

Maestría en Ingeniería Electrónica

Sistema de neurorealimentación musical enfocado en mujeres que han vivido situaciones de violencia en el marco de la pareja

Álvaro José Bocanegra Pérez

Bogotá D.C., Julio 2020

Sistema de neurorealimentación musical enfocado en mujeres que han vivido situaciones de violencia en el marco de la pareja

Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Electrónica, con énfasis en Biomédica.

Juan Manuel López

Tutor del trabajo

**Alejandra Rizo
Diana Carolina Cárdenas**

Co-Tutoras del trabajo

Jurados: Sandra Liliana Cancino y Laura Andrea León

Bogotá D.C., Julio 2020

La tesis de maestría titulada “Sistema de neurorealimentación musical enfocado en mujeres que han vivido situaciones de violencia en el marco de la pareja”, presentada por Álvaro José Bocanegra Pérez, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Electrónica con énfasis en Biomédica.

Tutor: Juan Manuel López.

Co-Tutoras: Alejandra Rizo y Diana Carolina Cárdenas.

Bogotá, D.C., día 27 del mes julio del año 2020.

Resumen

Los sistemas de neurorealimentación son en diversos contextos. Generalmente estos sistemas cuentan con una realimentación visual, auditiva o háptica. Existe evidencia de los beneficios del uso de música. Sin embargo, y pese a que existen otros sistemas de neurorealimentación en estos contextos, lo cierto es que no existen sistemas de neurorealimentación musical para estimulación de memoria, y pocos se han desarrollado para la regulación de estrés. El presente sistema fue diseñado como respuesta de una investigación anterior llamada “Reconocimiento Emocional, Memoria Emocional y respuesta Fisiológica en Víctimas de Violencia de Pareja”. Con este antecedente, el proyecto tiene un componente psicosocial fuerte y reúne un equipo interdisciplinario para su desarrollo.

El sistema diseñado permite modificar los siguientes parámetros de la canción: tempo, volumen y volumen de la voz del cantante. Utilizando estos 3 tipos de realimentación se diseñaron 8 actividades para la estimulación de memoria y 5 para la regulación de estrés. Las actividades contaban con diferentes niveles de dificultad y se aplicaron en varias sesiones. El proceso de creación de estos protocolos, así como del sistema de neurorealimentación se realizó en un grupo interdisciplinario, de manera que se consideraron aspectos de ingeniería, psicología social y neurociencias.

Para el procedimiento se contó con la participación de dos mujeres (43 y 52 años de edad) que habían sido parte del proyecto anterior. Los resultados obtenidos muestran que las participantes fueron capaces de regular su actividad eléctrica cerebral relacionada a ondas alfa y theta. El análisis de desempeño muestra una mejoría en el dominio de las estrategias propuestas para la regulación de los niveles de estrés y la estimulación de la memoria. Los resultados de las pruebas psicométricas apoyan lo encontrado al analizar los resultados de desempeño.

El sistema propuesto es innovador, los resultados encontrados durante la realización de este proyecto son prometedores y presentan un antecedente importante para la realización de estudios parecidos en el futuro.

Índice

1. Introducción	6
1.1. Justificación	6
1.2. Marco teórico	7
1.2.1. Enfoque psicosocial	7
1.2.2. Neurociencias	8
1.2.3. Procesamiento de señales	9
1.3. Estado del arte	15
2. Objetivos	16
2.1. General	16
2.2. Específicos	16
3. Métodos	17
3.1. Gestión de recursos y personal	17
3.2. Protocolo de las actividades	17
3.3. Desarrollo técnico	22
3.3.1. Interfaz Gráfica de Usuario	22
3.3.2. Adquisición y procesamiento de EEG	25
3.3.3. Sistema de modificación de audio	26
4. Resultados	29
4.1. Resultados en tareas de regulación de estrés	30
4.2. Resultados en tareas de estimulación de memoria	36
5. Discusión	41
5.1. NFB en estimulación de memoria	41
5.2. NFB en regulación de estrés	41
6. Conclusiones	44

Índice de figuras

1.	Señal de EEG.	11
2.	Transformada de Fourier de la señal mostrada en la figura 1	11
3.	Transformada de Fourier de la señal mostrada en la figura 1, omitiendo el pico de baja frecuencia	12
4.	Ventana de 1 segundo de la señal original.	12
5.	Ventana de 1 segundo de la señal original.	13
6.	Transformada de Fourier de la señal mostrada en la figura 4	13
7.	Transformada de Fourier de la señal mostrada en la figura 5	14
8.	Diagrama general de procesamiento de señales.	14
9.	Diagrama del proceso de creación del protocolo.	18
10.	Protocolo para cada sesión.	21
11.	Interfaz principal.	23
12.	Interfaz de registro.	23
13.	Interfaz de actividades de memoria.	24
14.	Interfaz de actividades de estrés.	24
15.	Diagrama del algoritmo de procesamiento de EEG.	26
16.	Ventana aplicada a cada segundo de audio y ejemplo de amplitud de la ventana con solapamiento.	27
17.	Esquema utilizado para la creación de mapas de calor. En la parte superior hay una figura de triángulo con una punta abierta que representa la nariz, la parte diametralmente opuesta representa la parte posterior de la cabeza. Este esquema se llena con colores que representan la potencia de una frecuencia particular en los electrodos escogidos. En este esquema también se muestran los electrodos escogidos y su ubicación.	29
18.	Mapa de calor para la banda α durante la actividad “Cuerpo” en el nivel 1 para la participante A. A muestra el mapa de calor durante la línea base y B muestra el mapa de calor durante el resto de la actividad	33
19.	Mapa de calor para la banda α durante la actividad “Cuerpo” en el nivel 1 para la participante N. A muestra el mapa de calor durante la línea base y B muestra el mapa de calor durante el resto de la actividad	33
20.	Mapa de calor para la banda α durante la actividad “Regula tu respuesta de estrés” en el nivel 3 para la participante A. A muestra el mapa de calor durante la línea base y B muestra el mapa de calor durante el resto de la actividad	34
21.	Mapa de calor para la banda α durante la actividad “Regula tu respuesta de estrés” en el nivel 3 para la participante N. A muestra el mapa de calor durante la línea base y B muestra el mapa de calor durante el resto de la actividad	34
22.	Diferencia entre línea base y registro de la actividad para onda alfa vs la tarea según el código establecido en la sección 3.2	35
23.	Mapa de calor para la banda θ durante la actividad “Rápidos y Furiosos” en el nivel 1. A muestra el mapa de calor durante la línea base y B muestra el mapa de calor durante el resto de la actividad	37
24.	Mapa de calor para la banda θ durante la actividad “Rápidos y Furiosos” en el nivel 2. A muestra el mapa de calor durante la línea base y B muestra el mapa de calor durante el resto de la actividad	38
25.	Diferencia entre línea base y registro de la actividad para onda theta vs actividad según el código establecido en la sección 3.2	38

Índice de tablas

1.	Relación entre tarea y tipo de NFB.	28
2.	Resultados de tareas para regulación de respuestas de estrés de la participante A.	31
3.	Resultados de tareas para regulación de respuestas de estrés de la participante N.	32
4.	Resultados de tareas de estimulación de memoria de la participante A.	37

1. Introducción

La violencia contra las mujeres es una problemática social que existe hace mucho tiempo y se ha llegado a legitimar. Esto ha generado distintos tipos de consecuencias que pueden llegar a ser fisiológicas, cognitivas y psicosociales tanto para la mujer como para la sociedad; por ejemplo, se ha encontrado que los eventos violentos pueden llegar a alterar funciones cognitivas relacionadas a la memoria y el aprendizaje [1] e incluso pueden llegar a generar problemas de estrés postraumático [2]. En este sentido, el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan trabajar con esta población debe ser considerado por la comunidad científica. Estos esfuerzos ganan impacto al ir de la mano con estrategias de divulgación y concientización sobre los diversos aspectos de la violencia contra las mujeres y sus consecuencias.

El estudio de esta problemática está entonces siempre situado en un contexto social y no debe desligarse de este. Las tecnologías a desarrollar pueden estar enfocadas en el estudio de parámetros cognitivos que podrían verse afectados por hechos violentos, como es el caso de la memoria y de elementos de orden psicológico como la respuesta de estrés. Una de las herramientas más utilizadas para el análisis de estos parámetros, así como para el desarrollo de nuevas tecnologías en esta área es la señal de electroencefalografía (EEG), la cual brinda información acerca de la actividad eléctrica del cerebro. La señal de EEG en conjunto con sistemas de neurorealimentación, los cuales permiten caracterizar las señales para determinar el estado del usuario. El análisis de señales de EEG permite presentar una realimentación al usuario basada en su actividad cerebral. Este tipo de sistemas permiten trabajar protocolos de estimulación y son utilizados, entre otras cosas, para tratar desórdenes psiquiátricos como déficit de atención con hiperactividad, fobias, trastornos de ansiedad o de estrés postraumático [3, 4, 5]. Además, existe evidencia sobre la importancia de la realimentación auditiva sobre funciones disminuidas, es decir, funciones cognitivas afectadas negativamente, especialmente relacionadas con la consciencia [6]. El uso de sistemas de NFB va ligado a una estimulación visual, háptica o auditiva que el participante regula con su actividad cerebral. Se sabe que los procesos de escucha de música son complejos y requieren el uso de varias partes del cerebro [7, 8], es por ello que se decidió diseñar un sistema de neurorealimentación musical.

Tradicionalmente, las intervenciones a esta población de mujeres se realizan desde el trabajo social o la psicología, sin embargo, la propuesta de este proyecto requiere un trabajo interdisciplinar. Es por ello que la alianza entre los semilleros de investigación Tejiendo Saberes y de Neurociencia Básica y Clínica de la Corporación Universitaria Minuto de Dios y el semillero de Procesamiento de Imágenes y Señales (PROMISE) de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito resulta ser fundamental para el desarrollo del proyecto. A la par con este proyecto se está desarrollando un proyecto llamado “Reconocimiento Emocional, Memoria Emocional y respuesta Fisiológica en Víctimas de Violencia de Pareja” en el que han participado cerca de 50 mujeres. Las mujeres que participaron en este proyecto manifestaron su interés en trabajar temas relacionados con memoria y estrés. De esta manera, se propone el desarrollo de un sistema de neurorealimentación musical que permita aplicar protocolos de regulación de estrés y estimulación de memoria en mujeres que han vivido situaciones de violencia en el marco de la pareja. Y, considerando la naturaleza de la problemática, se decidió realizar este proyecto en conjunto y contando con la colaboración de profesionales y estudiantes en los campos de psicología e ingeniería.

1.1. Justificación

Según la Organización Mundial de la Salud, la violencia contra las mujeres se entiende como todo acto de violencia de género que resulte en un daño físico, sexual o psicológico para la mujer, inclusive las amenazas de tales actos, la coacción o la privación arbitraria de libertad, tanto si se producen en la vida pública como en la privada, y, para 2017, un 35 % de la población mundial de mujeres han sido víctimas de este fenómeno [9].

En Colombia, la ley 1257 de 2008 define este tipo de violencia como cualquier acción u omisión que cause la muerte o algún tipo de daño o sufrimiento a una mujer debido a su género y reconoce 5 tipos de violencia: sexual, psicológica, física, económica y patrimonial. Estadísticas del año 2014 muestran que la violencia contra la mujer en el marco de la pareja es el tipo de violencia contra la mujer más común en Colombia [10]. Esto, sumado a que en este país cada 6 días se reporta que una mujer es asesinada por su pareja o por su pareja anterior [11] permite ver con claridad que este es un problema a nivel mundial, y en la sociedad colombiana.

Los datos indican que en Colombia, y en el mundo, es común encontrar casos de violencia contra las mujeres. Este tipo de eventos hacia las mujeres pueden generar sensaciones de miedo, confusión, preocupación y culpa en ellas. Este contexto resulta ser una variable predictora de la salud física y mental de la población de mujeres. Además, puede afectar la calidad de vida de las mujeres debido a la sensación de amenaza y pérdida del bienestar [1]. Puede, incluso, llegar a generar diversas consecuencias en las mujeres dentro de las cuales podemos encontrar estrés postraumático [2], adicionalmente, diversos procesos cognitivos pueden verse afectados. La memoria, y especialmente la memoria declarativa, suele ser afectada por estos eventos [1]. Una manera de aplicar protocolos para disminuir y prevenir estas afectaciones es la neurorealimentación (NFB por sus siglas en inglés).

La NFB constituye un mecanismo que usa la actividad del cerebro (usualmente la actividad eléctrica) para realimentar al sujeto. Esta técnica se suele utilizar para hacer que el sujeto se de cuenta de comportamientos que de otra forma, serían difíciles de detectar. Tal es el caso de los sistemas de NFB para tratar déficit de atención con hiperactividad. Al analizar las señales eléctricas del cerebro es posible determinar el nivel de atención del individuo, y al estar este nivel por debajo de cierto umbral, realizarse una realimentación negativa. Generalmente la realimentación es visual, pero puede ser también auditiva, háptica o de cualquier tipo. Se ha estudiado el uso de NFB para tratar el trastorno de déficit de atención con hiperactividad [3], trastornos de ansiedad [4], trastornos de estrés postraumático [5], entre otros.

Una de las características más importantes del NFB es la realimentación [12]. Generalmente los protocolos se basan en cómo va a ser el estímulo, dependiendo de la actividad eléctrica que se espera encontrar en el EEG, y cómo va a ser la realimentación dependiendo de las características de esta señal. Esta es una de las razones por las cuales el trabajo interdisciplinar resulta fundamental al trabajar con NFB. Para el caso de la estimulación auditiva, Lichtensztejn et al. [6] realizaron un estudio enfocado en analizar la musicoterapia como tratamiento para pacientes con desórdenes de consciencia y encontraron que la música es un elemento importante para recuperar funciones disminuidas, debido a que tiene un impacto sobre diferentes zonas del cerebro. En este sentido existe una oportunidad para investigar el uso de sistemas de NFB. Pese a ello, existen pocos trabajos que realicen un acercamiento como el propuesto en este proyecto. Uno de los antecedentes se centra principalmente en pacientes con diagnóstico de depresión [13], en este trabajo se desarrolla un sistema de NFB musical para analizar valencia emocional, consiguiendo una mejoría en los pacientes. El otro antecedente es un sistema de NFB musical para la regulación de estrés [14], este es un estudio piloto propone un sistema de realimentación musical que regula el volumen de la música a través de la modulación de onda alfa. Los resultados muestran diferencias en la modulación de las ondas al utilizar la música, sin embargo, las estrategias de modulación no son claras y en general el trabajo no es claro en aspectos como medidas psicométricas o diferencias de tiempo entre las aplicaciones. En ese sentido, existe una oportunidad de innovación con este proyecto.

1.2. Marco teórico

Para explicar toda la teoría de este proyecto, es necesario dividirla en los 3 enfoques desde los que se abordó el problema originalmente. En primer lugar, el enfoque psicosocial, con el cual se pretende entender la problemática de la violencia contra las mujeres en el marco de las relaciones de pareja, sus causas y consecuencias. En segundo lugar, el enfoque de neurociencias, con el cual se busca entender los conceptos de memoria y estrés desde un punto de vista biológico. Y por último, el enfoque de procesamiento de señales, con el que se desea entender las características de la señal de EEG, así como las herramientas necesarias para analizarla y realizar la realimentación.

1.2.1. Enfoque psicosocial

La Organización Mundial de la Salud indica que el tipo de violencia contra la mujer más común ocurre en el marco de la pareja, esto incluye agresiones físicas, sexuales y emocionales y generalmente este tipo de abuso es silenciado [15]. La normalización de estos comportamientos se debe a una cultura patriarcal. Algunos comportamientos abusivos por parte de los hombres se ven justificados, tanto en los espacios públicos como en espacios privados, debido al hecho de ser hombres. Una de las consecuencias que trae este comportamiento que los ciclos de violencia se mantienen, debido a que son socialmente aceptados, lo que desemboca en daños a la vida y la salud de las mujeres. Dado que este tipo de crimen suele esconderse, las consecuencias producidas

por estos actos violentos sobre la salud física y mental de las mujeres no son del todo claras; pese a esto, los eventos violentos constituyen un riesgo latente para las mujeres [1]. Entre las posibles consecuencias que se pueden generar, los estudios han mostrado que, en algunos casos, las mujeres experimentan un decremento en su habilidad para tomar decisiones, ansiedad, angustia, inseguridad y miedo, todo esto como respuesta a la situación de violencia [16].

