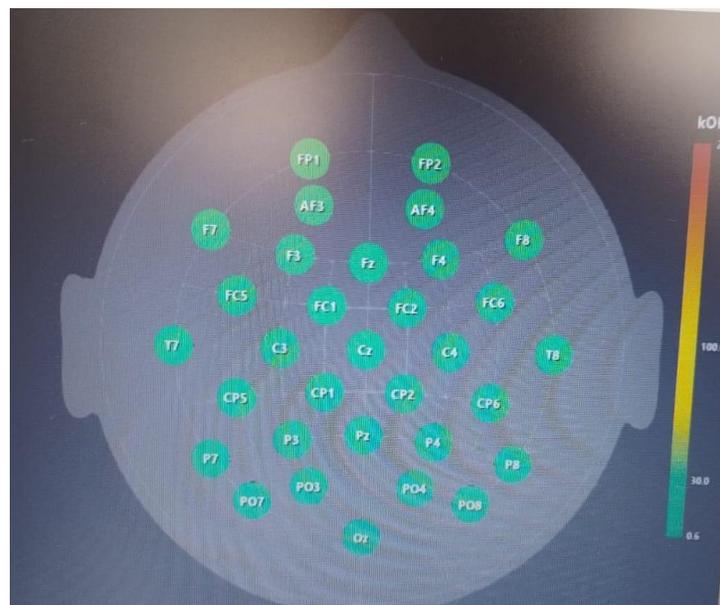


Figura 4. Medición de la impedancia en un participante

El estímulo musical se presentó al sujeto y luego se adquirió simultáneamente para relacionar el género musical con el registro EEG. La presentación de los cinco géneros explicados se hizo de forma aleatoria en el protocolo; sin embargo, se aclara que todos los participantes tuvieron escucharon las canciones en la misma secuencia para poder compararlas y encontrar patrones en dichos registros. Como se muestra a continuación.



Figura 5. Protocolo de adquisición en un participante

3.2. Etapa 2: Análisis de los registros EEG

Posterior a la adquisición, los registros analizaron en cuanto a su calidad, revisando amplitudes y posible ruido que pueda tener la señal en cuanto a artefactos. Esta inspección fue apoyada en procesar y analizar los datos EEG registrados para extraer características relevantes. Esto haciendo uso de las herramientas brindadas en Matlab y Python. Para ello, se utilizará la densidad espectral de potencia (PSD, por su sigla en inglés power spectral density) de acuerdo con su amplio uso en análisis EEG. Esto con la finalidad de analizar los registros encefalográficos empleando características extraídas en el dominio de la frecuencia para los diferentes géneros musicales propuestos. Se hizo la elección basándonos en que la PSD es una transformación de la FFT en la cual se escalan los valores para que representen las amplitudes de cada una de las frecuencias y no dependan del tamaño del vector.

En el análisis de los registros EEG obtenidos en respuesta a estímulos musicales, las bandas de frecuencia Beta (13-30 Hz) y Gamma Alta (50-80 Hz) son de particular interés. Estas bandas están estrechamente relacionadas con procesos cognitivos y emocionales complejos que se activan durante la escucha de música [35].

Bandas Gamma Alta: Por otro lado, las señales EEG de alta frecuencia, especialmente en la banda Gamma Alta, juegan un papel importante en la investigación sobre las emociones humanas. Se ha encontrado que las conexiones de la red en la banda Gamma Alta muestran diferencias significativas entre estados emocionales positivos, neutrales y negativos, siendo mucho más densas que las conexiones en otras bandas de frecuencia. Estas conexiones ocurren principalmente en regiones cerebrales específicas, como el

lóbulo prefrontal izquierdo, temporal, parietal y occipital. Además, se han observado conexiones a larga distancia con diferencias significativas entre los estados emocionales en las bandas de alta frecuencia, particularmente en la banda Gamma Alta [35].

Bandas Beta: La modulación del poder en la banda Beta se ha asociado con el procesamiento automático del tiempo de los ritmos isócronos y la atención explícita orientada temporalmente. Un estudio realizó grabaciones de EEG en músicos mientras anticiparon ritmos acelerados, desacelerados o constantes, encontrando reducciones periódicas de potencia en un componente topográfico frontocentral, implicando contribuciones de fuentes auditivas y sensoriomotoras. Esta modulación en el poder de la banda Beta sugiere que la anticipación consciente influye en el procesamiento continuo del ritmo auditivo en las redes de la banda Beta. Además, se ha observado que las modulaciones de potencia en la banda Beta se ven afectadas por procesos de alto nivel como la atención, la incertidumbre, la expectativa y la imaginación, todos posiblemente involucrados en la anticipación temporal [36].

3.3. Etapa 3: Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico considerando la cantidad de muestras se recurrieron a pruebas no paramétricas por lo que se utilizaron los criterios de Mann Whitney esta se utiliza para comparar dos medianas muestrales que provienen de la misma población, así como para probar si dos medianas muestrales son iguales o no. y Kruskal-Wallis la cual determina si las medianas de dos o más grupos son diferentes. De esta forma, calcula un estadístico de prueba y lo compara con un punto de corte de la distribución.

El estadístico de prueba utilizado se denomina estadístico H. Las hipótesis de la prueba son: Mann Whitney para análisis biclase y Kruskal-Wallis para análisis de múltiples categorías. Para ambas pruebas se establece el intervalo de confianza en 5%.

Y así poder elaborar un análisis estadístico de la caracterización de las señales electroencefalográficas de acuerdo con los géneros musicales estudiados. y lograr estudiar la influencia de diferentes géneros musicales en la generación de señales electroencefalográficas en sujetos sanos.

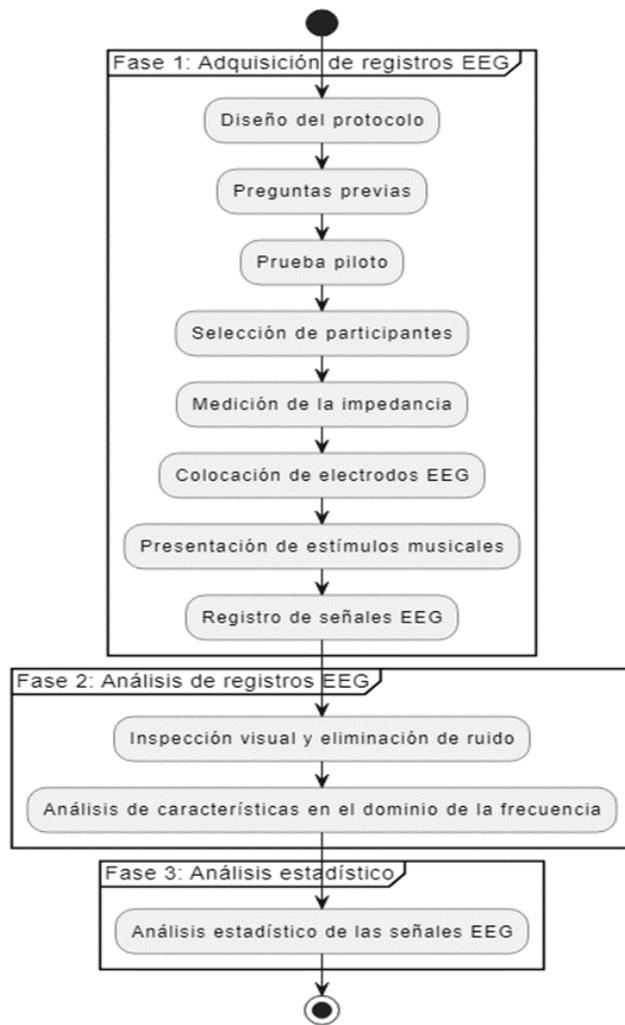


Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología propuesta

4. RESULTADOS

Después de realizar la adquisición descrita en la sección anterior se puede observar la naturaleza demográfica de los participantes.

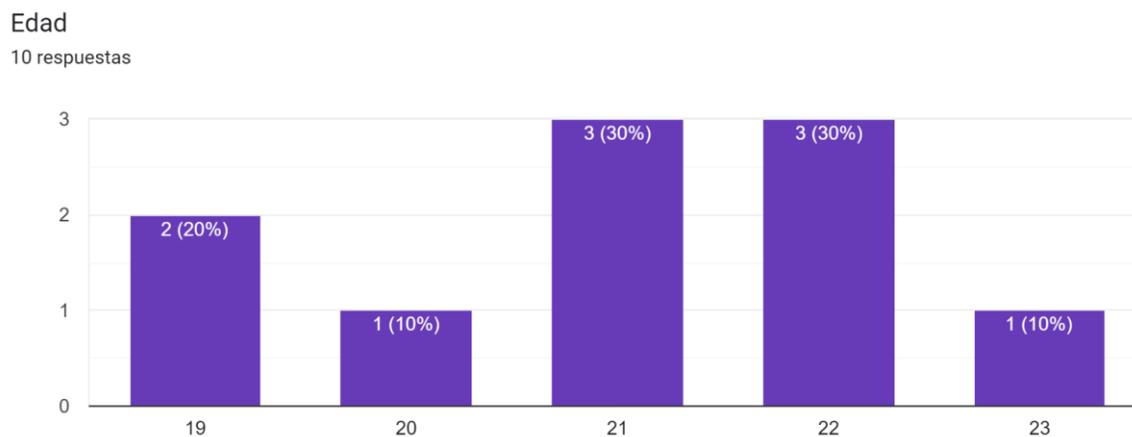


Figura 7. Gráfico de barras por edad

Además, se pudo determinar las condiciones de cada sujeto, que podrían afectar la toma de datos al momento de ser partícipes de la prueba.