Este es un problema en muchas sociedades, es por ello que internacionalmente se considera que este tipo de violencia es una violación a los derechos humanos. Debido a todo esto, en Colombia, en el año 2008, se creó la ley 1257 para sensibilizar, prevenir y sancionar las formas de violencia y discriminación contra la mujer. Sin embargo, aún con la aplicación de la ley, lo cierto es que existe una gran cantidad de mujeres que sufren de este tipo de violencia a lo largo del país. En el año 2014 se registraron 75.939 casos de violencia intrafamiliar, de los cuales 48.849 correspondieron a violencia en el marco de las relaciones de pareja. En estos casos las mujeres fueron las víctimas más frecuentes [10].

Para ser más claros con respecto a qué se considera violencia en Colombia, la ley reconoce 5 tipos de violencia [17]:

- La violencia económica que se entiende como cualquier acción u omisión enfocada al abuso económico, el control abusivo de las finanzas, recompensas o castigos a las mujeres por su condición social, económica o política.
- La violencia psicológica que se entiende como cualquier acción u omisión que degrade o controle las acciones, comportamientos, creencias y decisiones de las otras personas por medio de intimidación, manipulación, amenaza directa o indirecta, humillación o cualquier otra conducta que implique un prejuicio en la salud psicológica, la autodeterminación o el desarrollo personal.
- La violencia física, que es aquella con conlleva un riesgo o disminución de la integridad corporal de la mujer.
- La violencia sexual cuyas consecuencias vienen de la acción consistente en obligar a la mujer a mantener contacto sexualizado, físico o verbal, o a participar en interacciones sexuales en contra de la voluntad de la mujer, sea con la persona que la está obligando o con terceros.
- La violencia patrimonial, que consiste en la pérdida, transformación, sustracción, destrucción, retención o distracción de objetos, instrumentos de trabajo, documentos personales, bienes, valores, derechos o económicos destinados a satisfacer las necesidades de la mujer.

Si bien esta problemática parece estar alejada de la ingeniería, lo cierto es que, al trabajar directamente con la población es necesario conocer el contexto y tenerlo en cuenta durante los encuentros físicos con las mujeres. Es por ello que la colaboración interdisciplinaria para la creación de protocolos que permitan dar a conocer el problema, así como las medidas que existen al respecto, es parte fundamental de este trabajo.

1.2.2. Neurociencias

La violencia contra las mujeres en el marco de la pareja es considerada un estresor social crónico que puede generar un efecto en las respuestas emocionales y comportamentales. La actividad cerebral relacionada con el estrés se centra en el eje hipotálamo-hipofisario-suprarrenal, eje desde el cual se genera el cortisol [18, 19, 20]. Las situaciones estresantes provocan además un incremento en la adrenalina y noradrenalina. Generalmente la presencia de estas hormonas provoca una reacción de lucha o huida con la que se puede, por ejemplo, experimentar cambios en la presión sanguínea o la frecuencia cardíaca [21]. La segregación excesiva de estas hormonas ha sido asociada con patologías fisiológicas y alteraciones en la actividad eléctrica del cerebro, así como, riesgo de desarrollar diabetes, hipertensión o enfermedades arteriales, dificultad para desarrollar o reparar tejidos y alteraciones en el hipocampo, la amígdala y los lóbulos frontales, afectando principalmente procesos de memoria y aprendizaje [22]. El estrés puede llegar a generar consecuencias graves de ser crónico, sin embargo, también es una respuesta natural del cuerpo. De hecho, el estrés se entiende como una respuesta adaptativa que mantiene la homeostasis del organismo, ante una situación de amenaza o agresión.

En el caso de la violencia contra las mujeres en el marco de las relaciones de pareja, se vincula este aumento significativo de cortisol con estrés postraumático [23]. Se ha encontrado que las funciones de memoria en mujeres que sienten este tipo de estrés se ven disminuidas. Algunas funciones relacionadas al aprendizaje y la memoria de trabajo disminuyen incluso cuando la mujer está bajo estrés postraumático, consecuencia del evento violento [24].

Otras consecuencias de los eventos violentos están relacionadas con la disminución del desempeño cognitivo, entendiendo este como los procesos del saber, incluyendo atender, recordar y razonar. La afectación de estas funciones debido a los eventos violentos trae consecuencias entre las que se pueden destacar las afectaciones a la memoria y el aprendizaje, tal y como ocurre con el estrés postraumático, y además, afectaciones a las funciones ejecutivas [25]. Estas últimas están muy relacionadas con la memoria, específicamente con la memoria de trabajo. Para entender este tipo es necesario definir la memoria, esta se entiende como un proceso psicológico cuya función es codificar información, almacenarla y luego recuperarla según sea necesario [26]. Existen muchas maneras de clasificar los tipos de memoria, sin embargo, una de las formas más aceptadas actualmente es memoria de largo plazo, memoria de corto plazo y memoria de trabajo. La diferencia entre la memoria de largo y corto plazo se puede intuir a partir de los nombres, y radica en el tiempo. La primera se entiende como una gran reserva de conocimiento acerca de eventos pasados, esta a su vez puede dividirse en subcategorías como la memoria declarativa o procedimental. Por otro lado, la memoria a corto plazo se entiende como información que se encuentra disponible para su acceso en un periodo corto de tiempo. El concepto de memoria de trabajo es parecido al de memoria de corto plazo, pero se diferencia al resaltar el papel de la manipulación de la información debido a que la memoria de trabajo se utiliza para realizar tareas y siempre tiene un objetivo [27].

El estudio de la memoria es complejo, debido a que hay varias zonas del cerebro involucradas en este proceso. Se sabe que la memoria declarativa está asociada al hipocampo, sin embargo, procesos de memoria no declarativa se asocian con la actividad de los ganglios basales y el cerebelo. Generalmente para el análisis de la memoria desde la señal de EEG se suelen analizar los lóbulos parietal y temporal [28, 29], algunos estudios incluso analizan información de la zona central [28].

Los esfuerzos desde neurociencias para abordar el problema de la violencia contra las mujeres en el marco de las relaciones de pareja tienen muchos enfoques. Se trata de estudiar el problema desde diferentes enfoques para mejorar los entrenamientos clínicos [30], se estudian las relaciones que existen entre la cultura y los efectos que tiene la violencia sobre la salud de las mujeres [31, 32], incluso se estudian las metodologías de estudios de la problemática [33]. Desde ingeniería existe una oportunidad para trabajar en este tema y desarrollar soluciones que incluyan nuevas tecnologías.

1.2.3. Procesamiento de señales

Las primeras medidas electrofisiológicas fueron realizadas sobre animales por Richard Caton en 1875, sin embargo, no sería sino hasta 1924 que Hans Berger empezaría a adquirir señales de la actividad eléctrica del cerebro. A partir de este desarrollo, los científicos comenzaron a estudiar las características del cerebro, a partir de sus señales. Algunas de las herramientas más poderosas utilizadas con este fin son los potenciales evocados, los potenciales relacionados a eventos (ERP por sus siglas en inglés) y el estudio de potencia relativa por bandas [34].

La potencia relativa por bandas es ampliamente usada en el análisis de EEG para sistemas de NFB [3, 4, 5]. El análisis de estas características permite relacionar cambios en algunas bandas de frecuencia con cambios en el cerebro. El estrés, por ejemplo, se relaciona con una disminución de ondas alfa (8 Hz - 12 Hz) y un aumento de ondas beta (12 Hz - 30 Hz) en la zona frontal [34], mientras que los procesos de memoria están más relacionados con la actividad de ondas theta (4 Hz - 8 Hz) en zonas parietal, temporal y en algunos casos central [28].

La manera más común de calcular esta potencia relativa por bandas es a través de la estimación de la Densidad Espectral de Potencia (PSD), a través del método no paramétrico planteado por Welch [35]. Este método se vale de la transformada rápida de Fourier (FFT) y, a través de su periodograma, permite el cálculo de las potencias de cada banda frecuencial. Dado que la potencia puede variar mucho entre ventanas dependiendo del estado de la persona, se suele normalizar con respecto a la potencia de la ventana completa. Es decir, primero se calcula la potencia de la banda de frecuencia a analizar, y luego se divide entre la potencia de todas las bandas de frecuencia en la ventana.

Para explicar el método se considera una señal X_j con $j = 0, \dots, N - 1$. Ahora, se divide esta señal en segmentos de longitud L que pueden superponerse, y con su punto inicial a D unidades, de manera que:

$$X_1(j) = X(j), j = 0, \dots, L - 1. \quad (1)$$

$$X_2(j) = X(j + D), j = 0, \dots, L - 1. \quad (2)$$

$$X_k(j) = X(j + (K - 1)D), j = 0, \dots, L - 1. \quad (3)$$

De esta forma, el primer segmento $X_1(j)$ corresponde a los primeros L elementos de la señal original. El siguiente segmento $X_2(j)$ también tiene una longitud L pero corresponde a los elementos de la señal original desplazados D unidades. Esto se repite sucesivamente hasta llegar a $X_k(j)$ que equivale al último segmento de la señal. En ese sentido, K corresponde al número de segmentos, y el número de unidades que se debe desplazar $D(K - 1)$ unidades. Para que esto se cumpla $(K - 1)D + L = N$. Para cada segmento se calcula un periodograma modificado, es decir, se le aplica una ventana a la cual se le puede denominar $W_j, j = 0, \dots, L - 1$, esta ventana debe tener la misma longitud que cada segmento. Tomando $X_1(j)W(j), X_2(j)W(j), \dots, X_k(j)W(j)$ como la secuencia, se procede a calcular la transformada de Fourier de cada una de las secuencias, de manera que:

$$A_k(n) = \frac{1}{L} \sum_{j=0}^{L-1} X_k(j)W(j)e^{-2kijn/L} \quad (4)$$

Con $A_k(n)$ como la transformada de Fourier de cada segmento $X_k(j)W(j)$. Finalmente, se obtiene el $K^{\text{ésimo}}$ periodograma modificado:

$$I_k(f_n) = \frac{L}{U} |A_k(n)|^2 \quad (5)$$

Siendo I el periodograma y con:

$$f_n = n/L, n = 0, 1, \dots, L/2 \quad (6)$$

$$U = \frac{1}{L} \sum_{j=0}^{L-1} W^2(j) \quad (7)$$

De esta manera, los elementos encontrados con la ecuación 5 dan información acerca de la frecuencia en cada segmento, esto es especialmente útil cuando se analizan procesos que no son estacionarios en el tiempo, debido a que permiten analizar cambios en un momento específico del tiempo. El espectro de la señal completa puede ser determinado a partir de estos periodogramas con el cálculo del promedio de los mismos. Para sistemas de NFB que trabajan en tiempo real, el procesamiento por ventanas es prácticamente obligatorio, y para el análisis de EEG, el cálculo de las potencias relativas por bandas es uno de los descriptores más importantes, como se puede notar en diversos trabajos relacionados con sistemas de NFB [3, 4, 5, 36, 37].

El análisis de EEG a través de esta técnica consiste en separar la señal en ventanas de tiempo y luego calcular la potencia relativa de las bandas frecuenciales de interés. Generalmente, se analizan ratios de la potencia entre bandas de frecuencia, por ejemplo, la relación entre las ondas alfa y beta suele ser inversamente proporcional en procesos relacionados a la atención, es decir, cuando se está más atento, se espera que la potencia de la onda alfa disminuya, mientras que la potencia de la onda beta debería aumentar, esto se debe a que las ondas alfa se suelen asociar con relajación y las ondas beta con procesos que requieren mayor atención. De esta forma, la relación alfa/beta puede ser muy valiosa para estudiar procesos de atención. En concreto, para este trabajo, se encontró que las ondas asociadas al estrés son mayormente alfa y beta, cuyo ratio es directamente proporcional al nivel de estrés. Las ondas relacionadas con memoria son mayormente theta, un aumento en estas ondas representa un aumento en la actividad cerebral relacionada a memoria [38]. Cabe resaltar que, si bien el aumento en la potencia de ondas alfa está relacionado a procesos de relajación, el sistema diseñado presenta una realimentación positiva ante el aumento de estas ondas. Esto se debe a que para el entrenamiento de regulación de estrés se hace uso de

estrategias de “Mindfulness“, las cuales requieren que la participante se concentre en un aspecto particular de su cuerpo, como por ejemplo, su respiración.

Para ejemplificar este análisis se puede tener en cuenta la señal de EEG de la figura 1. Si se quisiese analizar en frecuencia, se podría calcular su transformada de Fourier y se obtendría lo mostrado en la figura 2.

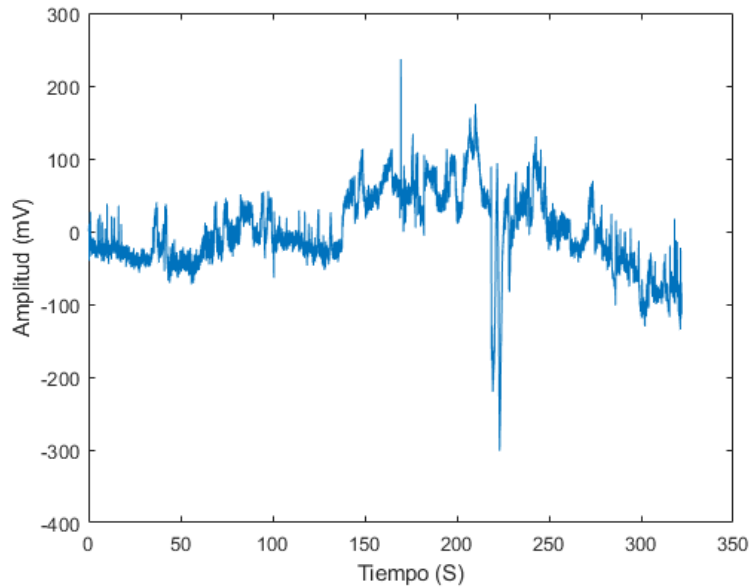


Figura 1: Señal de EEG.

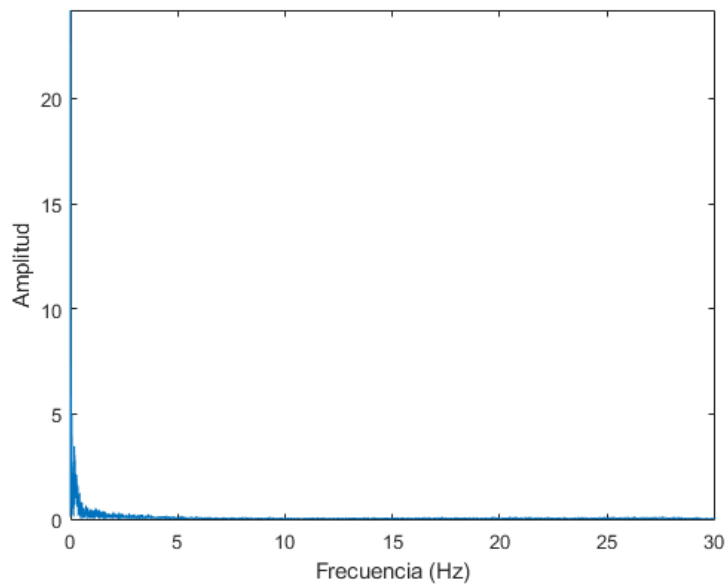


Figura 2: Transformada de Fourier de la señal mostrada en la figura 1

El análisis en frecuencia utilizando este método resultaría muy pobre, incluso al omitir el pico de baja

frecuencia, como se muestra en la figura 3, no es claro como analizar esta señal.

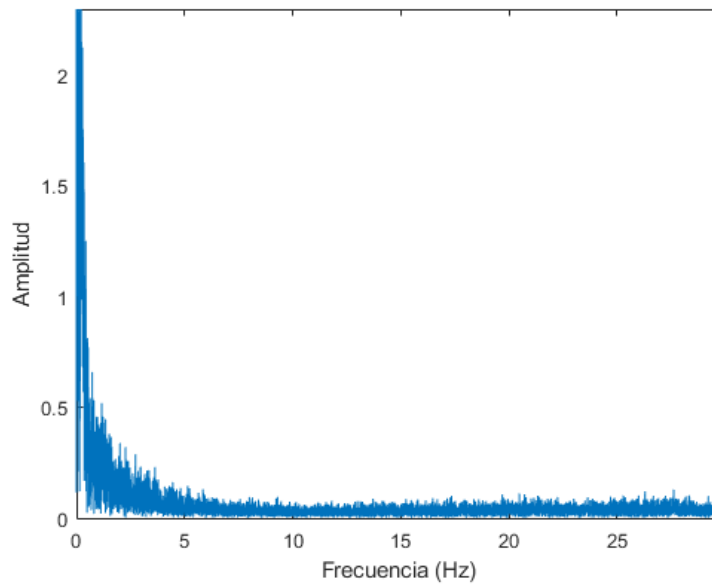


Figura 3: Transformada de Fourier de la señal mostrada en la figura 1, omitiendo el pico de baja frecuencia

Ahora bien, utilizando el método del periodograma de Welch, se pueden tomar ventanas de 1 segundo, con un traslape del 50 % como se muestra en las figuras 4 y 5.

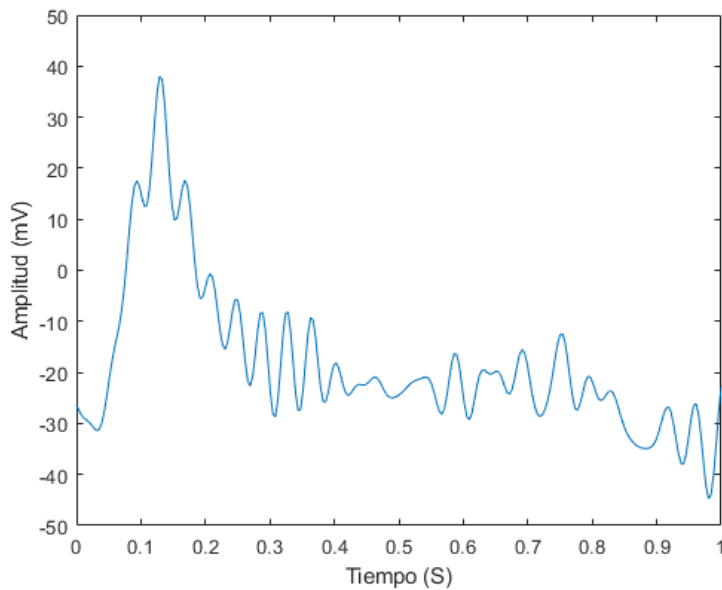


Figura 4: Ventana de 1 segundo de la señal original.

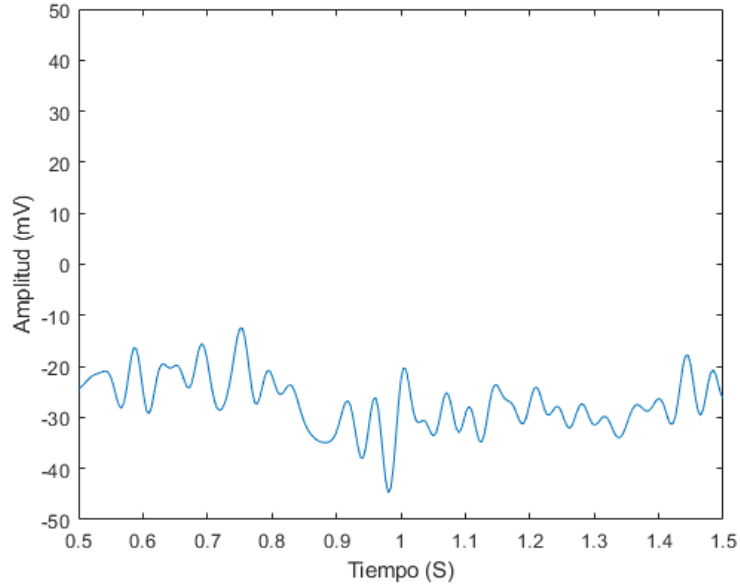


Figura 5: Ventana de 1 segundo de la señal original.

En la figura 4 se muestra una ventana de 1 segundo de la señal original de EEG, concretamente, entre el registro entre el segundo 10 y el segundo 11. En la figura 5 se muestra una ventana de 1 segundo de la señal original, concretamente, entre el segundo 10.5 y el 11.5. Ambas ventanas tienen un traslape del 50%. Al observar las figuras es evidente que, si bien son ventanas consecutivas, tienen características diferentes. Esto se puede comprobar al calcular la transformada de Fourier de cada ventana.

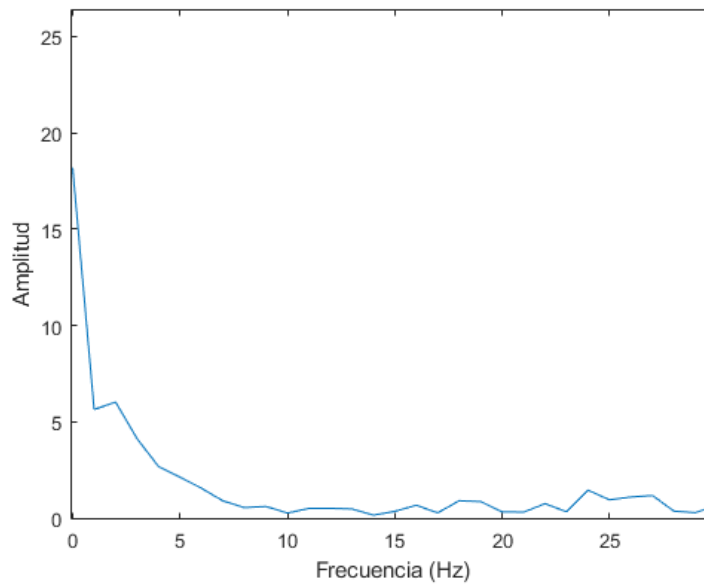


Figura 6: Transformada de Fourier de la señal mostrada en la figura 4

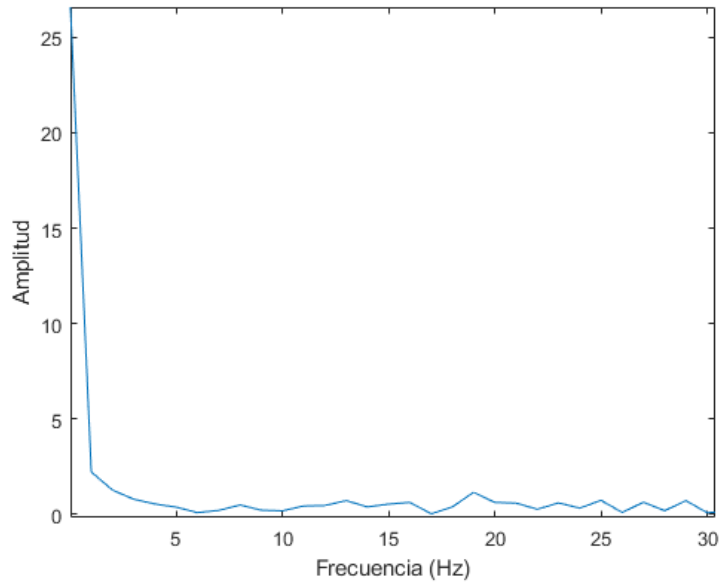


Figura 7: Transformada de Fourier de la señal mostrada en la figura 5

Al comparar las figuras 6 y 7, las diferencias son evidentes. Los componentes de frecuencia alrededor de los 3Hz son mayores en la figura 6. Un análisis de la potencia de la banda delta (0.1Hz - 4Hz) mostraría cómo esta aumenta entre una ventana y la siguiente. Este procedimiento se puede realizar para varias bandas de frecuencia y en todas las ventanas de la señal, permitiendo la creación de un sistema robusto que funcione en tiempo real.

El procesamiento de señales de EEG para el desarrollo de un sistema de NFB va más allá del uso del periodograma de Welch. Un esquema general se muestra en la figura 8. Para empezar, se toma la señal de EEG y se debe realizar un preprocesamiento, que suele incluir filtros para mejorar la calidad de la señal. Esto es especialmente útil si, además de la potencia relativa por bandas, se pretende utilizar características en el dominio del tiempo como los momentos estadísticos o los parámetros de Hjörth [39]. Una vez preprocesada la señal, se realiza la extracción de características, además de la potencia relativa por bandas se suelen extraer características en tiempo, frecuencia o tiempo-frecuencia. Con todas las características se realiza el análisis de la señal. Este proceso depende del problema que se esté abarcando. Ya se ha hablado del estudio de memoria y estrés, sin embargo, también se puede utilizar para tratar algunos trastornos psiquiátricos, rehabilitar miembros afectados por accidentes cerebrovasculares o el estudio de emociones [3, 4, 5, 40], entre otras aplicaciones.

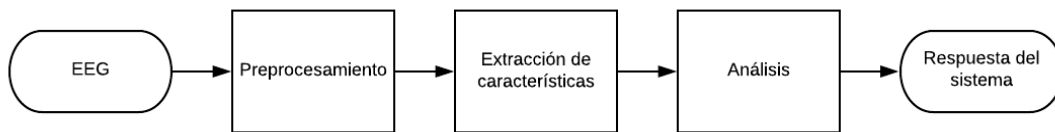


Figura 8: Diagrama general de procesamiento de señales.

Es evidente que la mayor parte del procesamiento va a estar enfocada al análisis de la señal de EEG, sin embargo, existe otra señal de interés para la construcción del sistema de NFB, la señal de audio. Existe una basta cantidad de parámetros a modificar en una pieza musical, sin embargo, para el desarrollo de interfaces NFB musicales, en general, se recomienda alterar parámetros de tiempo e intensidad de la música para la realimentación [40]. La intensidad se percibe como qué tan fuerte suena la pieza, mientras que el tiempo se percibe como qué

tan rápido o lento suena la pieza al momento de reproducirse [40].

1.3. Estado del arte

Pese a que los sistemas de NFB existen hace tiempo, durante la revisión bibliográfica no se encontró un sistema de NFB musical dirigido a la modulación de respuestas de estrés y estimulación de la memoria, por lo que este trabajo está innovando en este campo.

Los sistemas de realimentación basados en señales fisiológicas son ampliamente usados para desarrollar tecnologías que favorezcan a las personas, existen enfocadas a la reducción de estrés [41], para mitigar síntomas de enfermedades como el angioedema hereditario [37] o rehabilitar procesos físicos relacionados a la movilidad después de accidentes cerebro-vasculares [42]. En general, estos sistemas cuentan con una etapa de adquisición de señales, algún tipo de procesamiento y finalmente una realimentación. En el caso de memoria también existen trabajos previos, relacionados principalmente con memoria de trabajo [43, 44]. Estos trabajos tienen como objetivo incrementar las habilidades en memoria, bien sea para recuperar funciones debilitadas o para incrementar funciones que aumenten la productividad, para medir qué tan efectivos fueron los sistemas se realizaron mediciones antes y después de las sesiones de entrenamiento, obteniendo mejores resultados después de los entrenamientos.

Para estrés existen varias alternativas en sistemas de NFB. Subhani et ál. [45] realizaron una revisión de diferentes sistemas utilizados para mitigar estrés, entre los que se encuentran varios sistemas de NFB basados en EEG, espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS), resonancia magnética funcional, entre otros, para el desempeño en concentración o ansiedad. Se menciona también el primer tratamiento para ansiedad basado en NFB [46] en el que se utilizó como realimentación un tono que dependía del voltaje de las ondas alfa en occipital. Es importante resaltar que, aunque el uso de tonos o de música a nivel técnico es muy similar, el procesamiento que hace el cerebro al escuchar música con contenido vocal tiene algunas ventajas sobre la música instrumental, incluso cuando no hay letra, algunos creen que esto se debe a que los tonos de la voz tienen un estatus especial que los hace más interpretables para el cerebro [47]. Sea cual sea la razón, se puede aprovechar esta característica para realizar una realimentación más estimulante. Debido a esto, la música resulta ser objeto de estudio para el análisis del cerebro [7, 8], se relaciona la música con varias regiones del cerebro que a su vez están relacionadas con otros procesos como las emociones, lo cual resulta especialmente útil para trabajar procesos como el estrés.

Uno de los antecedentes más cercanos a la investigación resulta ser el trabajo de tesis de maestría de Ángel David Blanco [13]. En este trabajo se diseña un sistema de NFB con música para tratar síntomas de depresión, como parámetro de referencia para analizar el efecto de la interfaz se utilizó la valencia emocional antes, durante y después de cada sesión. De este trabajo se desprende otro en el que se muestra como existe una mejoría en los pacientes después de terminar las terapias [48]. Otro de los antecedentes los presenta Fedotchev, que en su trabajo desarrolla un sistema de NFB musical para la regulación de estrés [14]. El sistema diseñado hizo uso de un único canal de EEG (O1 según el sistema 10-20), y se muestreó a 128 Hz, para este trabajo se aplicó un filtro pasabajos a 70 Hz. La realimentación del sistema consistió en cambiar el volumen de una pieza de música clásica a través de la regulación de ondas alfa. Para el protocolo se tomó una medida de referencia de 30 segundos, y se comparó con una medida después de aplicar la realimentación. El proceso tomaba 15 minutos, más la línea base, más 2 minutos de registro después de la actividad. Esta actividad se realizó con 16 personas, 8 con NFB y 8 sin él. Al final los resultados muestran que en ambos grupos hubo un incremento de ondas alfa al final de la sesión, pero al utilizar NFB musical este incremento era mayor. Sin embargo, los antecedentes más cercanos al proyecto no vienen de desarrollos de interfaces de NFB, sino del trabajo que se ha hecho relacionado con las mujeres víctimas de violencia en el marco de la pareja [49, 50], en estos estudios se muestra como existe una diferencia fisiológica entre mujeres que han vivido estas situaciones de violencia y mujeres que no las han vivido, concretamente, en la simetría del ratio alfa/beta al experimentar una emoción positiva o negativa. Esto resulta ser importante para el proyecto, debido a que estas diferencias, indican una alteración en el comportamiento de las ondas cerebrales que puede derivar en la afectación de diversos procesos cognitivos que pueden ser mejorados a través de sesiones de entrenamiento de NFB.

2. Objetivos

2.1. General

Diseñar un sistema de neurorealimentación para estrés situacional y memoria declarativa en mujeres víctimas de violencia en el marco de la pareja.

2.2. Específicos

1. Implementar un sistema de neurorealimentación basado en música.
2. Integrar el sistema de neurorealimentación a los protocolos establecidos por los profesionales del área de la salud enfocados en el estrés situacional y la memoria.
3. Procesar las señales fisiológicas adquiridas con la finalidad de observar relaciones entre dichas señales y los procesos de memoria.
4. Procesar las señales fisiológicas adquiridas con la finalidad de observar relaciones entre dichas señales y el nivel de estrés.

3. Métodos

La presente investigación nace del proyecto “Reconocimiento Emocional, Memoria Emocional y respuesta Fisiológica en Víctimas de Violencia de Pareja”. Este primer proyecto permitió identificar necesidades en las mujeres participantes relacionadas con memoria y estrés, llevando a la formulación del proyecto de neurorealimentación musical enfocado en mujeres que han vivido situaciones de violencia en el marco de la pareja. De hecho, el único criterio de inclusión considerado en el presente proyecto es que las mujeres debieron participar en dicho proyecto. Esta manera de trabajar fue conveniente, debido a que los grupos de investigación de la Corporación Universitaria Minuto de Dios y la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito ya se conocían previamente, y las mujeres ya habían tenido un primer contacto con los investigadores de ambas instituciones, así como con los equipos y los lugares para las aplicaciones de los protocolos experimentales.

Al tratarse de un trabajo interdisciplinar, la metodología planteada parte de la planeación del protocolo general y luego se divide en el desarrollo específico del protocolo, las tareas, el desarrollo técnico, la gestión de los equipos y el personal.