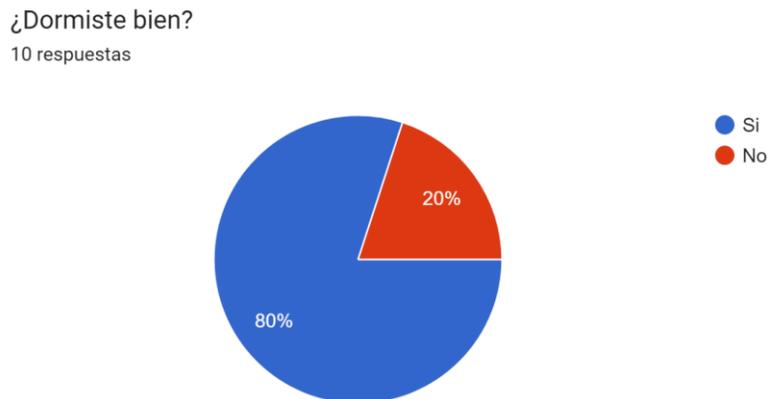


Figura 8. Diagrama sectorial pregunta sobre la calidad del sueño

¿Tienes problemas de audición ?

10 respuestas

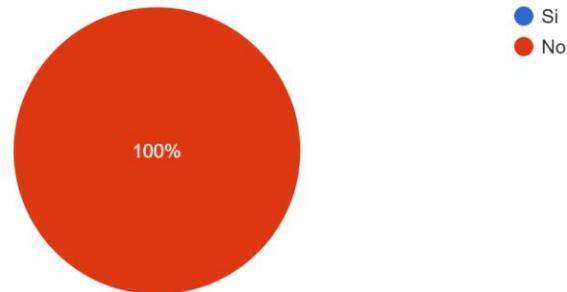


Figura 9. Diagrama sectorial pregunta sobre la calidad de la audición

¿Como te sientes (siendo 5 muy bien y 1 muy mal)

10 respuestas

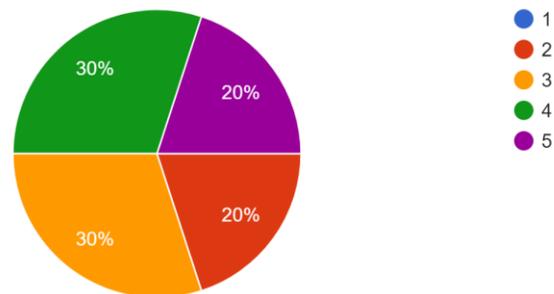


Figura 10. Diagrama sectorial pregunta sobre las emociones presentes

Adicionalmente a eso, se obtuvieron datos de en qué manera los participantes utilizan la música con el fin de poder analizar con mayor precisión los resultados a posteriori.

¿Usas la música usualmente para concentrarte ?

10 respuestas

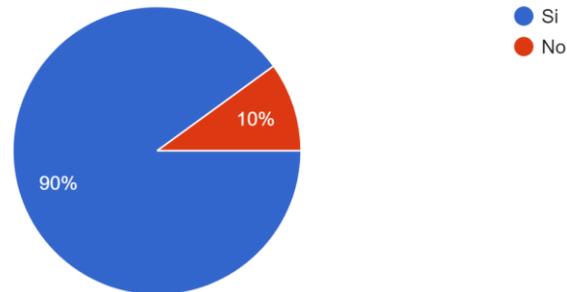


Figura 11. Diagrama sectorial pregunta sobre el uso cotidiano de la música

¿Tienes alguna experiencia musical.(cantas, bailas, tocas un instrumento etc...)?

10 respuestas

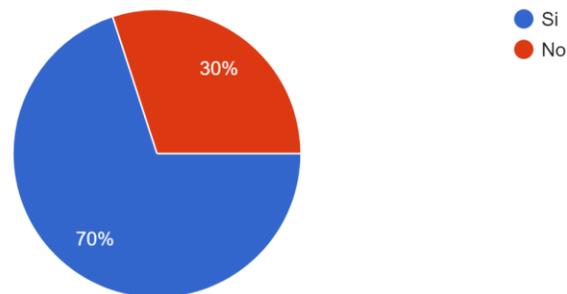


Figura 12. Diagrama sectorial pregunta sobre la experiencia musical del sujeto

Por último, con base en lo visto en la literatura sobre familiaridad se tomó en cuenta la frecuencia de escucha y la preferencia entre los distintos géneros.

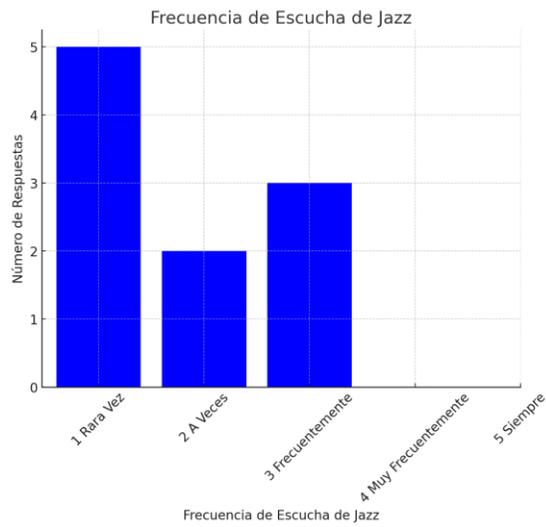


Figura 13. Diagrama de barras pregunta sobre la frecuencia de escucha del género 'Jazz'

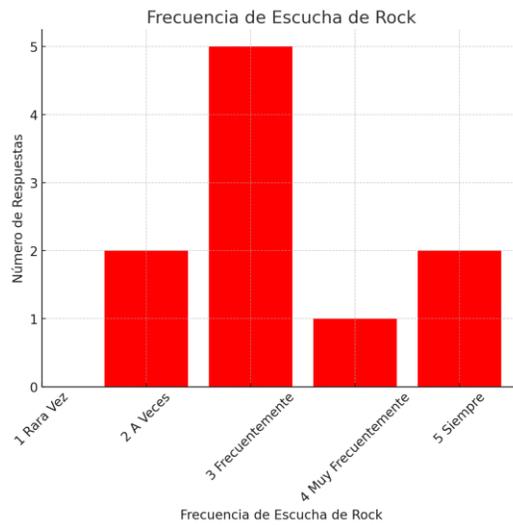


Figura 14. Diagrama de barras pregunta sobre la frecuencia de escucha del género 'Rock'

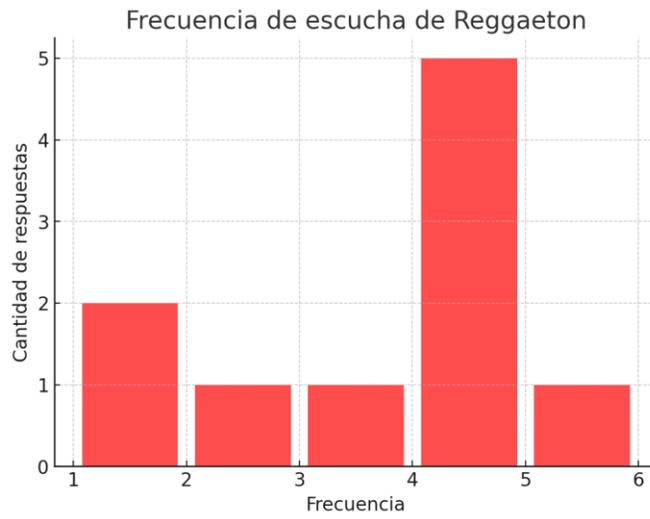


Figura 15. Diagrama de barras pregunta sobre la frecuencia de escucha del género 'Reggaeton'

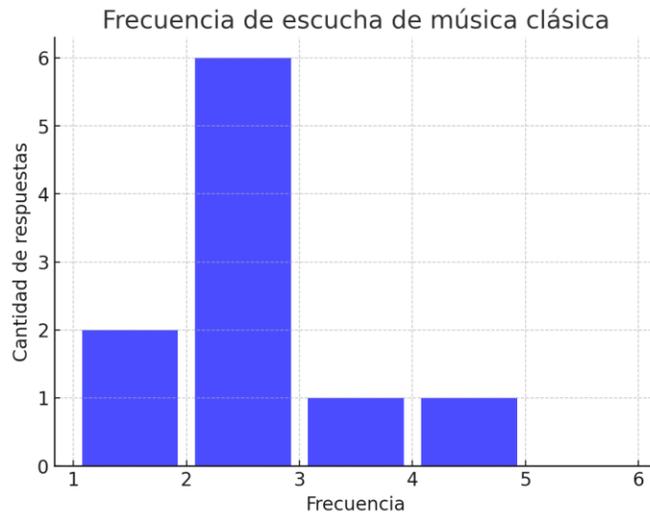


Figura 16. Diagrama de barras pregunta sobre la frecuencia de escucha del género 'Clásica'

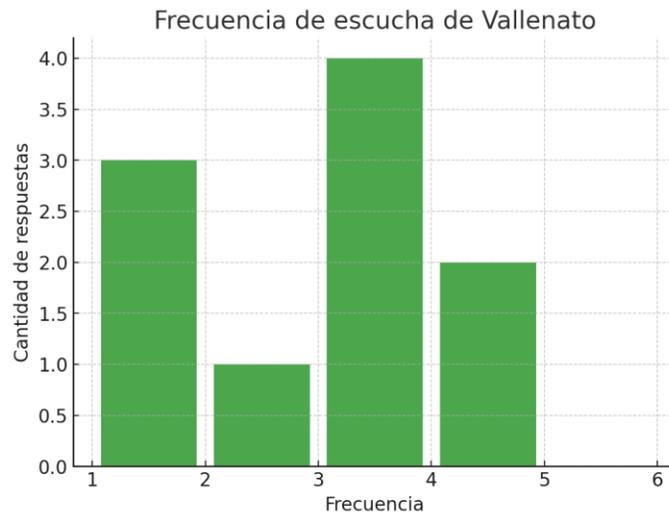


Figura 17. Diagrama de barras pregunta sobre la frecuencia de escucha del género 'Vallenato'

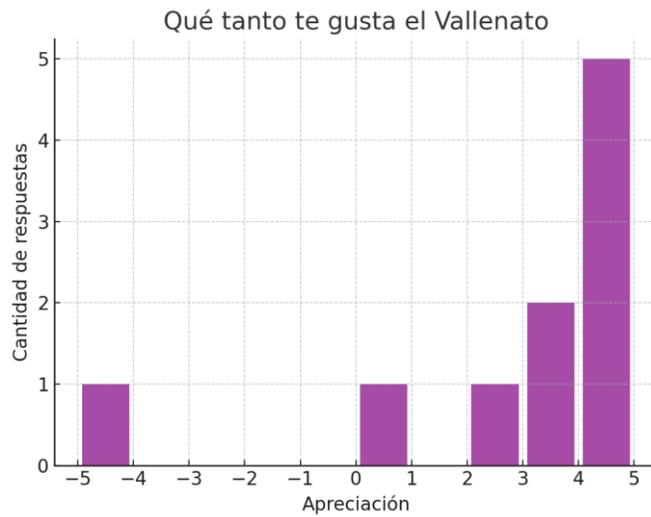


Figura 18. Diagrama de barras pregunta sobre la preferencia del género 'Vallenato'

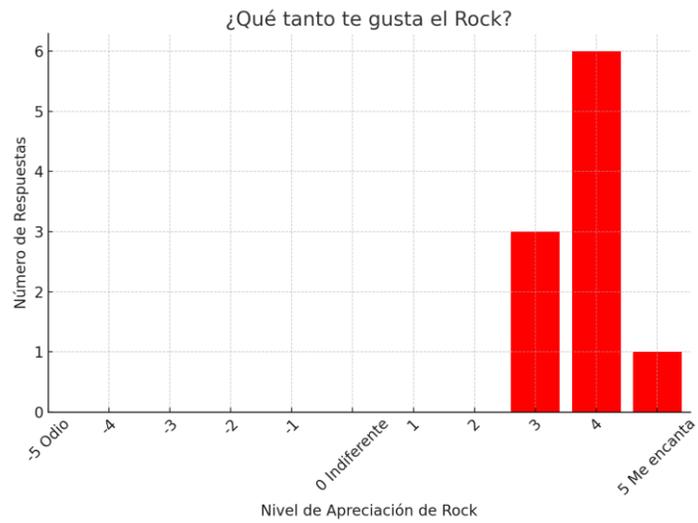


Figura 19. Diagrama de barras pregunta sobre la preferencia del género 'Rock'

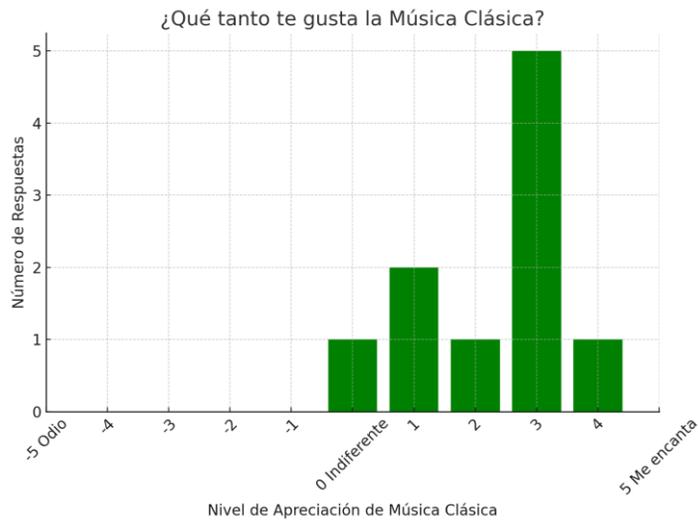


Figura 20. Diagrama de barras pregunta sobre la preferencia del género 'Clásica'

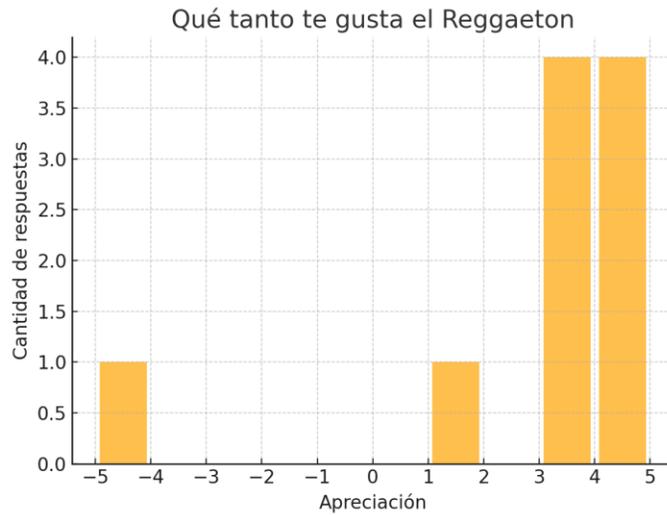


Figura 21. Diagrama de barras pregunta sobre la preferencia del género 'Reggaeton'



Figura 22. Diagrama de barras pregunta sobre la preferencia del género 'Jazz'

Posterior a la encuesta se ejecutó la adquisición de las señales electroencefalográficas como se puede ver a continuación. Según los criterios de inclusión y exclusión planteados para la selección de participantes.



Figura 23. Adquisición en un participante



Figura 24. Adquisición en un participante

Ya teniendo las señales de cada sujeto. Teniendo en cuenta que se hizo una toma con los ojos abiertos y otra con los ojos cerrados en otro momento del protocolo. Consecutivamente se realizó un filtrado de 0.1 Hz a 80 Hz, esto con la finalidad de garantizar que toda la información presentada en las señales electroencefalográficas sean relevantes para el estudio tal como se muestra en la Figura 25.

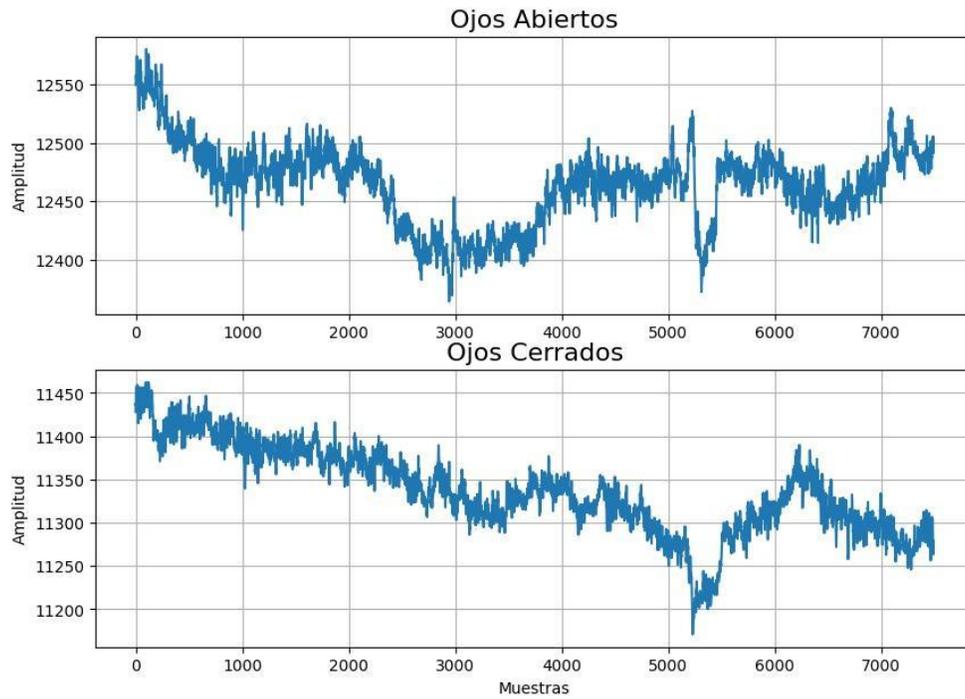


Figura 25. Señal adquirida sujeto 02 estímulo rock canal CZ

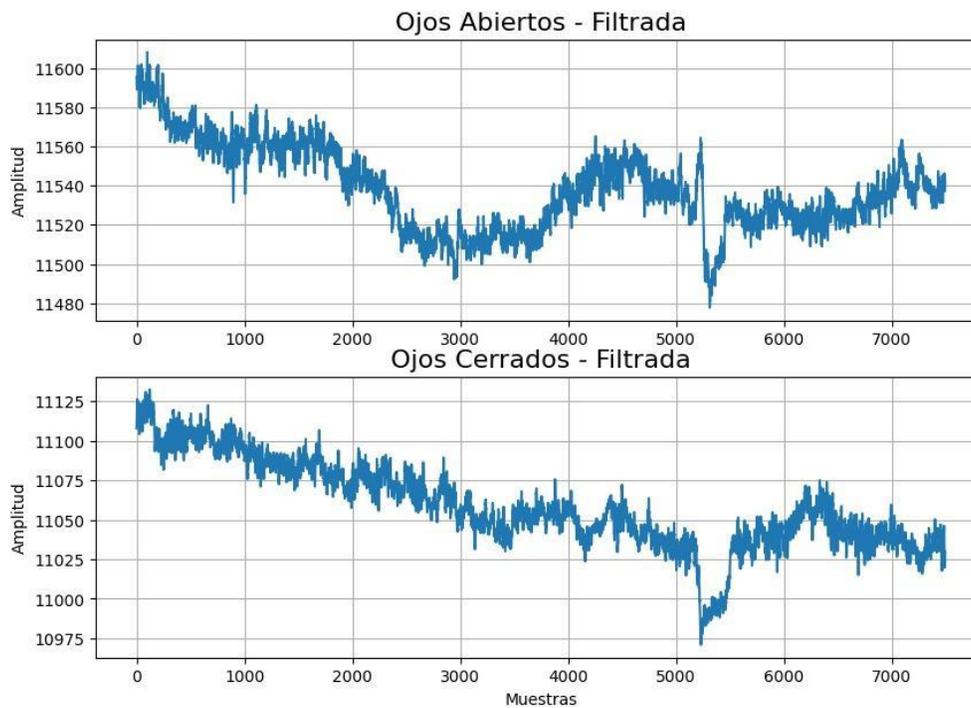


Figura 26. Señal adquirida sujeto 02 estímulo rock canal CZ

Después de eso se hizo una separación por las bandas de frecuencia relevantes encontradas en la literatura; Beta (13 Hz-30 Hz) y Gamma alta (50 Hz a 80 Hz). Para los mismos dos estados de ojos abiertos y ojos cerrados.

Consecutivamente, se realizó la densidad espectral de potencia (PSD); la cual es una función dada por la forma, $PSD(f) = \frac{X(f)^2}{2\pi}$; donde $X(f)$ es la transformada de Fourier de $x(t)$ y f es la frecuencia.