Para el protocolo general se pensó en una interfaz gráfica de usuario (GUI), que únicamente realiza realimentación auditiva, es decir que los elementos visuales responden únicamente a una cuestión de manejo de la interfaz, más no a alguna función que pueda repercutir en el desarrollo de las tareas. Esta interfaz y su algoritmo se encargarían de realizar el procesamiento de las señales de EEG así como la realimentación. Partiendo de esto, el equipo disponible para la investigación fue el g.USBamp Research, este es un equipo de adquisición de bioseñales de 16 canales con una resolución de 24 bits y una frecuencia de muestreo modificable de hasta 38.4 KHz [51]. En cuanto al desarrollo de las tareas, se pensó en llevar a cabo actividades que permitieran a las participantes trabajar diferentes tipos de memoria, así como actividades pensadas para regular el estrés. Con estas consideraciones, se realizó una asignación de tareas a los miembros del equipo y se convocaron reuniones periódicas para hacer realimentación de los avances y acoplar los diferentes elementos que componen el proyecto.

3.1. Gestión de recursos y personal

Las sesiones se planearon teniendo en cuenta la disponibilidad de los equipos, el personal y las participantes. Se contó con 2 mujeres para la realización del proyecto (43 y 52 años). Ambas habían hecho parte anteriormente del proyecto “Reconocimiento Emocional, Memoria Emocional y respuesta Fisiológica en Víctimas de Violencia de Pareja”, la mujer que participó en el protocolo de memoria también trabajó más adelante en el protocolo de estrés, de manera que se completaron 2 protocolos de estrés y 1 de memoria. Por facilidad, de ahora en adelante se llamara a la participante que trabajó tanto en los protocolos de memoria como en los de estrés participante A, mientras que la que solo participó en los protocolos de estrés será participante N. El horario para realizar las pruebas fueron los días martes y jueves entre las 8 am y las 5 pm, dependiendo de la disponibilidad de la participante. Adicionalmente, las sesiones de memoria se realizaron en el horario de la mañana, mientras que las de estrés se realizaron en la tarde, esto para evitar el pico de cortisol de la mañana, el cual puede afectar los resultados en las tareas de estrés [52]. Cada sesión tuvo una duración aproximada de 2 horas, razón por la cual, se hizo entrega de un refrigerio, así como de un subsidio de transporte. Las aplicaciones empezaron en septiembre de 2019 y se extendieron hasta febrero de 2020. Debido a que la participante N no pudo asistir a varias sesiones, el proceso se extendió hasta las vacaciones colectivas en las dos instituciones lo que generó una extensión del protocolo hasta 2020. La participante A no tuvo este problema, debido a que terminó las actividades de memoria en 2019 e inició sus actividades de estrés en 2020.

3.2. Protocolo de las actividades

La creación del protocolo se realizó con un proceso iterativo que duró más de 6 meses. Durante este tiempo se crearon las diferentes actividades y se establecieron los canales de EEG a utilizar, así como el número de sesiones, teniendo en cuenta los procesos de memoria y regulación de estrés, la disponibilidad de los recursos y los desarrollos técnicos que se iban realizando a la par. Un diagrama general de este proceso se muestra en la

figura 9. El protocolo es el resultado de un trabajo interdisciplinar entre ingenieros de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y psicólogos de la Corporación Universitaria Minuto de Dios.

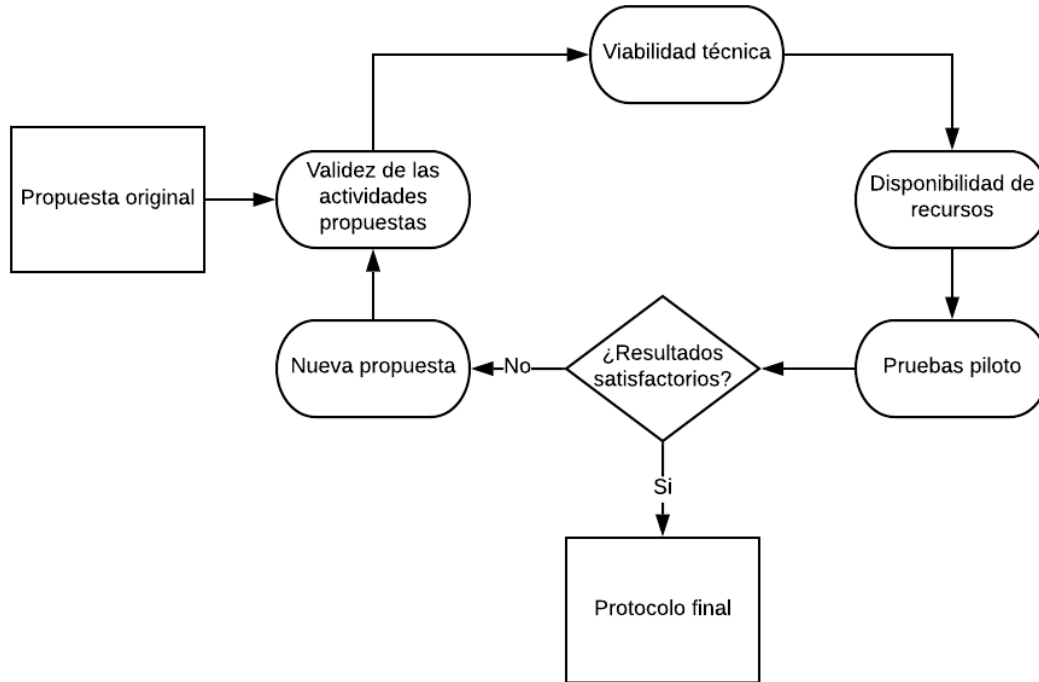


Figura 9: Diagrama del proceso de creación del protocolo.

Se determinó usar 8 canales escogiendo canales ubicados en zonas relacionadas a procesos de memoria y estrés. Para el caso de estrés, los estudios muestran que los canales de las zonas prefrontal y frontal son adecuados [45, 53, 54, 55]. En el caso de memoria, algunos estudios muestran que hay actividad relacionada en la zona central [28], mientras que otros muestran que es en la zona parietal y temporal [28, 29]. Considerando esto, se tomaron los canales AF1, Af2, F3, F4, C3, C4, T7, T8. El montaje propuesto fue referencial, con referencia en el lóbulo de la oreja derecha (A2) y tierra en FpZ.

En total se aplicaron 18 sesiones por participante, originalmente se pensaron para realizar 2 sesiones por semana en un único día, sin embargo esto se ajustó teniendo en cuenta elementos de orden logístico. Estas 18 sesiones corresponden a diferentes actividades de memoria y estrés, con diversos niveles de dificultad. Todas estas actividades fueron pensadas bien para estimular algún tipo de memoria o desarrollar habilidades de regulación de estrés. El tipo de actividad cambia la onda que se está analizando, para las actividades de estrés se analizan ondas alfa y se genera una realimentación positiva cuando la potencia de ondas alfa disminuye, en el caso de las actividades de memoria, se presenta una realimentación positiva cuando la potencia de ondas theta aumenta. El enfoque psicosocial fue parte fundamental de las sesiones, resaltando la figura de la mujer en la vida de las participantes y algunas situaciones machistas que se han ido normalizando. Todo esto a través de la actividad en sí, o de la música utilizada durante la sesión, a través de charlas y análisis de canciones. Para este proceso se consideraron categorías que se trabajaron a lo largo de las sesiones: Mujer, Cuerpo, Ética del cuidado y Memoria o Estrés, dependiendo del tipo de protocolo. A continuación se presenta una descripción de cada actividad o tarea:

1. Memoria:

- a) Tema-Canción (TC): Esta actividad está pensada para trabajar memoria episódica/autobiográfica y consiste en recordar un episodio agradable de su vida, en el momento en que se está recordando, el volumen de la canción cambia. La temática del recuerdo así como la razón de cambio del volumen dependen del nivel de la actividad.
- b) Recuerda sin parar (RSP): Esta actividad está pensada para memoria de trabajo, la idea es presentar a la participante una imagen con un número determinado de letras que, organizadas de cierta manera, forman una palabra. Luego se quita la imagen y la participante debe organizar mentalmente la palabra, durante la actividad sonará música cuyo volumen disminuirá en el proceso de organizar las letras. La finalidad de la actividad no es conseguir la palabra en sí, sino que la participante utilice su memoria de trabajo para organizar las letras. El número de letras cambia dependiendo del nivel.
- c) Secuencia musical (SM): Esta actividad está pensada para memoria de corto plazo, consiste en presentarle a la participante una lista de palabras para que las memorice, luego se le presenta una lista de palabras más amplia y debe recordar qué palabras estaban en la lista original. El volumen de la canción disminuye al recordar las palabras. El número de palabras a recordar aumenta con el nivel.
- d) Cámbiale el sentido (CEL): Esta actividad está pensada para memoria de trabajo, consiste en presentar le letra de una canción con contenido machista, a la participante se le pide entonces que cambie algunas palabras de la letra con la finalidad de cambiar el sentido de la canción, eliminando el contenido machista. Al realizar el cambio de la letra el volumen del cantante aumentará, de lo contrario, el volumen de los instrumentos será más fuerte y no se diferenciará la letra.
- e) Historia-Canción (HC): Esta actividad está pensada para memoria lógica, consiste en presentarle una canción que contenga una historia, a continuación se le pide que recuerde los detalles de la canción, al recordar, el volumen de la canción subirá. Al final se le pide a la participante que cuente lo que recuerda de la canción.
- f) Rápido y furioso (RF): Esta actividad está pensada para memoria a corto plazo, en ella se le muestra a la participante una canción con el volumen alterado, en diferentes partes de la canción se generan cambios de volumen fuertes que presentan cortes. La idea de la actividad es que la participante trate de modular sus ondas cerebrales para cambiar el volumen y que coincida con la secuencia original.
- g) Reconoce la canción (RC): Esta actividad está pensada para memoria de largo plazo, en ella se le presentan fragmentos de canciones a la participante, ella deberá decir el nombre de la canción. Luego de mostrar varios fragmentos de canciones se hace una pausa de 30 minutos. Pasada la pausa la participante deberá reconocer nuevamente las canciones a través de los fragmentos, el volumen de la canción cambiará a medida que la participante recuerde.
- h) Encuentra el bache (EB): Esta actividad está pensada para memoria a largo plazo, en ella se le pide a la participante que escoja una canción que conoce. Luego, la participante escuchará la canción alterada, de manera que no se diferencia la letra. La participante deberá recordar la letra de la canción, de esta forma, el volumen de la letra subirá hasta que se escuche la versión original.

2. Estrés:

- a) Respiración (R): Esta actividad está enfocada en que la participante identifique la forma en que respira, para ello debe ubicar sus manos en su abdomen y hombro, contralateral, y concentrarse en respirar según la instrucciones del investigador. Durante la actividad se presenta una canción con un tempo alto, a medida que la participante se concentre en su respiración, el tempo disminuye.
- b) Cuerpo (C): En esta actividad la participante debe prestar atención a cada parte de su cuerpo siguiendo las instrucciones del investigador. De fondo se reproduce una canción sin volumen, y a medida que la participante se concentra, el volumen sube.
- c) Lo que pasa por tu cuerpo (PPC): Esta actividad está enfocada en que la participante reconozca su frecuencia de respiración y la ajuste a una que considere relajante. De fondo se reproduce una canción sin volumen, y a medida que la participante se concentra, el volumen sube.

- d) Canta (CA): En esta actividad se le presenta a la participante una canción conocida con un volumen bajo, y la letra de la canción en una pantalla. A medida que la participante se concentre en la letra de la canción, el volumen de está aumentará.
- e) Regula tu respuesta de estrés (RRE): Esta actividad funciona como cierre del resto de las actividades. En ella se presenta una canción con un volumen alto, llegando incluso a saturar el audio, y la participante debe utilizar alguna de las herramientas que desarrolló en las actividades anteriores para disminuir el volumen.

En la figura 10 se muestra el protocolo para cada sesión.



Figura 10: Protocolo para cada sesión.

Adicional a las sesiones de actividades mostradas en la figura 10, se realizaron dos sesiones extra, con el fin de tomar una medida psicométrica inicial y final de la participante. Para memoria, se aplicó la batería neuropsicológica *Neuropsi. Atención y memoria*, y para estrés se realizaron las pruebas de *perfil de estrés de Nowack* e inventario de ansiedad rasgo-estado (*IDARE*). Esta última requiere una comparación de los niveles de estrés en un estado normal (línea base) y los niveles alcanzados después de un estímulo estresor. Para lograr

este efecto se hizo uso del protocolo de estimulación de estrés *Sing a Song Stress Test*, en el que se le pide a la participante ver unas imágenes en una presentación durante un tiempo frente a personas desconocidas, en un momento se le avisa a la participante que debe cantar una canción, se le da un tiempo corto y posteriormente se le indica que cante. Estas pruebas se aplicaron en el primer y en el último encuentro. Todas estas fueron escogidas por los psicólogos y estudiantes de psicología, que participaron como investigadores del proyecto, basados en una revisión de literatura.

3.3. Desarrollo técnico

El desarrollo del sistema parte de los requerimientos técnicos del mismo. Para empezar, se necesitaba un equipo de adquisición de señales de EEG que permitiese seleccionar los canales requeridos en el protocolo, con una frecuencia de muestreo de al menos 256 muestras por segundo (sps), debido a que es una frecuencia muy utilizada en trabajos relacionados con NFB y permite el procesamiento en tiempo real. Para el momento en que empezaron las pruebas se contaba con el g.USBamp research y el EMOTIV EPOC, sin embargo este último no cumplía con los requerimientos debido a que no posee electrodos para la zona central. El segundo elemento es el software para el desarrollo: se necesitaba un entorno de programación compatible con el equipo, con librerías de procesamiento de señales y desarrollo de GUI's, en este caso la elección fue MATLAB, ya que el equipo solo es compatible con este software.

El desarrollo del software para el sistema de NFB se dividió en 3 secciones importantes. En primer lugar, la GUI que gestiona los perfiles de las participantes, así como las actividades, los niveles y las canciones que se van a utilizar. En segundo lugar, se tiene el sistema de adquisición y procesamiento de señales de EEG, mediante el cual se determina si la participante está, o no, realizando correctamente la actividad. Finalmente, se tiene el sistema de modificación de audio, que cambia las características de la canción dependiendo del procesamiento de EEG.

3.3.1. Interfaz Gráfica de Usuario

La interfaz gráfica consta de 4 ventanas diferentes para la gestión de las participantes y las sesiones. Inicialmente se tiene la interfaz principal, que se muestra en la figura 11, desde la cual se puede ingresar un usuario nuevo, actualizar la lista de usuarios y seleccionar uno.

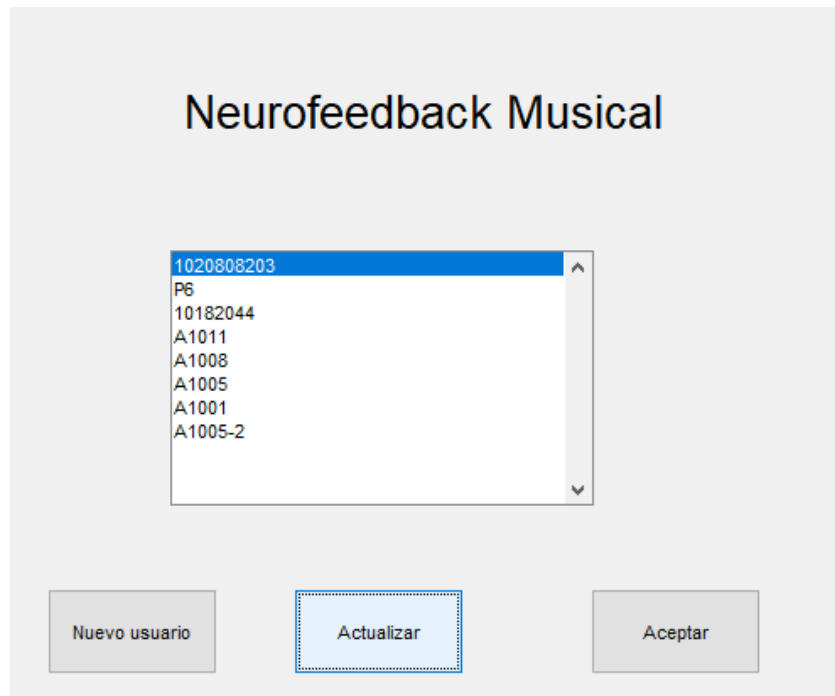


Figura 11: Interfaz principal.