Esto se aplicó a las señales correspondientes a cada género musical, centrándonos en los canales Temporales; responsables de la sede de la audición y el lenguaje, Centrales; responsables de una parte del lenguaje y las emociones. Después se realizó un proceso de normalización para al final poder realizar las comparaciones pertinentes.

Este proceso se realizó de la misma manera con la línea base de cada sujeto para posteriormente compararla y analizar posibles diferencias entre esta y el estímulo.

Por último, se realizaron comparaciones de lo mostrado anteriormente utilizando como recurso estadístico gráficas tipo *cajas y bigotes*, para su análisis pertinente. Las primeras comparaciones que se hicieron poniendo en contraposición la línea base de los sujetos con el estímulo musical. Teniendo en cuenta, las variaciones de las bandas de frecuencia y el estado del sujeto; es decir, si estaba con los ojos abiertos o con los ojos cerrados.

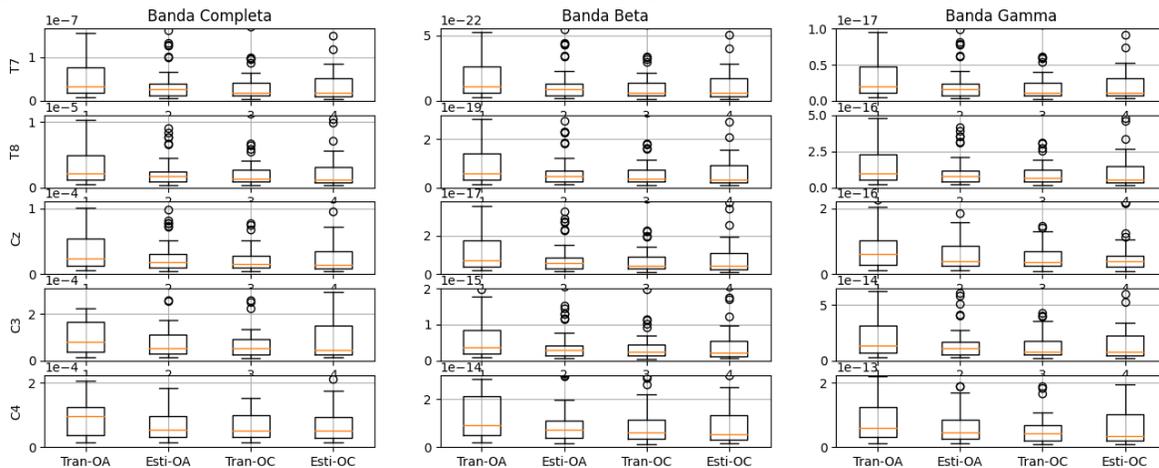


Figura 27. Cajas y bigotes línea base contra cada estímulo

Como se muestra a continuación se realizó la comparación entre todos los géneros musicales (Jazz, Rock, Clásica, Urbano y Vallenato) contra la línea base para la misma variación de parámetros; banda de frecuencia y estado del sujeto.

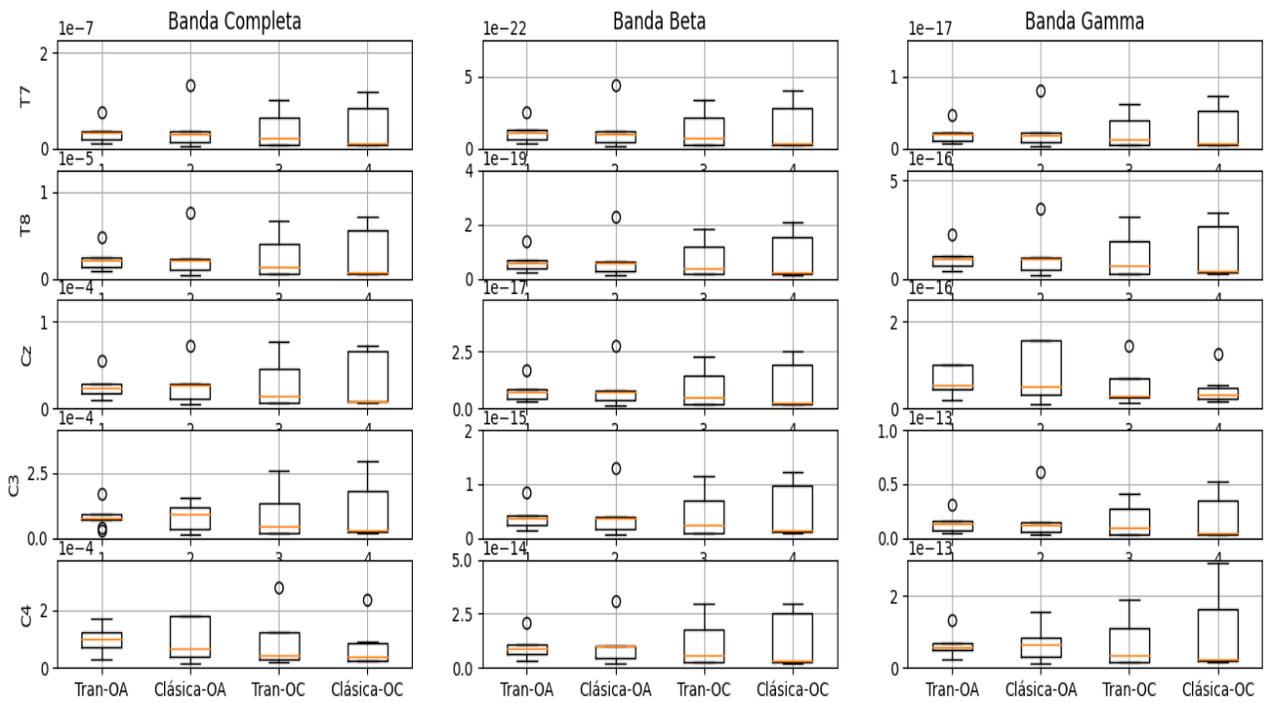


Figura 28. caja y bigotes banda Beta comparativa género Clásica

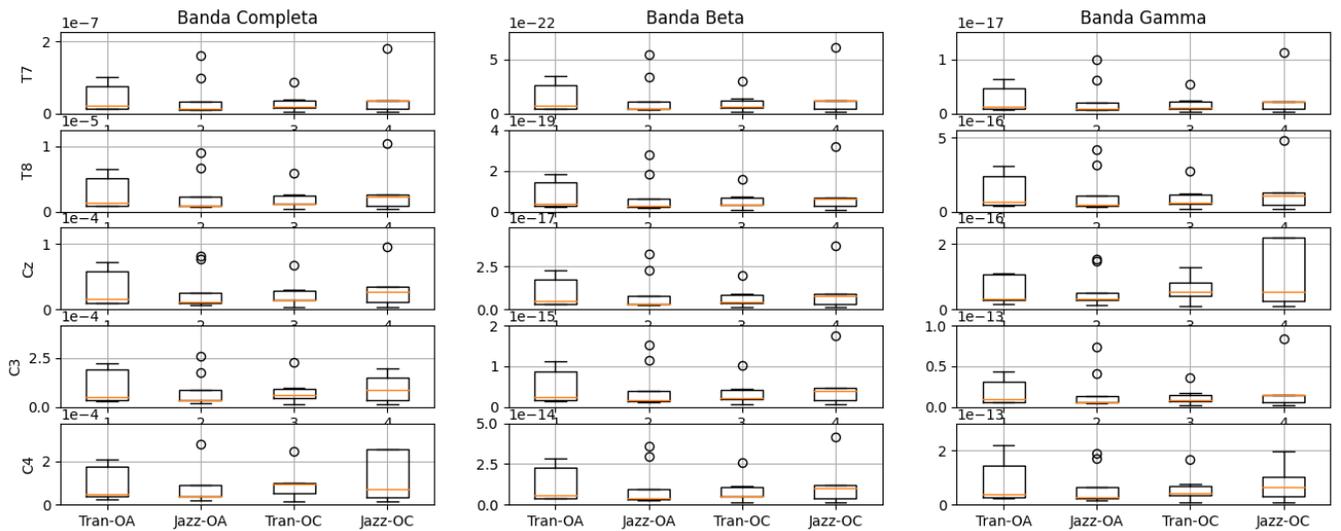


Figura 29. caja y bigotes banda Beta comparativa género Jazz

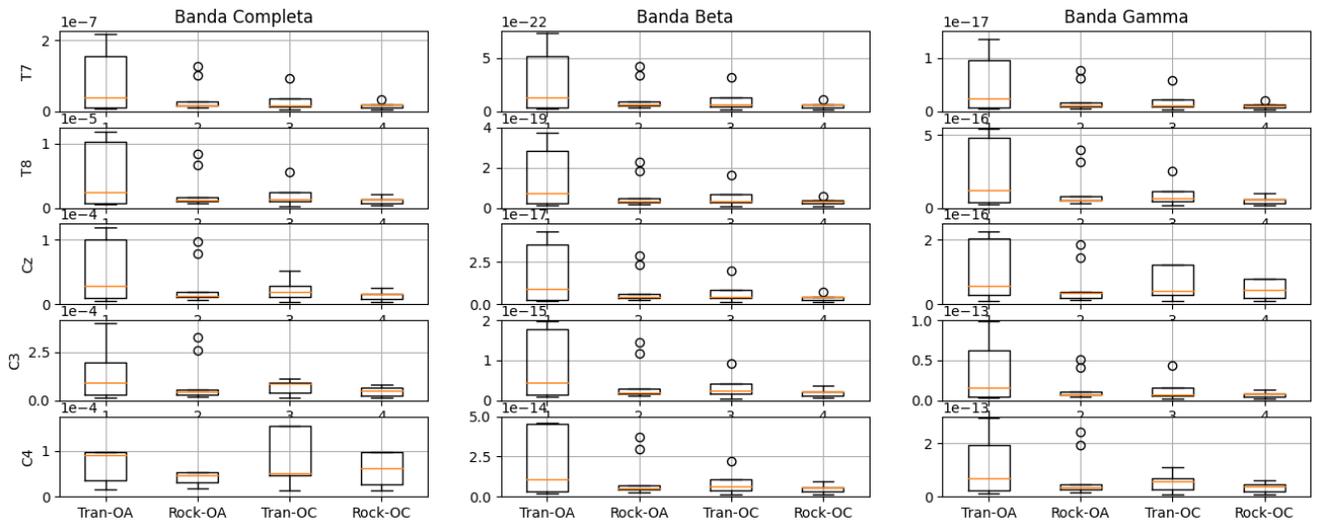


Figura 30. caja y bigotes banda Beta comparativa género Rock

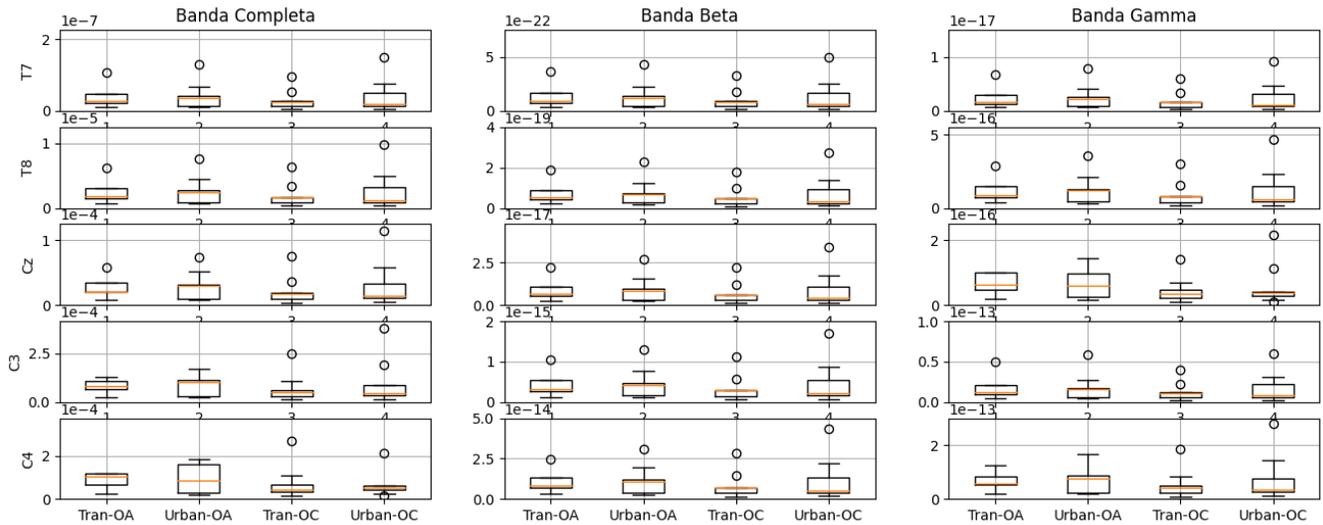


Figura 31. caja y bigotes banda Beta comparativa género Urbano

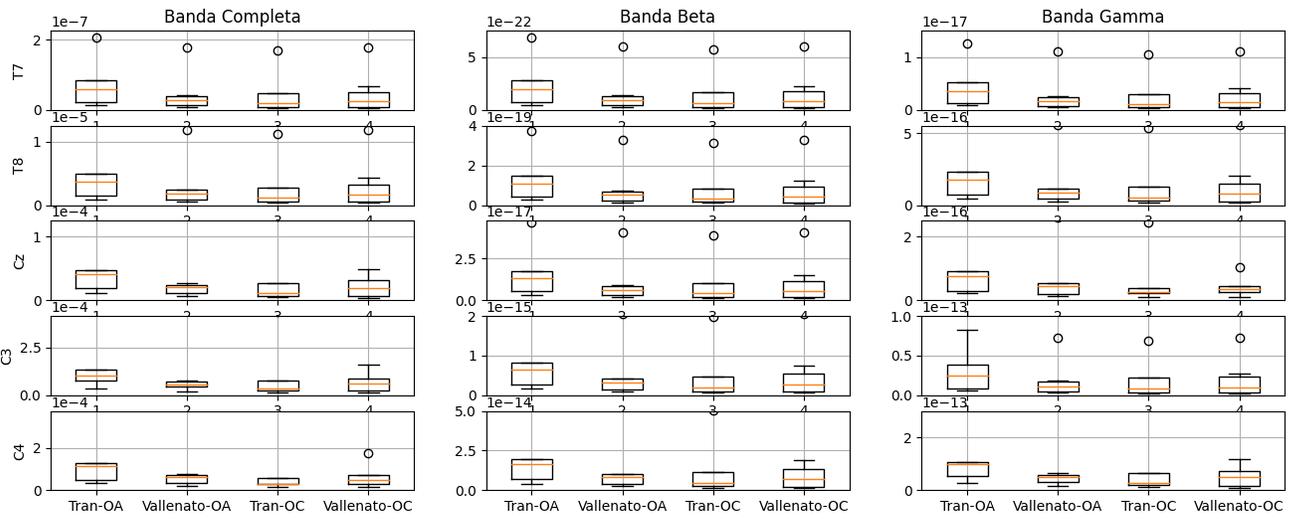


Figura 32. caja y bigotes banda Beta comparativa género Vallenato

Se realizó las comparaciones por los géneros antes del estímulo

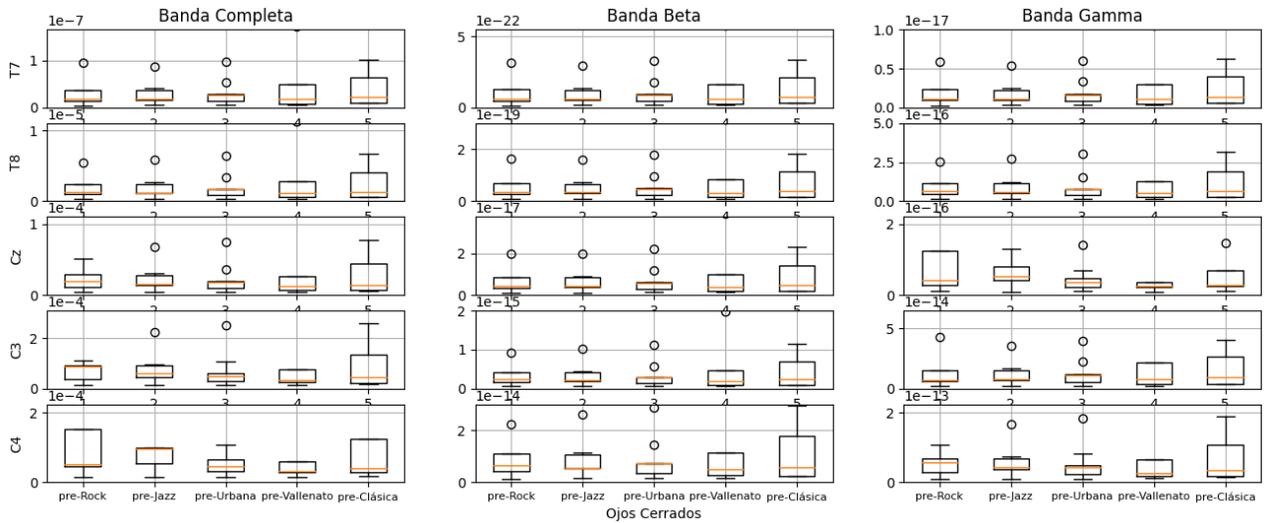


Figura 33. caja y bigotes comparativa todos los géneros antes del estímulo ojos cerrados

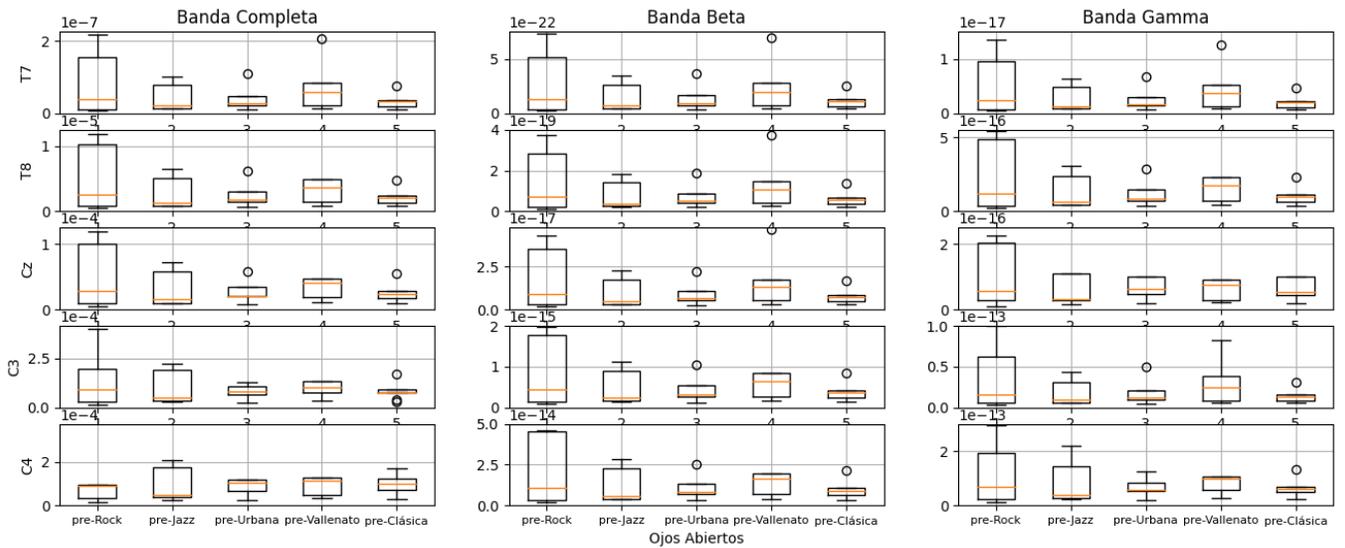


Figura 34. caja y bigotes comparativa todos los géneros antes del estímulo ojos abiertos.