La segunda interfaz corresponde a la interfaz de registro, en esta interfaz se guardan los nuevos usuarios, únicamente el nombre y el apellido, y un documento que corresponde a un código único que tiene cada participante dentro del proyecto. Adicionalmente, cada nuevo usuario se vincula a un tipo de actividad, ya sea de memoria o de estrés. La interfaz de registro se muestra en la figura 12.

Figura 12: Interfaz de registro.

La tercera interfaz corresponde a la de selección de actividad, dependiendo del tipo de actividad se mostrarán de memoria, figura 13, o de estrés, figura 14. Adicionalmente se tiene un selector de nivel, que permite cambiar el nivel de dificultad.

The screenshot shows a window titled "Memoria". On the left, under the heading "Actividad", there is a list of radio buttons: "Tema-Canción" (selected), "Secuencia Musical", "Encuentra el bache", "Historia canción", "Reconoce canción", "Recuerda Sin Parar", "Cámbiale el sentido", and "Neuropsi". To the right of this list is a "Nivel" dropdown menu currently set to "1". At the bottom, there are two buttons: "Volver" on the left and "Aceptar" on the right.

Figura 13: Interfaz de actividades de memoria.

The screenshot shows a window titled "Estrés". On the left, under the heading "Actividad", there is a list of radio buttons: "Cuerpo" (selected), "Respiración", "Cantar", "Escuchar", "Regular estrés", and "SSST". To the right of this list is a "Nivel" dropdown menu currently set to "1". At the bottom, there are two buttons: "Volver" on the left and "Aceptar" on the right.

Figura 14: Interfaz de actividades de estrés.

La última interfaz consiste en un botón de selección de canción, que al activarse lanza el explorador de archivos para seleccionar una canción, la interfaz admite archivos en formato .mp3 y .wav. También posee un botón de comenzar/detener dar inicio y finalizar cada actividad. Por último, se tiene un texto que indica en qué

momento se está tomando la línea base y cuando empezó la actividad. Algunas actividades permiten reproducir las canciones varias veces, mientras que otras finalizan al terminar la canción, si este es el caso, se muestra un mensaje indicando que la canción ha terminado.

3.3.2. Adquisición y procesamiento de EEG

Para la adquisición, inicialmente se configura el equipo para trabajar con 8 canales a una frecuencia de 256 sps y con un buffer de 8 muestras, es decir, si bien se realiza una adquisición de 256 muestras cada segundo, únicamente se envían datos al computador cada 8 muestras. Una vez configurado el equipo, se habilita la opción de escoger canción y una vez se escoge canción, se habilita la opción para empezar la actividad.

Al comenzar la actividad, se guardan las muestras disponibles en un vector. Este vector se actualiza cada 8 muestras, es decir, cada $8/256$ segundos. Sin embargo, debido a que el procesamiento se realiza por ventanas, es necesario esperar a tener un determinado número de muestras para procesar. En concreto, se realiza el procesamiento cada segundo, razón por la cual, es necesario que el vector tenga 256 muestras antes de empezar. Esto se hizo de esta manera porque las características del audio se modifican en tiempo real.

Una vez completada la cantidad mínima de muestras, se procede a extraer un vector con las últimas 256 muestras del registro completo, a este vector se le calculan las potencias relativas por bandas de interés en los canales que corresponden a cada tipo de tarea, es decir, para las actividades de estrés, ondas alfa de los canales FP1, FP2, AF3 y AF4. Y para las actividades de memoria, ondas theta de los canales T7, T8, C3 y C4. Calculadas las potencias relativas de los 4 canales seleccionados, se procede a escoger el canal con la potencia más alta, se realizaron varias pruebas con cada canal y varias operaciones entre canales y este fue el método que mejor control sobre la interfaz daba a los usuarios. Este valor se guarda en un vector que permitirá determinar el desempeño del usuario en la actividad.

El valor de la potencia relativa permite modificar el audio, sin embargo, es necesario tener una referencia para determinar si la potencia de las ondas aumentó o disminuyó. Para ello se realiza la medición de una línea base de 30 segundos, durante este tiempo se le pide a la participante que no se mueva, no cierre los ojos, no parpadee mucho y no piense en nada en particular, este procedimiento es común en el uso de sistemas de NFB [3, 4, 5, 36]. De esta línea base se calcula la media y la desviación estándar. Al comparar la potencia calculada con la línea base, se considera que hubo un aumento si la potencia supera el valor de la potencia media de la línea base más su desviación estándar, por el contrario, se considera que hubo una disminución cuando la potencia calculada es menor a la potencia media de la línea base menos su desviación estándar. Puede pasar que la desviación estándar en la línea base sea muy alta, por lo que se aplicó un método de corrección de la desviación estándar. Si la potencia calculada no aumenta ni disminuye en 10 segundos, la desviación estándar se divide a la mitad, volviendo más sensible el algoritmo y adaptándolo al usuario en cada sesión.

La interpretación del aumento o la disminución de la potencia calculada cambia dependiendo de la actividad, para memoria, un aumento en la potencia relativa de las ondas theta, significa un aumento en las actividades relacionadas a la memoria, es decir, es un indicador que la participante está realizando correctamente la actividad, y por lo tanto, se debe dar una realimentación positiva. Para las actividades de estrés, que están enfocadas principalmente a la concentración, una disminución de la potencia de las ondas alfa se puede interpretar como un aumento en la concentración, razón por la cual al disminuir la potencia de alfa se realiza una realimentación positiva. Las realimentaciones positivas o negativas dependen de la actividad, pero siempre están relacionadas al cambio del volumen o el tempo de la canción. Un diagrama de este caso se presenta en la figura 15, la condición para la realimentación positiva o negativa cambia dependiendo del tipo de tarea, pero el esquema general es el mismo.

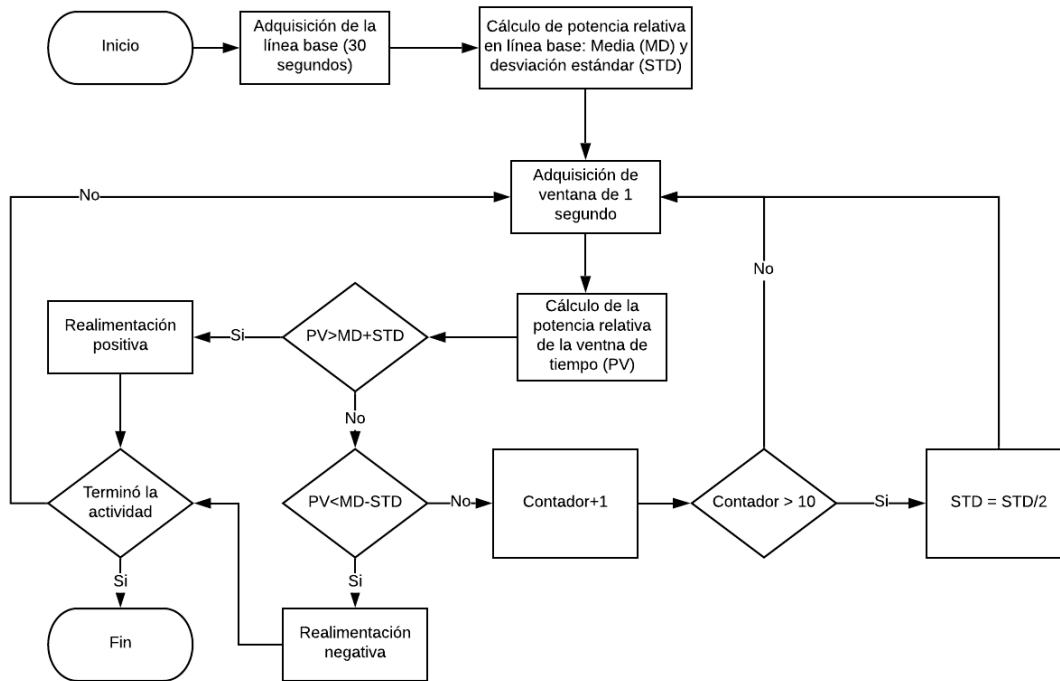


Figura 15: Diagrama del algoritmo de procesamiento de EEG.

La realimentación positiva o negativa se traduce en un cambio de los parámetros de la música. Concretamente, se cambia la tasa de variación del parámetro. Para el caso de actividades con realimentación de tiempo, la frecuencia de muestreo para reproducción de audio se fija a 4 veces más que la frecuencia de muestreo original de la pieza, una realimentación positiva se traduce en una multiplicación de la frecuencia de reproducción por un factor inferior a 1, de manera que la frecuencia disminuye y la canción suena más lento. Una realimentación negativa en este caso se traduce como una multiplicación por un factor superior a 1, para aumentar la velocidad de reproducción. Para el caso de volumen el factor es aditivo y se aplica sobre la ventana de audio. Esto afecta directamente la amplitud de la señal en la ventana seleccionada, cambiando el volumen. La realimentación positiva o negativa dependía de la actividad, pero en general, las actividades que requerían disminuir el volumen de la canción tomaban un factor negativo como realimentación positiva y uno positivo para realimentación negativa. Caso contrario con las actividades que requerían aumentar el volumen de la canción. Para el volumen de la voz del cantante, se reproducían los dos audios al mismo tiempo con amplitudes iniciales diferentes (0 para el audio original, 1 o 1.2 para el audio alterado). El volumen de los audios se alteraba de manera que si uno subía en amplitud el otro disminuía y viceversa. Todos los parámetros estaban limitados, el volumen solo podía tener valores entre 0 y 1 o 1.2 y la frecuencia de muestreo entre la frecuencia original y 4 veces esta frecuencia. Finalmente, los factores de modificación de los parámetros de la música cambiaban con el nivel. En los primeros niveles de la actividad la recompensa por realimentación positiva es alta, mientras que la penalización por realimentación negativa era baja. En los niveles más altos esto se intercambia, exigiendo a la participante realizar más tiempo la actividad de manera correcta sin equivocarse para no ser penalizada.

3.3.3. Sistema de modificación de audio

Pese a que se desarrollaron 13 actividades diferentes entre las sesiones de memoria y estrés, a nivel de procesamiento de audio, existen 3 tipos. En primer lugar, las que modifican el tempo de la canción. En segundo lugar, las que modifican el volumen de la canción, sin alterar la pieza original. Y, por último, las que se modifica el volumen de la canción en una banda de frecuencias específica para que no se escuchara la voz del cantante.

En el anexo **Ejemplos de audio** es posible encontrar ejemplos para cada tipo de realimentación propuesta.

La aproximación que se utilizó para modificar el tiempo no altera el archivo original de audio, sino que modifica las características del reproductor de MATLAB. Concretamente, se utiliza la función *sound*, la cual convierte matrices de datos en audio y recibe como parámetros de entrada la señal y una frecuencia de muestreo. Al modificar esta frecuencia de muestreo, el tiempo de la canción cambia, llegando a ser más rápido al aumentar esta frecuencia y más lento al disminuirla.

Para modificar el volumen de la canción simplemente se multiplica el vector original de audio por un factor entre 0 y 1 (más de 1 para actividades que requieren saturar el audio), posteriormente se reproduce. Para las canciones que además deben modificarse previamente, separando los instrumentos de la voz del cantante, se tienen 2 audios, uno con la canción original, y otro con el audio modificado. En este tipo de actividades se cuenta con 2 parámetros multiplicativos, uno para cada audio, estos valores están entre 0 y 1 y son complementarios, de manera que la suma de los dos siempre es 1. De esta forma, se reproducen ambos audios al tiempo, y al conseguir una realimentación positiva, el volumen del audio original aumenta y el del modificado disminuye, con una realimentación negativa pasa lo contrario.

Para poder dar el efecto que se está modificando el audio en tiempo real, es necesario separar la señal en ventanas de tiempo que se modifiquen según la realimentación. Entre más pequeñas son las ventanas, mayor sensación de control existe; sin embargo, al realizar pruebas, el uso de ventanas de tiempo cortas genera ruido en los audios, concretamente, se escucha un sonido en el corte entre ventanas. Es por ello que las ventanas de tiempo se fijaron en 1 segundo, de manera que, al finalizar el análisis de la señal de EEG se modifica inmediatamente el audio y se reproduce. Este problema persiste en las actividades que modifican el tiempo de la canción, debido a que al cambiar el tiempo, lo que originalmente correspondía a 1 segundo, puede llegar a ser hasta 4 veces más corto. Para evitar esto se hizo uso de un solapamiento del 25% en conjunto con una ventana personalizada que reduce la intensidad del audio en los cortes. Esto permite disminuir la intensidad del ruido a través de la ventana, pero realza el sonido original con el solapamiento. Ejemplos de las ventanas se muestran en la siguiente figura.

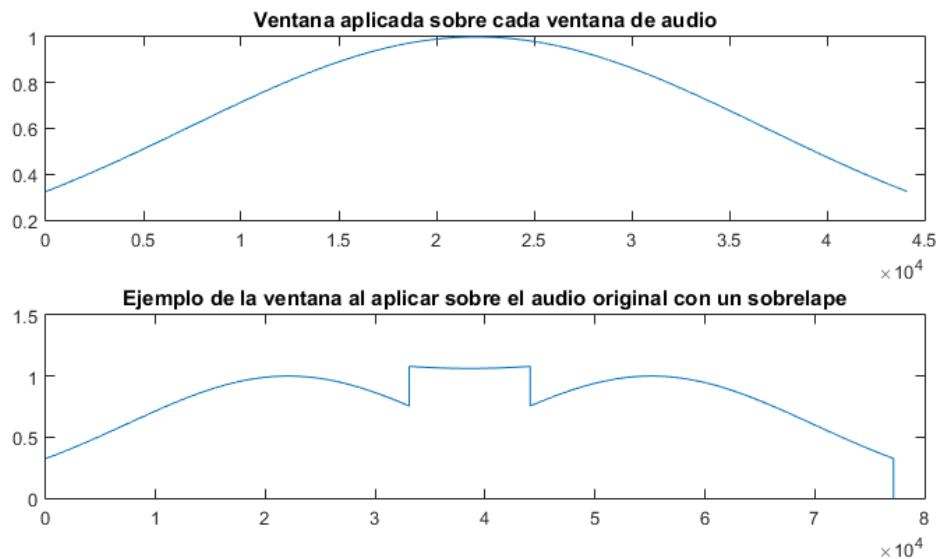


Figura 16: Ventana aplicada a cada segundo de audio y ejemplo de amplitud de la ventana con solapamiento.

Si bien el uso de la ventana soluciona el problema del ruido, existe otro problema a nivel de procesamiento, si las ventanas de audio son de duración modificable, no es posible hacer análisis con una ventana fija, de trabajar con ventanas de procesamiento fijas existirían silencios entre las ventanas de audio. Por esta razón se trabajó un sistema asíncrono para el procesamiento de audio en actividades donde se modifica el tiempo. El procesamiento y la reproducción de audio funcionan bajo condiciones diferentes. Mientras decidir si el tiempo aumenta o disminuye es una tarea que se realiza cada segundo, reproducir el audio es una tarea que se realiza

siempre que la ventana anterior haya terminado de reproducirse. La frecuencia a la que se reproduce el audio es modificada cada segundo, por lo que muchas veces el audio se reproducirá con la realimentación de la ventana anterior esta solución permite que la canción se escuche sin cortes. Finalmente, para evitar la sensación de que la interfaz no es responsiva, se eliminó la opción de trabajar con frecuencias de reproducción inferiores a la frecuencia de muestreo original, es decir, la canción siempre sonará igual o más rápido que la versión original. Esto da la sensación de fluidez en el uso del sistema.

Los sistemas diseñados permiten procesar cada ventana de audio en tiempo real, de manera que no hay demoras en la reproducción del audio. Esto aplica también para las actividades que trabajan con audios alterados. Debido a que modificar los audios en tiempo real demoraría la reproducción, se optó por alterarlos antes de empezar la actividad. Particularmente, esto se hace en el momento en que se carga la canción. Al seleccionar la canción deseada en la interfaz, se carga el audio y se aplican un filtro FIR pasa bajas a 700 Hz y un filtro FIR pasa altas a 7000 Hz. Para escoger estas frecuencias se realizó una búsqueda sobre la frecuencia de la voz humana, sin embargo, las frecuencias encontradas no reducían completamente la voz del cantante. Esto se debe a diversos factores de cómo se comporta la voz al cantar y cómo se modifica el audio en la producción musical. Por ello, se optó por realizar pruebas con algunas canciones y se encontró que estos filtros alteraban la pieza musical como se deseaba.