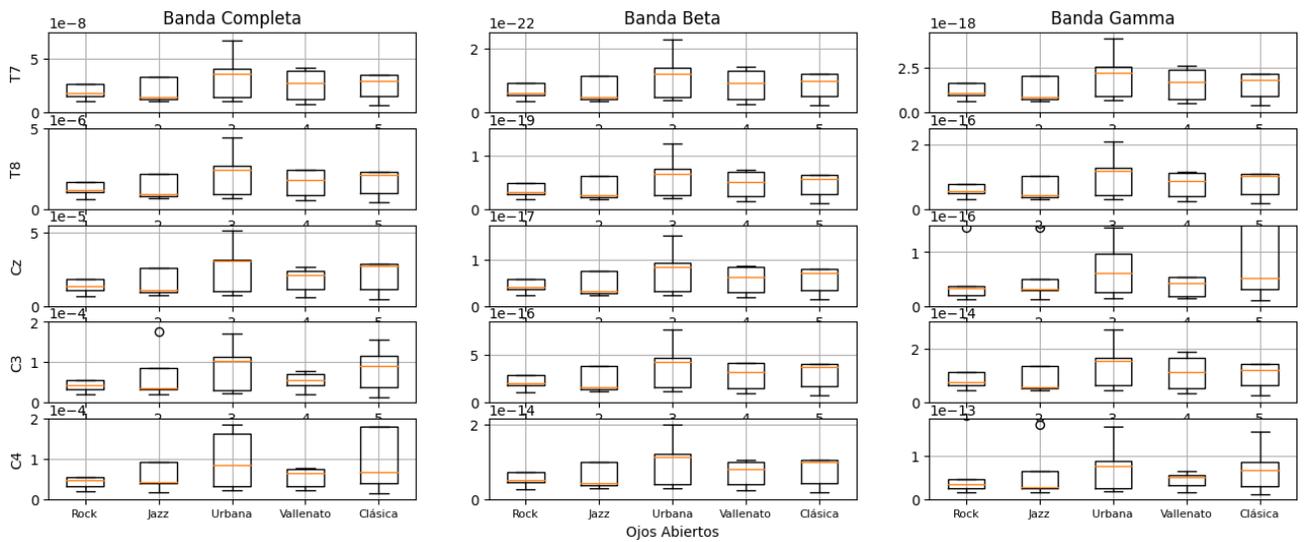


Figura 35. caja y bigotes comparativa todos los géneros antes del estímulo ojos abiertos.

Para terminar, se realizaron las pruebas no paramétricas de mann whitney para comparar dos clases y kruskal-wallis para varias categorías. Empezando por la de *Mann Whitney*

Canal	Banda Completa Ojos Abiertos (OA)		Banda Completa Ojos Cerrados (OC)		Banda Beta Ojos Abiertos (OA)		Banda Beta Ojos Cerrados (OC)		Banda Gamma Ojos Abiertos (OA)		Banda Gamma Ojos Cerrados (OC)	
	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC
T7	0.002628	Rechaza H0: Medianas iguales	0.560722	Acepta H0: Medianas iguales	0.002628	Rechaza H0: Medianas iguales	0.560722	Acepta H0: Medianas iguales	0.002628	Rechaza H0: Medianas iguales	0.560722	Acepta H0: Medianas iguales
T8	0.003341	Rechaza H0: Medianas iguales	0.516291	Acepta H0: Medianas iguales	0.002966	Rechaza H0: Medianas iguales	0.560722	Acepta H0: Medianas iguales	0.003341	Rechaza H0: Medianas iguales	0.530900	Acepta H0: Medianas iguales
Cz	0.004734	Rechaza H0: Medianas iguales	0.494767	Acepta H0: Medianas iguales	0.003341	Rechaza H0: Medianas iguales	0.530900	Acepta H0: Medianas iguales	0.017285	Rechaza H0: Medianas iguales	0.166570	Acepta H0: Medianas iguales
C3	0.004734	Rechaza H0: Medianas iguales	0.494767	Acepta H0: Medianas iguales	0.003475	Rechaza H0: Medianas iguales	0.516291	Acepta H0: Medianas iguales	0.002423	Rechaza H0: Medianas iguales	0.630582	Acepta H0: Medianas iguales
C4	0.012862	Rechaza H0: Medianas iguales	0.149778	Acepta H0: Medianas iguales	0.003475	Rechaza H0: Medianas iguales	0.545712	Acepta H0: Medianas iguales	0.005927	Rechaza H0: Medianas iguales	0.501889	Acepta H0: Medianas iguales

Tabla 2. Comparación prueba de Mann Whitney entre el estímulo musical y la línea base

También se realizó el mismo test de hipótesis para cada género musical

Canal	Banda Completa Ojos Abiertos (OA)		Banda Completa Ojos Cerrados (OC)		Banda Beta Ojos Abiertos (OA)		Banda Beta Ojos Cerrados (OC)		Banda Gamma Ojos Abiertos (OA)		Banda Gamma Ojos Cerrados (OC)	
	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC
T7	0.097656	Acepta H0: Medianas iguales	0.164062	Acepta H0: Medianas iguales	0.097656	Acepta H0: Medianas iguales	0.164062	Acepta H0: Medianas iguales	0.097656	Acepta H0: Medianas iguales	0.164062	Acepta H0: Medianas iguales
T8	0.097656	Acepta H0: Medianas iguales	0.054688	Acepta H0: Medianas iguales	0.097656	Acepta H0: Medianas iguales	0.164062	Acepta H0: Medianas iguales	0.097656	Acepta H0: Medianas iguales	0.054688	Acepta H0: Medianas iguales
Cz	0.097656	Acepta H0: Medianas iguales	0.074219	Acepta H0: Medianas iguales	0.097656	Acepta H0: Medianas iguales	0.054688	Acepta H0: Medianas iguales	0.054688	Acepta H0: Medianas iguales	0.019531	Rechaza H0: Medianas iguales
C3	0.097656	Acepta H0: Medianas iguales	0.039062	Rechaza H0: Medianas iguales	0.097656	Acepta H0: Medianas iguales	0.054688	Acepta H0: Medianas iguales	0.097656	Acepta H0: Medianas iguales	0.164062	Acepta H0: Medianas iguales
C4	0.097656	Acepta H0: Medianas iguales	0.027344	Rechaza H0: Medianas iguales	0.097656	Acepta H0: Medianas iguales	0.074219	Acepta H0: Medianas iguales	0.097656	Acepta H0: Medianas iguales	0.074219	Acepta H0: Medianas iguales

Tabla 3. Comparación prueba de Mann Whitney entre el estímulo musical Rock y la línea base

Canal	Banda Completa Ojos Abiertos (OA)		Banda Completa Ojos Cerrados (OC)		Banda Beta Ojos Abiertos (OA)		Banda Beta Ojos Cerrados (OC)		Banda Gamma Ojos Abiertos (OA)		Banda Gamma Ojos Cerrados (OC)	
	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC
T7	0.054688	Acepta H0: Medianas iguales	0.496094	Acepta H0: Medianas iguales	0.054688	Acepta H0: Medianas iguales	0.496094	Acepta H0: Medianas iguales	0.054688	Acepta H0: Medianas iguales	0.496094	Acepta H0: Medianas iguales
T8	0.074219	Acepta H0: Medianas iguales	0.496094	Acepta H0: Medianas iguales	0.074219	Acepta H0: Medianas iguales	0.496094	Acepta H0: Medianas iguales	0.074219	Acepta H0: Medianas iguales	0.496094	Acepta H0: Medianas iguales
Cz	0.128906	Acepta H0: Medianas iguales	0.359375	Acepta H0: Medianas iguales	0.074219	Acepta H0: Medianas iguales	0.496094	Acepta H0: Medianas iguales	0.359375	Acepta H0: Medianas iguales	0.425781	Acepta H0: Medianas iguales
C3	0.164062	Acepta H0: Medianas iguales	0.359375	Acepta H0: Medianas iguales	0.074219	Acepta H0: Medianas iguales	0.496094	Acepta H0: Medianas iguales	0.054688	Acepta H0: Medianas iguales	0.496094	Acepta H0: Medianas iguales
C4	0.496094	Acepta H0: Medianas iguales	0.496094	Acepta H0: Medianas iguales	0.074219	Acepta H0: Medianas iguales	0.359375	Acepta H0: Medianas iguales	0.128906	Acepta H0: Medianas iguales	0.359375	Acepta H0: Medianas iguales

Tabla 4. Comparación prueba de Mann Whitney entre el estímulo musical Jazz y la línea base

Canal	Banda Completa Ojos Abiertos (OA)		Banda Completa Ojos Cerrados (OC)		Banda Beta Ojos Abiertos (OA)		Banda Beta Ojos Cerrados (OC)		Banda Gamma Ojos Abiertos (OA)		Banda Gamma Ojos Cerrados (OC)	
	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC
T7	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.820312	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.820312	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.820312	Acepta H0: Medianas iguales
T8	0.820312	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.820312	Acepta H0: Medianas iguales	0.820312	Acepta H0: Medianas iguales	0.820312	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales
Cz	1.000000	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.820312	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.734375	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales
C3	1.000000	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.820312	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales
C4	1.000000	Acepta H0: Medianas iguales	1.000000	Acepta H0: Medianas iguales	0.820312	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales

Tabla 5. Comparación prueba de Mann Whitney entre el estímulo musical Urbano y la línea base

Canal	Banda Completa Ojos Abiertos (OA)		Banda Completa Ojos Cerrados (OC)		Banda Beta Ojos Abiertos (OA)		Banda Beta Ojos Cerrados (OC)		Banda Gamma Ojos Abiertos (OA)		Banda Gamma Ojos Cerrados (OC)	
	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC
T7	0.003906	Rechaza H0	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.003906	Rechaza H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.003906	Rechaza H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales
T8	0.003906	Rechaza H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.003906	Rechaza H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.003906	Rechaza H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales
Cz	0.003906	Rechaza H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.003906	Rechaza H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.003906	Rechaza H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales
C3	0.003906	Rechaza H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.003906	Rechaza H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.003906	Rechaza H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales
C4	0.003906	Rechaza H0: Medianas iguales	0.425781	Acepta H0: Medianas iguales	0.003906	Rechaza H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.003906	Rechaza H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales

Tabla 6. Comparación prueba de Mann Whitney entre el estímulo musical Vallenato y la línea base

Canal	Banda Completa Ojos Abiertos (OA)		Banda Completa Ojos Cerrados (OC)		Banda Beta Ojos Abiertos (OA)		Banda Beta Ojos Cerrados (OC)		Banda Gamma Ojos Abiertos (OA)		Banda Gamma Ojos Cerrados (OC)	
	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC
T7	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.652344	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.652344	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.652344	Acepta H0: Medianas iguales
T8	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.652344	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.652344	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.652344	Acepta H0: Medianas iguales
Cz	0.734375	Acepta H0: Medianas iguales	0.652344	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.652344	Acepta H0: Medianas iguales	0.652344	Acepta H0: Medianas iguales	0.250000	Acepta H0: Medianas iguales
C3	0.820312	Acepta H0: Medianas iguales	0.652344	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.652344	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.734375	Acepta H0: Medianas iguales
C4	0.734375	Acepta H0: Medianas iguales	0.164062	Acepta H0: Medianas iguales	0.910156	Acepta H0: Medianas iguales	0.652344	Acepta H0: Medianas iguales	0.820312	Acepta H0: Medianas iguales	0.652344	Acepta H0: Medianas iguales

Tabla 7. Comparación prueba de Mann Whitney entre el estímulo musical Clásico y la línea base

Después se compararon todos los géneros haciendo uso del test de hipótesis Kruskal Wallis

Canal	Banda Completa Ojos Abiertos (OA)		Banda Completa Ojos Cerrados (OC)		Banda Beta Ojos Abiertos (OA)		Banda Beta Ojos Cerrados (OC)		Banda Gamma Ojos Abiertos (OA)		Banda Gamma Ojos Cerrados (OC)	
	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC	p-value	Resultado OA	p-value	Resultado OC
T7	0.952625	Acepta H0: Medianas iguales	0.997475	Acepta H0: Medianas iguales	0.952625	Acepta H0: Medianas iguales	0.997475	Acepta H0: Medianas iguales	0.952625	Acepta H0: Medianas iguales	0.997475	Acepta H0: Medianas iguales
T8	0.945188	Acepta H0: Medianas iguales	0.996731	Acepta H0: Medianas iguales	0.931370	Acepta H0: Medianas iguales	0.992880	Acepta H0: Medianas iguales	0.945188	Acepta H0: Medianas iguales	0.991858	Acepta H0: Medianas iguales
Cz	0.928301	Acepta H0: Medianas iguales	0.976679	Acepta H0: Medianas iguales	0.932799	Acepta H0: Medianas iguales	0.996973	Acepta H0: Medianas iguales	0.997342	Acepta H0: Medianas iguales	0.825040	Acepta H0: Medianas iguales
C3	0.932443	Acepta H0: Medianas iguales	0.913292	Acepta H0: Medianas iguales	0.950563	Acepta H0: Medianas iguales	0.991858	Acepta H0: Medianas iguales	0.946674	Acepta H0: Medianas iguales	0.995898	Acepta H0: Medianas iguales
C4	0.814707	Acepta H0: Medianas iguales	0.832331	Acepta H0: Medianas iguales	0.943185	Acepta H0: Medianas iguales	0.991555	Acepta H0: Medianas iguales	0.937547	Acepta H0: Medianas iguales	0.950723	Acepta H0: Medianas iguales

Tabla 8. Comparación prueba de Kruskal Wallis línea base

Cana l	Banda Completa Ojos Abiertos (OA)		Banda Completa Ojos Cerrados (OC)		Banda Beta Ojos Abiertos (OA)		Banda Beta Ojos Cerrados (OC)		Banda Gamma Ojos Abiertos (OA)		Banda Gamma Ojos Cerrados (OC)	
	p-value	Resultad o OA	p-value	Resultado OC	p-value	Resultado OA	p-value	Resultad o OC	p-value	Resultad o OA	p-value	Resultad o OC
T7	0.87941 1	Acepta H0: Medianas iguales	0.95619 2	Acepta H0: Medianas iguales	0.87941 1	Acepta H0: Medianas iguales	0.95619 2	Acepta H0: Medianas iguales	0.87941 1	Acepta H0: Medianas iguales	0.95619 2	Acepta H0: Medianas iguales
T8	0.87643 9	Acepta H0: Medianas iguales	0.93979 0	Acepta H0: Medianas iguales	0.88025 7	Acepta H0: Medianas iguales	0.94732 9	Acepta H0: Medianas iguales	0.87643 9	Acepta H0: Medianas iguales	0.92811 9	Acepta H0: Medianas iguales
Cz	0.84114 1	Acepta H0: Medianas iguales	0.88425 3	Acepta H0: Medianas iguales	0.89111 0	Acepta H0: Medianas iguales	0.94268 0	Acepta H0: Medianas iguales	0.78912 3	Acepta H0: Medianas iguales	0.83505 1	Acepta H0: Medianas iguales
C3	0.91636 4	Acepta H0: Medianas iguales	0.87686 5	Acepta H0: Medianas iguales	0.87643 9	Acepta H0: Medianas iguales	0.92811 9	Acepta H0: Medianas iguales	0.88383 4	Acepta H0: Medianas iguales	0.94418 9	Acepta H0: Medianas iguales
C4	0.90979 5	Acepta H0: Mediana iguales	0.90566 4	Acepta H0: Medianaiguale s	0.83391 8	Acepta H0: Medianaiguale s	0.92370 8	Acepta H0: Mediana iguales	0.88800 7	Acepta H0: Medianas iguales	0.87516 1	Acepta H0: Medianas iguales

Tabla 9. Comparación prueba de Kruskal Wallis entre géneros musicales

5. DISCUSIÓN

Observando la distribución por edad de los participantes en el estudio. La mayoría de los participantes (60%) tienen 20 y 23 años. El 20% de los participantes tienen 19 y 21 años, el 30% tenían 22 años. Esto según el ministerio de salud muestra que están en etapa de la juventud, lo que podría influir en la reacción encefalográfica de los participantes.

Las pruebas de Mann-Whitney revelaron que en todos los canales analizados para las bandas Beta (13-30 Hz) y Gamma Alta (50-80 Hz). Como observamos en la tabla 4 se rechazó la hipótesis nula (H_0) de que las medianas eran iguales en el estado de ojos abiertos (OA), indicando diferencias estadísticamente significativas en la actividad cerebral durante la escucha de música. Sin embargo, en el estado de ojos cerrados (OC), se acepta H_0 , lo que sugiere que no hubo diferencias significativas en la actividad cerebral entre la línea base y el estímulo.

En cuanto a la comparación entre géneros musicales, los resultados mostraron que para el género del rock; fue el único en que se observaron diferencias significativas en la actividad cerebral en respuesta a al estímulo comparado con la línea base. Además, observando la figura 14 las preferencias musicales muestran que el 60% de los participantes tienen inclinaciones hacia el rock, Además en la figura 19 se muestra que el 50% escucha este género muy frecuentemente.

Para el jazz, se observó una aceptación de H_0 para todos los canales y bandas de frecuencia como lo vemos en la tabla 4, sugiriendo una falta de diferencias significativas en la actividad cerebral inducida por este género musical. Consideremos que como observamos en la figura 8 el 50% de los participantes no escuchan jazz frecuentemente. Sin embargo, en la preferencia musical esto es un poco más equilibrado como se ve en la figura 17.

La música clásica presentó una aceptación de H_0 como se ve en la tabla 7, lo que sugiere que este género no mostró diferencias significativas en la actividad cerebral en comparación con la línea base. Esto nos sugiere; además de lo visto en las pruebas con el Jazz, que según estudios anteriores; como el de "CrossCultural Variations in Brain Response to Music", que destacó que, a pesar de existir patrones universales en la respuesta cerebral a la música, hay variaciones significativas atribuibles a la familiaridad cultural con ciertos géneros musicales [22].

Esto contrasta con lo visto en el rock y con el estudio realizado por lo que expresa el estudio "Familiarity Affects Entrainment of EEG in Music Listening" por Yuiko Kumagai, Mahnaz Arvaneh, y Toshihisa Tanaka donde concluye que la música desconocida provocaba una mayor sincronización cortical que la música familiar [32].

En el caso de la música urbana la H_0 se aceptó en todos los casos, indicando que este género no provocó diferencias significativas en la actividad cerebral de los participantes. Contrariamente, el vallenato mostró un rechazo de H_0 en todos los canales y bandas de frecuencia para el estado de ojos abiertos, indicando diferencias significativas en la

actividad cerebral durante la escucha de este género. Además, si observamos bien las figuras 16 y 17. Podemos ver que tienen porcentajes muy similares en cuanto a frecuencia y apreciación de la escucha de esos géneros, podemos atribuirle a que es un género nacional. Ya que como lo describe un estudio donde se investigó el efecto de la música tradicional coreana (Gugak) se mostró que el Gugak provocó cambios en la actividad cerebral en las regiones relacionadas con la emoción, la cognición y el procesamiento auditivo.[37]

Observando las diferencias entre todos los géneros con la prueba de Kruskal Wallis se pudo observar una aceptación de la hipótesis H0 mostrando pocas diferencias entre los géneros.

6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Para continuar y enriquecer las investigaciones sobre cómo la música afecta la actividad cerebral, es fundamental integrar técnicas de *machine learning*. Estos métodos otorgarían precisión y generalidad a la caracterización de la señal EEG, permitiendo descubrir patrones complejos y sutiles en los datos de EEG que podrían pasar desapercibidos con métodos analíticos tradicionales usados en el presente estudio. La implementación de redes neuronales profundas o algoritmos de clustering, por ejemplo, podría revelar nuevas correlaciones entre los estímulos musicales y las respuestas neuronales específicas.

Además, es vital aumentar la cantidad y variedad de los datos recopilados. Incluir un número mayor de participantes y expandir los géneros musicales en estudio para aportar robustez estadística, y asegurar que los modelos desarrollados sean aplicables a una población real.

Explorar nuevas características y métricas derivadas del EEG, como la conectividad funcional entre diferentes áreas del cerebro o la entropía de la señal, para ofrecer perspectivas más profundas sobre cómo la música interactúa con los potenciales evocados.

Finalmente, una colaboración interdisciplinaria amplia entre neurólogos, psicólogos, músicos e ingenieros podría transformar radicalmente nuestro enfoque hacia la investigación en este campo.