Un resumen de las actividades, el tipo de NFB utilizado y los canales que se analizaron para cada actividad se encuentra en la tabla 1.

Tabla 1: Relación entre tarea y tipo de NFB.

Tarea	Tipo de NFB	Canales considerados
Tema-Canción	Volumen	T7, T8, C3, C4
Recuerda sin parar	Volumen	T7, T8, C3, C4
Secuencia Musical	Volumen	T7, T8, C3, C4
Cámbiale el sentido	Volumen de voz	T7, T8, C3, C4
Historia-Canción	Volumen	T7, T8, C3, C4
Rápido y furioso	Volumen	T7, T8, C3, C4
Reconoce la canción	Volumen	T7, T8, C3, C4
Encuentra el bache	Volumen de voz	T7, T8, C3, C4
Respiración	Tempo	FP1, FP2, AF3, AF4
Cuerpo	Volumen	FP1, FP2, AF3, AF4
Lo que pasa por tu cuerpo	Volumen	FP1, FP2, AF3, AF4
Canta	Volumen voz	FP1, FP2, AF3, AF4
Regula tu respuesta de estrés	Volumen	FP1, FP2, AF3, AF4

4. Resultados

Para este trabajo existen 2 tipos de resultados: en primer lugar, los resultados de desempeño de las participantes en cada tarea. En segundo lugar, los resultados encontrados al analizar las señales de EEG de las participantes durante las pruebas.

Para los resultados de desempeño se debe considerar la tarea y el tipo de NFB de cada una. Esta información se puede encontrar en la tabla 1. La manera de presentar los resultados es: en primer lugar se muestra el nombre de la actividad, seguidamente el valor promedio de la característica musical alterada mediante el NFB ya sea volumen (valores entre 0 y 1.2 de amplitud) o tiempo (valores entre 44100 Hz y 176400 Hz). Para tener un contexto de la tarea, enseguida se presenta el valor objetivo, en caso de las actividades de cuya variable musical a modificar era el volumen este valor puede ser 0 (en caso de que el objetivo de la tarea haya sido bajar el volumen) o 1.2 (en caso de que el objetivo de la tarea haya sido subir el volumen). En el caso, de tiempo el valor objetivo es 44100 Hz. Finalmente, se presenta el porcentaje de tiempo del registro total que la participante logró alcanzar el valor objetivo, es decir, qué porcentaje del tiempo que duró la tarea logró la participante alcanzar el valor objetivo, este resultado muestra la capacidad que tiene la participante para superar la actividad y entre más alto sea se considera mejor. Estos valores son organizados en tablas para cada participante.

Además de la información de desempeño de las tareas, se analizó el registro de EEG de las participantes. Durante las sesiones de entrenamiento, tanto de memoria como de estrés, se registró la señal de EEG de los 8 canales escogidos (ver sección 3.2). El análisis de las señales se realizó limitando los canales únicamente a aquellos que se consideraron para el sistema de NFB, es decir, para las actividades de estrés únicamente se tomaron en cuenta los canales de la zona frontal y prefrontal, mientras que para las de memoria se tuvieron en cuenta los canales de la zona temporal y central. La información adicional de los otros canales fue útil para la generación de mapas de calor que permiten conocer la actividad eléctrica del cerebro en una banda de frecuencia particular gráficamente. Para generar estos mapas de calor se utilizó la librería EEGLab, utilizada para el análisis de señales de EEG, y se siguió el esquema mostrado en la figura 17.

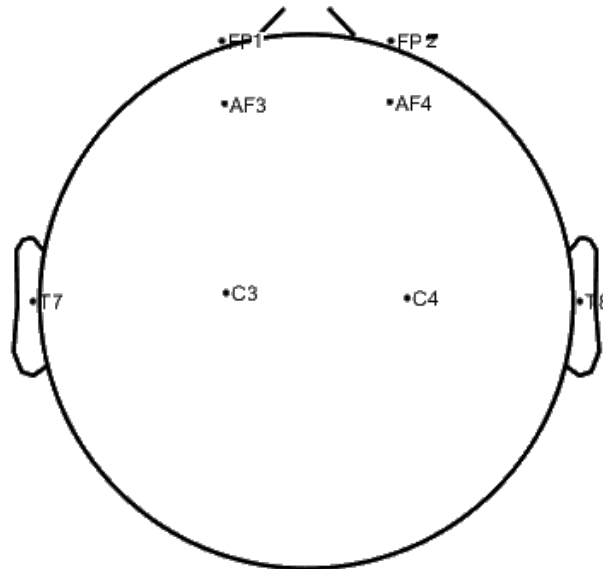


Figura 17: Esquema utilizado para la creación de mapas de calor. En la parte superior hay una figura de triángulo con una punta abierta que representa la nariz, la parte diametralmente opuesta representa la parte posterior de la cabeza. Este esquema se llena con colores que representan la potencia de una frecuencia particular en los electrodos escogidos. En este esquema también se muestran los electrodos escogidos y su ubicación.

Pese a que los mapas de calor dan información gráfica acerca de todos los registros tomados, lo cierto es

que resulta impreciso analizar las tareas de esta manera, por esta razón solo se analizó una actividad para cada participante de estrés y una actividad para la participante de memoria, es posible encontrar los mapas de calor para cada participante y cada actividad en el anexo **Mapas de calor de todas las actividades**. Para el análisis completo de las tareas se calculó la potencia media de la banda de frecuencia de interés (alfa para estrés y theta para memoria) y se comparó con la potencia media durante la tarea, luego se crearon gráficas con estas diferencias para poder analizar los cambios en regulación de bandas de frecuencia a través de las sesiones.

4.1. Resultados en tareas de regulación de estrés

Los resultados de desempeño de las participantes A y N para las tareas de regulación de la respuesta de estrés se muestran en las tablas 2 y 3. Para el caso de las actividades de estrés, es posible comparar el desempeño obtenido en actividades durante diferentes sesiones, incluso si se trata de diferentes actividades. Esto se debe a que las actividades de estrés están pensadas para enseñar estrategias de regulación de estrés, y todas tienen el mismo objetivo. En las figuras 18 y 19 se muestran los resultados obtenidos para las dos participantes durante su primera sesión en actividad de la banda alfa registrada tanto durante la línea base como durante el registro de actividad.

Tabla 2: Resultados de tareas para regulación de respuestas de estrés de la participante A.

Actividad	Parámetro a modificar	Valor promedio	Valor objetivo	Porcentaje del registro en valor objetivo %
Respiración 1	Tempo	54794	44100	61.95
Respiración 2	Tempo	51882	44100	58.04
Respiración 3	Tempo	62876	44100	38.05
Cuerpo 1	Volumen	1	1.2	42.85
Cuerpo 2	Volumen	0.89	1.2	32.01
Cuerpo 3	Volumen	1.04	1.2	46.79
Cuerpo 4	Volumen	1.06	1.2	43.28
Lo que pasa por tu cuerpo 1	Volumen	1.07	1.2	52.95
Lo que pasa por tu cuerpo 2	Volumen	1.01	1.2	21.36
Lo que pasa por tu cuerpo 3	Volumen	0.98	1.2	31.69
Canto 1	Volumen de voz	1.08	1.2	65.36
Canto 2	Volumen de voz	1.07	1.2	67.98
Canto 3	Volumen de voz	1.01	1.2	58.06
Regula tu respuesta de estrés 1	Volumen	0.09	0	70.64
Regula tu respuesta de estrés 2	Volumen	0.29	0	50.24
Regula tu respuesta de estrés 3	Volumen	0.18	0	57.51

Tabla 3: Resultados de tareas para regulación de respuestas de estrés de la participante N.

Actividad	Parámetro a modificar	Valor promedio	Valor objetivo	Porcentaje del registro en valor objetivo %
Respiración 1	Tempo	49736	44100	70.55
Respiración 2	Tempo	108030	44100	11.29
Respiración 3	Tempo	63929	44100	50.93
Cuerpo 1	Volumen	0.86	1.2	18.35
Cuerpo 2	Volumen	0.84	1.2	20.91
Cuerpo 3	Volumen	1.09	1.2	75.26
Cuerpo 4	Volumen	1.11	1.2	77.9
Lo que pasa por tu cuerpo 1	Volumen	1.13	1.2	65.9
Lo que pasa por tu cuerpo 2	Volumen	1.05	1.2	61.89
Lo que pasa por tu cuerpo 3	Volumen	1.02	1.2	55.18
Canto 1	Volumen de voz	1.06	1.2	52.21
Canto 2	Volumen de voz	1	1.2	33.78
Canto 3	Volumen de voz	0.89	1	30.56
Regula tu respuesta de estrés 1	Volumen	0.07	0	82.23
Regula tu respuesta de estrés 2	Volumen	0.15	0	64.29
Regula tu respuesta de estrés 3	Volumen	0.21	0	61.55

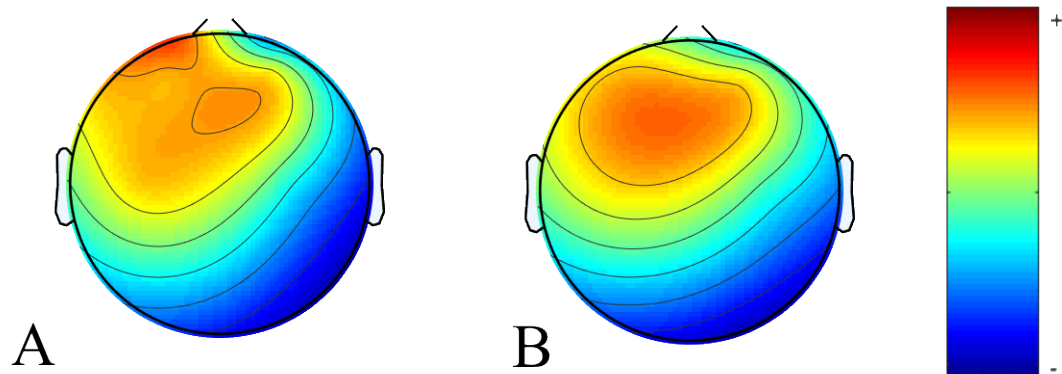


Figura 18: Mapa de calor para la banda α durante la actividad “Cuerpo” en el nivel 1 para la participante A. **A** muestra el mapa de calor durante la línea base y **B** muestra el mapa de calor durante el resto de la actividad

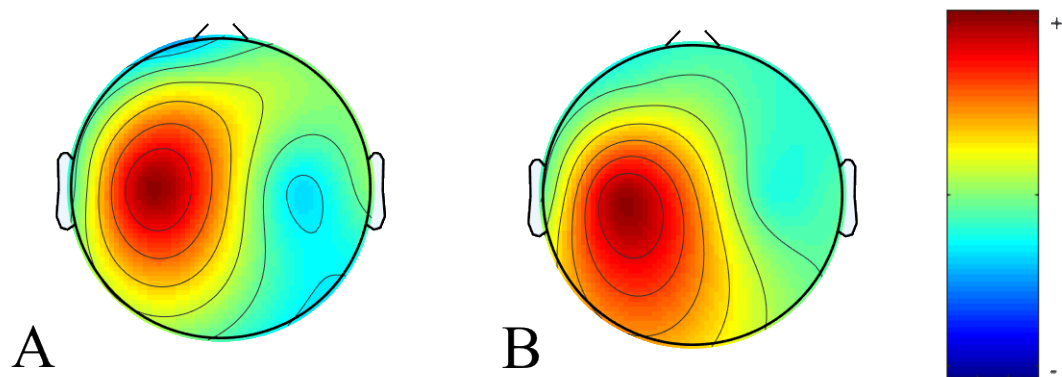


Figura 19: Mapa de calor para la banda α durante la actividad “Cuerpo” en el nivel 1 para la participante N. **A** muestra el mapa de calor durante la línea base y **B** muestra el mapa de calor durante el resto de la actividad

Al analizar la actividad en la región frontal y prefrontal, en ambas figuras se muestra un cambio. En el caso de la figura 18 hay una disminución de las ondas alfa en la zona prefrontal en el hemisferio izquierdo al comparar con lo encontrado en la medición de línea base. Mientras que en la figura 19 existe un aumento de la potencia de la onda alfa en la zona prefrontal del hemisferio izquierdo, adicionalmente existe un aumento de ondas alfa en la zona occipital del hemisferio izquierdo; sin embargo, no se hizo uso de canales de EEG en esta zona, la representación toma en cuenta la información de los canales disponibles para completar la representación gráfica, por lo que este aumento de potencia se puede deber a un aumento de la potencia en los canales C3 y T7, los más cercanos a esta zona.

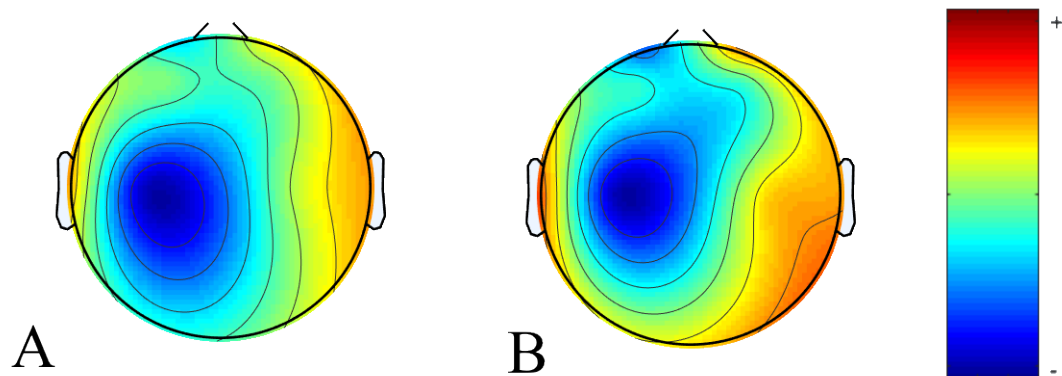


Figura 20: Mapa de calor para la banda α durante la actividad “Regula tu respuesta de estrés” en el nivel 3 para la participante A. **A** muestra el mapa de calor durante la línea base y **B** muestra el mapa de calor durante el resto de la actividad

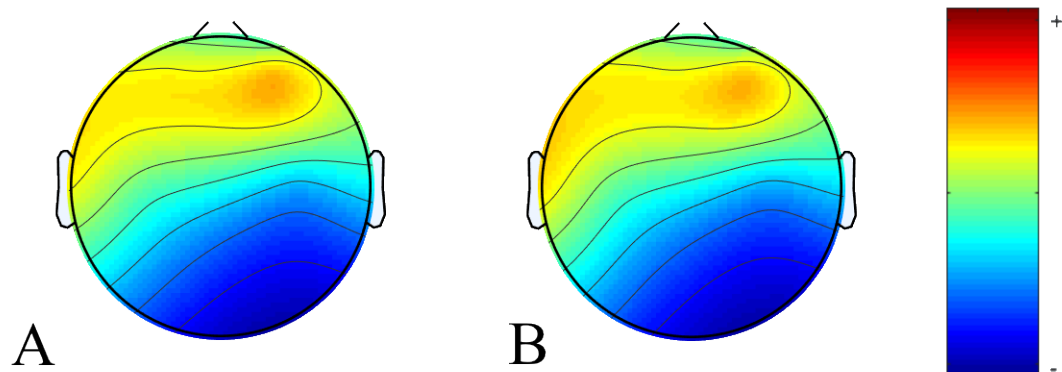


Figura 21: Mapa de calor para la banda α durante la actividad “Regula tu respuesta de estrés” en el nivel 3 para la participante N. **A** muestra el mapa de calor durante la línea base y **B** muestra el mapa de calor durante el resto de la actividad

En contraste, las figuras 20 y 21 muestran los resultados obtenidos por la participante A y N, respectivamente, durante el último nivel de la última actividad realizada. En el caso de la participante A se encontró una disminución notable en la actividad de onda alfa en la zona prefrontal y frontal del hemisferio izquierdo. Mientras que en la participante N las diferencias son sutiles, pero existe una disminución de la onda alfa en la zona frontal del hemisferio derecho, contrario a lo que ocurría en la primera sesión. Estas diferencias también son apreciables en la tabla de resultados 3, dónde la participante mejoró notablemente su rendimiento entre el primer nivel de la tarea “cuerpo” y el tercer nivel de la tarea “Regula tu respuesta de estrés”, pese a ser esta última una tarea más complicada.

Para analizar la información completa de los resultados en cada actividad, se generaron gráficos de barras para comparar las diferencias en actividad de onda alfa de las participantes durante las actividades de regulación de estrés. Los resultados obtenidos por las participantes A y N se muestran la figura 22.

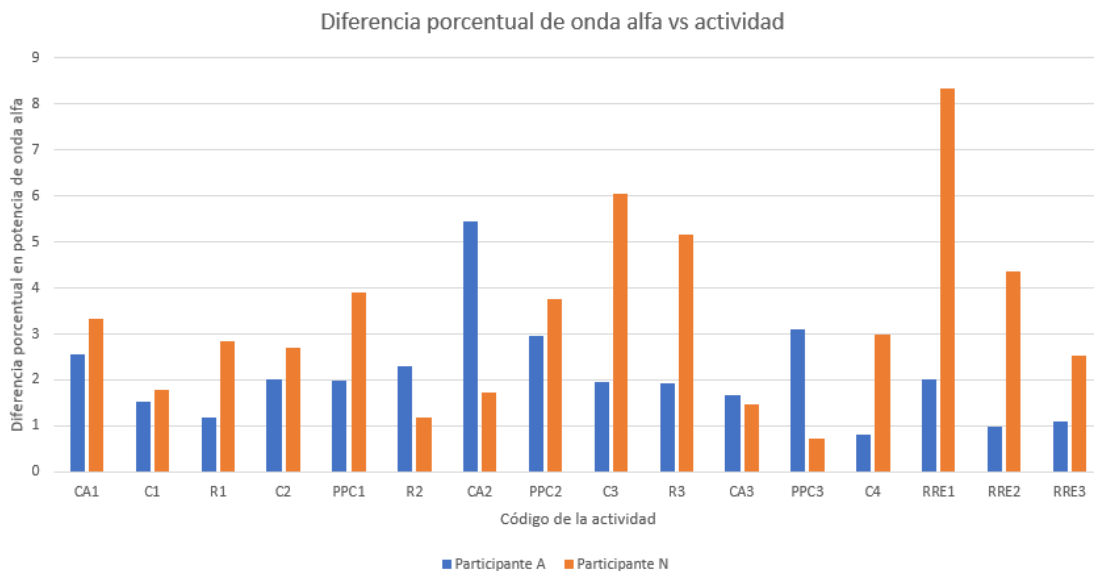


Figura 22: Diferencia entre línea base y registro de la actividad para onda alfa vs la tarea según el código establecido en la sección 3.2

Para la participante A, se encontró que el porcentaje del registro en valor objetivo, mostrado en la tabla 2, comenzó siendo alto, concretamente, fue de más del 40 % para todos los niveles 1 de las actividades. Este porcentaje, en general, no tiende a aumentar a través de las sesiones, sino que disminuye o se mantiene. La actividad “Canto“ tuvo un porcentaje promedio más alto que las demás (63.8 %), mientras que la actividad “Lo que pasa por tu cuerpo“ tuvo el porcentaje promedio más bajo (35.33 %). En la última actividad se le propuso a la participante trabajar con cualquier estrategia con la que se sintiese cómoda, por lo que los resultados de estas tareas evidencian los resultados del entrenamiento. Para el caso del primer nivel de esta actividad la participante obtuvo el porcentaje más alto de todas las pruebas, luego en los 2 niveles posteriores el porcentaje bajó, pero se mantuvo entre los niveles 2 y 3.

Se pueden comparar estos resultados con lo mostrado en la figura 22, en la que se evidencia la diferencia en valor absoluto entre la línea base y el registro. En esta gráfica se muestra que la participante obtuvo una mayor diferencia con respecto a la línea base en las tareas C2 y PPC3, correspondientes a el segundo nivel de “Canto“, donde la participante obtuvo un porcentaje del 67.98 %, y el tercer nivel de “Lo que pasa por tu cuerpo“, donde la participante obtuvo un porcentaje del 31.69 %.

Al analizar los resultados obtenidos por la participante N se pueden encontrar algunas diferencias, en la tabla 3 se puede notar como los resultados de porcentaje de registro de valor objetivo comienzan siendo relativamente altos en algunas tareas, mientras que en otras, como el primer nivel de “Cuerpo“ son bajos. A través de las sesiones estos valores van aumentando. La actividad con el mayor porcentaje promedio fue “Lo que pasa por tu cuerpo“ con 60.99 %, mientras que la actividad con el porcentaje promedio más bajo fue “Cuerpo“ con 35.33 %. Al analizar los resultados de la última tarea se puede observar que se repite el mismo patrón, la participante obtuvo un resultado más alto en el primer nivel y en los dos niveles tiene un resultado parecido, aunque más bajo que el del primer nivel. En cuanto a la gráfica mostrada en la figura 22, se puede evidenciar diferencias menos significativas en las tareas R2 y CA2, la aplicación de estas tareas coincidió con el cese de actividades a finales de 2019. La tarea R2 marca la última tarea realizada en 2019 y la tarea CA2 la primera realizada en 2020.

Adicional a los resultados obtenidos durante las tareas, también se tienen los resultados de las pruebas psicométricas aplicadas al comenzar los entrenamientos y al finalizarlos. En este caso solo se tienen resultados pre y post de la participante N.

- **Pre:** En el caso del perfil de estrés, se encontró que la participante N tiene un puntaje por debajo de lo esperado en la escala de **Ejercicios y Descanso/Sueño**, esto sugiere malos hábitos de salud relacionados

a ejercicio y sueño. También se encontró un puntaje elevado en la escala de **Conducta Tipo A**, esto quiere decir que la participante N puede expresar conductas relacionadas con premura en el tiempo, impaciencia, búsqueda de mejoría y conductas competitivas con frecuencia. Estos factores pueden contribuir al desarrollo de enfermedades asociadas al estrés. También se encontró un puntaje alto en la escala de **Minimización de la amenaza**, lo cual indica que la participante tiene capacidad para afrontar estresores a través de la mitigación de los resultados. El resto de los puntajes se encontraron en un rango normal. En el caso del inventario de ansiedad rasgo-estado se encontró que la participante obtuvo un puntaje de 58 antes de la situación estresante, y 61 después del estímulo. La puntuación estándar de esta prueba está entre 25 y 49 puntos. Esto puede indicar que la participante tiene niveles de ansiedad altos.

- **Post:** Después de aplicar el protocolo se realizaron nuevamente las pruebas psicométricas. Para el perfil de estrés se encontró que el puntaje de **Ejercicio** aumentó hasta límites aceptables, mientras que el puntaje de **Descanso/Sueño** se mantuvo bajo. Esto evidencia una mejora en la percepción de los hábitos de salud por parte de la participante. Por otro lado, el puntaje de la escala de **Conducta tipo A** disminuyó, esto significa que la participante se reconoce como más paciente y menos competitiva. En cuanto al inventario de rasgo-estado, la participante obtuvo una puntuación de 42 antes del estímulo estresor, y una de 46 después de este. Pese a que la diferencia de puntaje es mayor, ambos puntajes están en el rango normal (25-49).

Los perfiles completos pre y post se pueden encontrar en el anexo **Resultados de las pruebas de perfil de estrés para la participante N**.

4.2. Resultados en tareas de estimulación de memoria

Los resultados en las tareas de estimulación de memoria para la participante A se muestran en la tabla 4. En cuanto al análisis de mapas de calor, en este caso no es posible comparar diferentes actividades, debido a que se estimulan diferentes tipos de memoria, por lo que el progreso de la participante debe medirse al comparar el desempeño que obtuvo en cada nivel de la misma tarea. Se busca analizar los cambios de la distribución de la potencia de onda theta al comparar la línea base con el registro del resto de una actividad en particular. Esto se muestra en la figura 23.

Tabla 4: Resultados de tareas de estimulación de memoria de la participante A.

Actividad	Parámetro a modificar	Valor promedio	Valor objetivo	Porcentaje del registro en valor objetivo %	Tipo de memoria estimulada
Tema Canción 1	Volumen	0.55	0	14.98	Episódica-Autobiográfica
Tema Canción 2	Volumen	0.4	0	28.89	Episódica-Autobiográfica
Recuerda sin parar 1	Volumen	0.28	0	28.46	Trabajo
Secuencia Musical 1	Volumen	0.16	0	42.97	Corto plazo
Secuencia Musical 2	Volumen	0.07	0	56.75	Corto plazo
Secuencia Musical 3	Volumen	0.31	0	34.18	Corto plazo
Cámbiale el sentido 1	Volumen	0.64	1.2	13.85	Trabajo
Cámbiale el sentido 2	Volumen	1.01	1.2	41.35	Trabajo
Historia Canción 1	Volumen	0.11	0	65.18	Lógica
Rápidos y furiosos 1	Volumen	1.12	1.2	68.96	Corto plazo
Rápidos y furiosos 2	Volumen	1	1.2	31.61	Corto plazo
Rápidos y furiosos 3	Volumen	0.88	1.2	31.18	Corto plazo
Reconoce la canción 1	Volumen	1.05	1.2	37.08	Largo plazo
Reconoce la canción 2	Volumen	1.13	1.2	40.35	Largo plazo
Encuentra el bache 1	Volumen de voz	0.69	1.2	11.88	Largo plazo
Encuentra el bache 2	Volumen de voz	1.07	1.2	60.08	Largo plazo

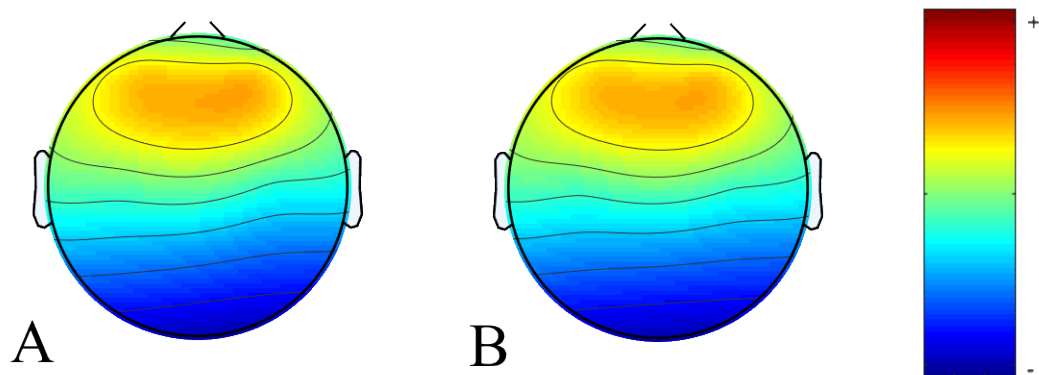


Figura 23: Mapa de calor para la banda θ durante la actividad “Rápidos y Furiosos“ en el nivel 1. **A** muestra el mapa de calor durante la línea base y **B** muestra el mapa de calor durante el resto de la actividad

Para este primer nivel, las diferencias entre las ondas theta antes y durante la actividad no parecen ser

significativas. Esto se evidencia al observar los resultados obtenidos durante la aplicación del segundo nivel de la misma actividad, tal y como se muestra en la figura 24. En este caso, las diferencias entre la línea base y el registro durante la actividad son apreciables, existe un aumento en las ondas theta durante la actividad, lo cual indica que hay una mayor actividad de las estructuras relacionadas a los procesos de memoria [28, 45].

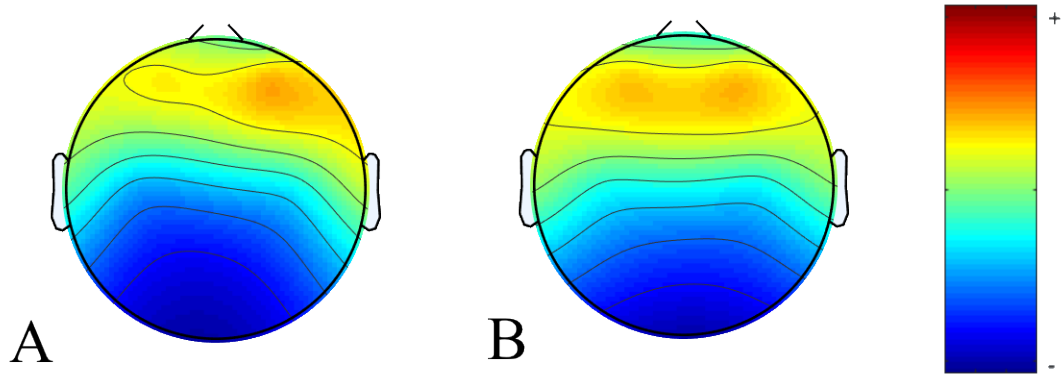


Figura 24: Mapa de calor para la banda θ durante la actividad “Rápidos y Furiosos“ en el nivel 2. **A** muestra el mapa de calor durante la línea base y **B** muestra el mapa de calor durante el resto de la actividad

Para poder analizar los resultados correspondientes a cada tipo de actividad, se generó una gráfica de barras con las diferencias en actividad de onda theta entre línea base y registro de cada actividad. Los resultados se muestran en la figura 25.

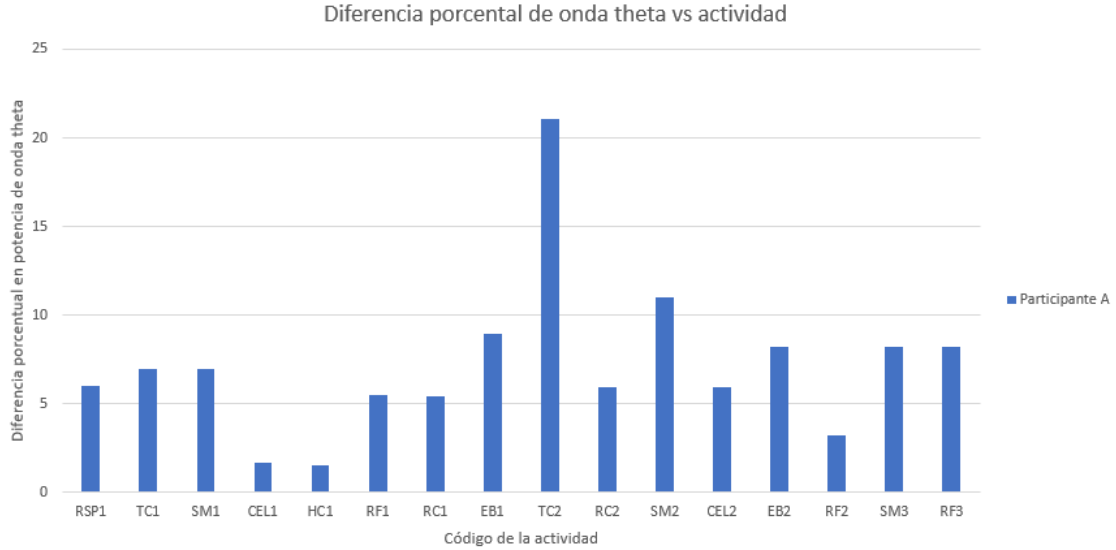


Figura 25: Diferencia entre línea base y registro de la actividad para onda theta vs actividad según el código establecido en la sección 3.2

Al comparar los resultados mostrados en la tabla 4 por tarea, se puede notar cómo en todas, el desempeño mejora con el aumento de los niveles, excepto en “Rápidos y furiosos“, dónde el rendimiento disminuye en el segundo nivel y se mantiene en el tercero, y en “Secuencia musical“, que en su segundo nivel aumenta el rendimiento, pero en el tercero disminuye. Esto coincide con lo mostrado en la figura 25, en donde se repite el

mismo comportamiento entre niveles del mismo tipo de actividad, con la excepción de “Rápidos y furiosos“ en donde en lugar de mantenerse entre los niveles 2 y 3, el resultado obtenido aumenta en el último nivel.