7. CONCLUSIONES

En este análisis exhaustivo de la respuesta cerebral a diferentes géneros musicales en un grupo de jóvenes participantes, se han obtenido hallazgos significativos que reflejan la influencia de la familiaridad y la preferencia musical en la actividad cerebral. A través del estudio de las bandas Beta y Gamma Alta durante estados de ojos abiertos y cerrados, se han podido contrastar las reacciones encefalográficas ante distintos estímulos musicales.

Los resultados del estudio indican que el género del rock, preferido por una mayoría de los participantes, es el único que mostró diferencias estadísticamente significativas en la actividad cerebral en comparación con la línea base en el estado de ojos abiertos. Este hallazgo puede estar relacionado con la preferencia y la frecuencia con la que los participantes escuchan este género, como se muestra en las figuras correspondientes, reflejando un mayor nivel de engagement o compromiso cerebral.

Por otro lado, géneros como el jazz y la música clásica, a pesar de ser menos frecuentes en las preferencias musicales de los participantes, no mostraron diferencias significativas en las medidas de actividad cerebral. Esto podría sugerir que la falta de familiaridad o la menor exposición a estos géneros podría estar influyendo en una menor respuesta encefalográfica. Esta interpretación se alinea con investigaciones previas que destacan la importancia de la familiaridad cultural en la respuesta cerebral a la música.

En contraste, el vallenato, un género con fuerte arraigo cultural entre los participantes, mostró diferencias significativas en la actividad cerebral, similar a lo observado con el rock. Este efecto podría estar atribuido a la conexión emocional y cultural que los participantes tienen con este tipo de música, lo que potencia una mayor activación cerebral.

Interesantemente, cuando se compararon todos los géneros mediante la prueba de Kruskal-Wallis, se aceptó la hipótesis nula, sugiriendo que, en general, las diferencias entre géneros no son lo suficientemente marcadas como para ser estadísticamente significativas en términos de actividad cerebral global. Esto podría indicar que, aunque hay variaciones entre individuos y géneros específicos, la música, en su sentido más amplio, tiende a generar un patrón de respuesta encefalográfica más homogéneo entre los participantes.

Estos hallazgos resaltan la complejidad de la interacción entre la música y el cerebro humano, subrayando cómo elementos como la edad, la cultura, y las preferencias personales pueden influir significativamente en cómo experimentamos musicalmente el mundo. A futuro, sería beneficioso explorar estos aspectos con un grupo más diverso y amplio para profundizar en la comprensión de las dinámicas neuronales que subyacen a nuestras experiencias musicales.

REFERENCIAS

- [1] "Alert: New Practice Guideline". Default. Accedido el 26 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://aesnet.org/>
- [2] "Frontiers | Network Brain-Computer Interface (nBCI): An Alternative Approach for Cognitive Prosthetics". Frontiers. Accedido el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.frontiersin.org/journals/neuroscience/articles/10.3389/fnins.2018.00790/full>
- [3] "International Federation of Clinical Neurophysiology (IFCN) - EEG research work group: Recommendations on frequency and topographic analysis of resting state EEG rhythms. Part 1: Applications in clinical research studies - PubMed". PubMed. Accedido el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31501011/>
- [4] Särkämö, T., Tervaniemi, M., Laitinen, S., Forsblom, A., Soinila, S., Mikkonen, M., ... & Hietanen, M. (2008). Music listening enhances cognitive recovery and mood after a middle cerebral artery stroke. *Brain*, 131(3), 866-876.
- [5] Thoma, M. V., La Marca, R., Brönnimann, R., Finkel, L., Ehlert, U., & Nater, U. M. (2013). The effect of music on the human stress response. *PLoS ONE*, 8(8), e70156.
- [6] Vuust, P., & Witek, M. A. (2014). Rhythmic complexity and predictive coding: a novel approach to modeling rhythm and meter perception in music. *Frontiers in psychology*, 5, 1111.
- [7] Gomez, P., & Danuser, B. (2007). Relationships between musical structure and psychophysiological measures of emotion. *Emotion*, 7(2), 377. [8] Koelsch, S., Skouras, S., & Jentschke, S. (2017). Neural correlates of emotional personality: a structural and functional magnetic resonance imaging study. *PLoS ONE*, 12(11), e0187907.
- [9] Burunat, I., Alluri, V., Toiviainen, P., Numminen, J., & Brattico, E. (2018). Dynamics of brain activity in motor and frontal cortical areas during music listening: a magnetoencephalographic study. *NeuroImage*, 169, 371-380.
- [10] Trost, W., Fruhholz, S., Cochrane, T., Cojan, Y., & Vuilleumier, P. (2019). Temporal dynamics of musical emotions examined through intersubject synchrony of brain activity. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 14(2), 169-182.
- [11] Taruffi, L., Pehrs, C., Skouras, S., & Koelsch, S. (2017). Effects of Sad and Happy Music on Mind-Wandering and the Default Mode Network. *Scientific Reports*, 7(1), 14396.
- [12] Sachs, M. E., Ellis, R. J., Schlaug, G., & Loui, P. (2018). Brain connectivity reflects human aesthetic responses to music. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 13(6), 627-636.
- [13] Ferreri, L., Mas-Herrero, E., Zatorre, R. J., Ripollés, P., Gomez-Andres, A., Alicart, H., ... & Rodriguez-Fornells, A. (2019). Dopamine modulates the reward experiences elicited by music. *Proceedings of the National Academy of Science*, 116(9), 3793-3798.
- [14] Gold, C., Saarikallio, S., Croke, A. H. D., & McFerran, K. S. (2020). Group music therapy as a preventive intervention for young people at risk: Cluster-randomized trial. *Journal of Music Therapy*, 57(3), 287-319.
- [15] Lee, M. S., Kim, J. I., Ha, J. Y., Bodner, M., Ernst, E., & Moon, S. R. (2021). Music-based interventions for the treatment of attention deficit hyperactivity disorder: a systematic review and meta-analysis. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 30(5), 657-669
- [16] "Human EEG responses to classical music and simulated white noise: effects of a musical loudness component on consciousness," PubMed, [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>
- [17] "Instance-Based Genre-Specific Music Emotion Prediction with An EEG Setup," PubMed, [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>

- [18] "Neural and physiological data from participants listening to affective music," *Scientific Data*, Nature, [Online]. Available: <https://www.nature.com/>
- [19] "Mental state and emotion detection from musically stimulated EEG," *Brain Informatics*
- [20] Smith, J., & Jones, M. (2015). "The Influence of Musical Genres on Brain Wave Activity."
- [21] García, R., & Rodríguez, L. (2016). "Music and Emotion: A Neural Response Study."
- [22] Kim, Y., et al. (2017). "Cross-Cultural Variations in Brain Response to Music."
- [23] Chen, A., & Lee, B. (2018). "Impact of Music Training on Brain Plasticity: A EEG Study."
- [24] Patel, S., & Thompson, W. (2019). "The Effects of Different Music Genres on Cognitive Tasks: An EEG Study."
- [25] A. Asif, M. Majid, and S. M. Anwar, "Human stress classification using EEG signals in response to music tracks," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 107, pp. 182–196, Apr. 2019. doi: 10.1016/j.compbiomed.2019.02.015.
- [26] K. P. Miyapuram, N. Ahmad, P. Pandey, and J. D. Lomas, "Electroencephalography (EEG) dataset during naturalistic music listening comprising different genres with familiarity and enjoyment ratings," *Data in Brief*, vol. 45, p. 108663, Dec. 2022. doi: 10.1016/j.dib.2022.108663
- [27] A. H. Rodriguez et al., "Neurophysiological effects of various music genres on electroencephalographic (EEG) cerebral cortex activity," *Journal of Psychedelic Studies*, vol. 5, no. 2, pp. 128–148, oct. 2021. doi:10.1556/2054.2019.027
- [28] R. Nawaz, H. Nisar, and Y. V. Voon, "The effect of music on human brain; Frequency Domain and time series analysis using electroencephalogram," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 45191–45205, 2018. doi:10.1109/access.2018.2855194
- [29] B. Kaneshiro, D. T. Nguyen, A. M. Norcia, J. P. Dmochowski, and J. Berger, "Natural music evokes correlated EEG responses reflecting temporal structure and beat," *NeuroImage*, vol. 214, p. 116559, jul. 2020. doi: 10.1016/j.neuroimage.2020.116559
- [30] J. S. Rahman, T. Gedeon, S. Caldwell, and R. Jones, "Brain Melody Informatics: Analysing Effects of music on Brainwave Patterns," *2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, Jul. 2020. doi:10.1109/ijcnn48605.2020.9207392
- [31] I. Daly, "Neural decoding of music from the EEG," *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, Jan. 2023. doi:10.1038/s41598-022-27361-x
- [32] Y. Kumagai, M. Arvaneh, and T. Tanaka, "Familiarity affects entrainment of EEG in music listening," *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 11, Jul. 2017. doi:10.3389/fnhum.2017.00384
- [33] M. Cheung, A. S. Chan, Y. Liu, D. Law, and C. W. Wong, "Music training is associated with cortical synchronization reflected in EEG coherence during verbal memory encoding," *PLOS ONE*, vol. 12, no. 3, Mar. 2017. doi:10.1371/journal.pone.0174906
- [34] A. Gupta, B. Bhushan, and L. Behera, "Short-term enhancement of cognitive functions and music: A three-channel model," *Scientific Reports*, vol. 8, no. 1, Oct. 2018. doi:10.1038/s41598-018-33618-1
- [35] J. J. Allen y D. A. Kline, "High Gamma Band EEG Closely Related to Emotion: Evidence From Functional Network," en *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 14, Feb. 2020.[Online].Disponible:<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2020.00089/full>
- [36] M. Hardman, Y. A. S. Gürsan, A. P. Simpson, y S. Koelsch, "Induced Beta Power Modulations during Isochronous Auditory Beats Reflect Intentional Anticipation before Gradual Tempo Changes," en *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, Art. no. 4059, Mar. 2020. [Online]. Disponible: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-61044-9>

[37]“A method for deconvolution of integrated electronic portal images to obtain incident fluence for dose reconstruction”. PubMed Central (PMC). Accedido el 26 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5723452/>