Adicional a los resultados por tarea, también se analizó la prueba psicométrica realizada antes de comenzar los entrenamientos y al finalizar todas las sesiones. En este caso, las evaluaciones se dividieron en dos categorías y cada una de ellas, en algunas subcategorías como se muestra a continuación:

- Memoria
 - Trabajo
 - Codificación
 - Evocación
- Orientación, atención y funciones ejecutivas
 - Orientación
 - Atención y concentración
 - Funciones ejecutivas

Cada uno de estas subcategorías tiene un conjunto de tareas que finalmente permiten conocer el desempeño de la participante, los resultados completos de esta prueba se encuentran en el anexo **Resultados de la prueba Neuropsi para la participante A**. A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos para cada categoría antes (Pre) y después (Post) de aplicar el protocolo.

- **Orientación, atención y funciones ejecutivas – Pre:** Durante la ejecución de las sub-pruebas para orientación, atención y funciones ejecutivas en el pre-entrenamiento se logró identificar que aquellas tareas de carácter motriz, de fluidez verbal, de tiempo de reacción y de orientación en tiempo, espacio y persona, puntuaron normales de acuerdo a su comparación con un grupo de referencia. Esto implica que la participante cuenta con habilidades para mantener una conversación fluida, es capaz de planear y ejecutar movimientos (caminar, sujetar objetos u otras actividades) en un tiempo y espacio determinado y puede responder a tareas que le demandan un tiempo de respuesta específico.

Las sub-pruebas de retención de dígitos en progresión y formación de categorías, se enmarcaron en una calificación normal-alto. Esto supone que en tareas que le requieren procesamiento de información auditiva por un corto periodo de tiempo y creación de categorías para representar un elemento previamente establecido, presenta un desempeño superior en comparación con su grupo de referencia.

Por otro lado, la puntuación de las sub-pruebas de detección visual aciertos y fluidez no verbal total, oscilaron entre los 4 y 6 puntos, indicando así un desempeño leve o moderado. Estos resultados sugieren que la participante tiene una mayor dificultad en la resolución de tareas que le impliquen la búsqueda de un elemento específico dentro de una serie de distractores y el de rastreo, cierre y abstracción viso-especial. Esto, en la cotidianidad, podría representar, por ejemplo, dificultades en la comprensión de lectura.

- **Memoria - Pre:** Para la valoración del desempeño de la memoria, cada sub-prueba está dividida, bien sea por tipo de memoria, o por alguna de las fases de esta: codificación y evocación. Por ejemplo, las puntuaciones de las dos sub-pruebas establecidas para valorar el desempeño en tareas de memoria de trabajo fueron diferentes respecto a la modalidad sensorial que se trabajó; mientras que la tarea de cubos en regresión (visual) arrojó un perfil normal respecto a su grupo de referencia, la tarea de retención de dígitos en regresión (auditiva) se enmarcó en un desempeño leve o moderado. Esto implica que la participante tiene mayor facilidad para completar una tarea cuando ésta está compuesta por estímulos visuales y no auditivos. Por ejemplo, se le podría facilitar memorizar un número escrito en una superficie y no tanto cuando se le es verbalizado.

En la fase de codificación de información, es decir, durante la captación y procesamiento de ésta, la participante mostró un desempeño normal-alto en la tarea de pares asociados y normal en la curva de memoria, en memoria lógica, visual y de rostros, respecto a su grupo de referencia. Esto sugiere que las

tareas de contenido semántico y fonológico son resueltas con mayor facilidad, que aquellas con demandas viso-auditivas y lógicas.

En la fase de evocación (cuando se obtiene información previamente aprendida) aquellas tareas con estímulos, verbales, lógicos y de rostros, puntuaron en un rango normal de acuerdo a su grupo de referencia. Por su parte, la información semántica y fonológica es recordada de manera más eficiente cuando está acompañada con claves de información, puntuando así en un perfil normal alto. Sin embargo, se encontró un desempeño leve o moderado en la evocación de figuras, lo que implica una recuperación menor de detalles. En general, estos resultados sugieren que una de las estrategias de aprendizaje que podrían facilitar el recuerdo de información es mediante la asociación de estímulos, ya sea por su significado o por la manera en la que este se escucha.

- **Orientación, atención y funciones ejecutivas – Post:** Durante la realización de las actividades determinadas para valorar los procesos de orientación personal (en tiempo y espacio), de formación de categorías y de funciones motoras, se encontró que las puntuaciones se mantuvieron sin cambios respecto a la medición inicial. Esto sugiere entonces, que el entrenamiento con NFB Musical no generó ningún cambio en la ejecución de estas tareas. Por su parte, cubos en progresión, detección visual aciertos, fluidez verbal fonológica y no verbal y stroop tiempo de interferencia evidenciaron un desempeño mayor al presentado en la medición inicial; si bien el NFB Musical no apuntaba a mejorar estos procesos, los resultados sugieren un cambio positivo tras la ejecución del entrenamiento. Aquellas sub-pruebas que puntuaron debajo de la medición inicial, fueron detección en dígitos progresión y fluidez verbal semántica. La obtención de estos resultados puede deberse a variables que no se tuvieron en cuenta como hora de la realización, estado anímico, y físico de la participante.
- **Memoria - Post:** Para memoria de trabajo, la actividad de cubos en regresión se mantuvo en el mismo percentil puntuado en la medición inicial. Por su parte, la actividad de dígitos en regresión tuvo un aumento en el desempeño en comparación al registrado inicialmente. Estos resultados sugieren que, si bien el entrenamiento con NFB Musical pudo haber generado mejoras importantes en el desempeño en este tipo de memoria, las dificultades respecto a la modalidad sensorial se mantienen de acuerdo a lo expuesto en el apartado anterior: la participante tiene mayor facilidad para completar una tarea cuando está compuesta por estímulos visuales y no auditivos. Estos resultados cobran sentido si se comprende que durante todo el entrenamiento se estuvo trabajando con estímulos auditivos, en su mayoría.

En cuanto a la fase de codificación, las sub-pruebas de pares asociados, figura semi-compleja y caras, presentaron el mismo desempeño que el puntuado en la primera valoración, esto significa que el entrenamiento no generó mayores cambios en estos procesos. Sin embargo, las pruebas de curva de memoria y de memoria lógica si presentaron un aumento en su puntuación al compararse con la inicial. Esto sugiere que el entrenamiento pudo potenciar habilidades de procesamiento de información verbal, con una secuencia lógica y contextual particular, por ejemplo, historias o relatos.

Finalmente, en la fase de evocación, las sub-pruebas de pares asociados y reconocimiento de rostros mantuvieron una puntuación igual a la inicial, mientras que la evocación verbal espontánea, la memoria lógica y la figura semi-compleja puntuaron en percentiles mayores que los iniciales. Aquellas pruebas que tuvieron un desempeño menor fueron memoria verbal con claves y por reconocimiento, aunque sus percentiles se mantuvieron en un perfil normal-alto para el primer caso, y normal, para el segundo.

5. Discusión

En general los resultados obtenidos por las participantes, tanto a nivel de desempeño, como en procesamiento de señales, muestran el desarrollo de una habilidad para controlar la interfaz, utilizar las estrategias propuestas en los protocolos y modular las ondas cerebrales adecuadamente para cumplir un objetivo. La respuesta de las participantes ante el sistema fue positivo, y los resultados indican que son capaces de utilizar las estrategias propuestas para modular sus respuestas fisiológicas.

5.1. NFB en estimulación de memoria

Al analizar los resultados de desempeño mostrados en la tabla 4 y de diferencia de ondas theta mostrados en la figura 25 se pueden encontrar algunas diferencias. Concretamente, en la tarea “Rápidos y furiosos” en la que una diferencia notable en la diferencia porcentual en potencia de onda theta en el nivel 3 corresponde a un porcentaje de desempeño similar al obtenido en el nivel 2. Esto puede deberse a un incremento en la dificultad de la tarea, de esta manera, aunque la participante logró una diferencia mayor con respecto a su línea base en el nivel 3, obtuvo un puntaje similar al nivel anterior, es más, el volumen promedio es menor en el nivel 3, lo cual podría considerarse un retroceso en el entrenamiento. No obstante, los resultados mostrados en la figura 25 muestran un aumento en la diferencia de onda theta, por lo que técnicamente la participante mejoró su desempeño. De esta manera, el hecho de que la participante logre mantener su desempeño porcentual en un nivel más avanzado de la misma tarea debería considerarse como una mejora con respecto al nivel anterior. Esto podría aplicar para las demás tareas.

Los resultados de las pruebas psicométricas sugieren que el entrenamiento pudo tener efectos positivos en estrategias de recobro de información libre, visoespacial y de estructuras semánticas en un relato. Es decir, la participante potenció habilidades que le permiten recordar un relato sin claves, manteniendo el sentido semántico, pragmático y contextual de este.

Estos dos resultados indican que la participante logró regular sus ondas theta y el sistema tuvo un efecto positivo en algunos aspectos evaluados. Sería interesante comparar los resultados obtenidos con otros estudios, sin embargo, no existen antecedentes directos en estimulación de memoria a través de sistemas de NFB musical. Los antecedentes más cercanos utilizan realimentación visual y están enfocados en memoria de trabajo [56, 57, 58]. Estos sistemas se caracterizan por utilizar ondas alfa, concretamente alfa superior, en lugar de ondas theta como se propone en el presente trabajo. Se escogió la banda alfa superior debido a que está relacionada con procesos de memoria semántica, mientras que la banda alfa inferior está relacionada con procesos de atención [59]. De esta manera, los procesos de atención que se generan mediante la estimulación no afectan el procesamiento de la señal. Existen diversas diferencias entre el sistema diseñado y los propuestos en los antecedentes. Para empezar, si bien la memoria de trabajo es un tipo de memoria que se estimula en las tareas RSP y CEL, el sistema permite trabajar con otro tipo de memorias como de corto o largo plazo. El uso de ondas theta permite utilizar un esquema de procesamiento similar para todas las tareas, sin importar el tipo de memoria que se desee trabajar, debido a que estas ondas están presentes cuando hay actividad en las zonas del cerebro asociadas a los procesos de memoria [28, 29]. Esto facilita la creación de nuevos protocolos de estimulación de memoria sin necesidad de realizar grandes cambios al algoritmo de procesamiento. Esta ventaja, de hecho, fue útil durante el proceso de diseño de las tareas. Tanto la diversidad en los tipos de memoria estimulados, como el uso de la banda theta son elementos resaltables e innovadores del trabajo presentado.

5.2. NFB en regulación de estrés

Los resultados mostrados en la tabla 2 muestran que la participante A mantiene un desempeño similar a través de las sesiones, esto se puede deber a que la dificultad de las tareas aumenta cada sesión. Al observar los resultados obtenidos durante las últimas pruebas se observa que la participante tiende a mantener su desempeño en los niveles 2 y 3, lo cual es un resultado importante si se considera el aumento en la dificultad. Además, en varios de los niveles avanzados la participante fue capaz de mantener su rendimiento pese a que la dificultad aumentó, esto demuestra un proceso de aprendizaje y de modulación de las ondas.

Ahora, al comparar los resultados de la tabla 2 con los que se muestran en la figura 22 se encontró que una de las tareas con mayor diferencia promedio fue “Lo que pasa por tu cuerpo“, sin embargo, la participante también obtuvo un puntaje de desempeño bajo en esta tarea. El hecho de que una tarea que obtuvo un porcentaje bajo tenga a su vez una diferencia promedio alta significa que la participante fue capaz de regular sus ondas para alcanzar el valor objetivo, sin embargo, no fue capaz de mantener la tarea a lo largo del tiempo. Para determinar si se trata de un problema en la interfaz o en el protocolo, se pueden comparar los resultados de la participante N, esta participante logró porcentajes más altos con la tarea de “Lo que pasa por tu cuerpo“, mientras que con otras estrategias no consiguió tan buenos resultados. Las diferencias entonces pueden deberse a que la participante A no dominó la estrategia propuesta durante esta actividad y por ello no obtuvo un resultado de porcentaje alto, pese a que fue capaz de regular sus ondas en un breve periodo de tiempo. Sin embargo, haría falta realizar más pruebas para afirmar esto con seguridad.

Al comparar el desempeño de la participante A con el de la participante N se puede encontrar que ambas obtuvieron puntajes altos en diferentes tareas. La diferencia más notable es en la tarea “Lo que pasa por tu cuerpo“, esta tarea fue la mejor para participante N y la peor para la participante A. Esto indica que pese a utilizar el mismo protocolo, existen estrategias más afines con los intereses de las participantes. Los resultados evidencian un dominio de las estrategias presentadas durante la actividad “Lo que pasa por tu cuerpo“ por parte de la participante N de estrés.

Un elemento importante a resaltar es la diferencia en resultados mostrados en la figura 22 para la participante N al interrumpir las sesiones. Esto podría ser un indicio de la importancia que tiene la continuidad de las sesiones de entrenamiento, sin embargo hace falta realizar más estudios para afirmar esto.

Estos resultados muestran una capacidad de regulación de ondas alfa por parte de las participantes A y N. Adicionalmente, los resultados encontrados con la prueba de inventario de ansiedad-estado aplicada a la participante N señalan una mejoría en la habilidad de la participante para regular su respuesta ante situaciones estresantes. Esto debido a que los valores encontrados con la prueba antes de la aplicación de los protocolos estaban por encima de un rango normal, y al medir estos valores después de aplicar los protocolos se encuentran en un rango normal.

Como antecedentes para comparar, Fedotchev realizó trabajos similares en 2014 y 2018[60, 14]. El primer trabajo comparaba dos sistemas de NFB para el control de la música, uno basado en ondas theta y uno basado en ondas alfa. Para el protocolo se tomó una línea base de 30 segundos y se midió la actividad de alfa y theta con el fin de tener una referencia. Durante la actividad, se aplicó un sistema diseñado con ondas alfa y otro con ondas theta. Para el de ondas alfa, si la potencia calculada era menor a la de la línea base, la música se detenía por 3 segundos. Para ondas theta, si la potencia calculada era mayor a la encontrada en la línea base, la música igualmente se detenía. El sistema se probó en 18 voluntarios, con 1 o 2 sesiones cada uno. Como resultado se mostró el porcentaje del registro de EEG que corresponde a música sonando. También se comparó la potencia de las ondas (alfa o theta según el protocolo) antes y después de la actividad. En este caso se encontraron mejores resultados con ondas alfa. Para el segundo trabajo [14] se tomó en cuenta lo encontrado en el primer trabajo [60]. De manera que el sistema diseñado directamente trabaja con ondas alfa. Esta vez, se modula el volumen de la música. El sistema diseñado utilizaba 1 canal de EEG (O1) con una frecuencia de muestreo de 128 Hz. El protocolo se aplicó sobre 16 participantes con 2 sesiones cada uno. Los participantes fueron divididos en un grupo control y uno de prueba. Se obtuvo que el incremento en la potencia de ondas alfa después de la aplicación del protocolo fue mayor al utilizar el sistema de NFB musical.

Pese a que este es un antecedente directo, no se puede realizar una comparación de los resultados obtenidos en los estudios de Fedotchev [14, 60]. Esto debido a que los protocolos diseñados en estos trabajos tienen como objetivo relajar al participante, mientras que los que se diseñaron para el presente proyecto tienen como objetivo enseñar técnicas de regulación de estrés a través de protocolos de “mindfulness“. Esto se ve reflejado en que los trabajos anteriores buscan un aumento en ondas alfa, mientras que los protocolos diseñados buscan una disminución de estas ondas. La diferencia se debe a que los protocolos diseñados requieren que la participante se concentre en aspectos puntuales como su respiración o su cuerpo. Adicionalmente, los protocolos diseñados en los trabajos anteriores utilizan música clásica, la cual generalmente no tiene letra. Esto contrasta con los protocolos diseñados, en los cuales, en la mayoría de ocasiones, la participante puede escoger la canción con la que quiere trabajar. Algunas actividades directamente requieren que la canción tenga letra, como el caso de “Canta“.

Del trabajo de Fedotchev [14, 60] es posible discutir acerca del diseño del sistema y del protocolo. La primera diferencia notable es el sistema de adquisición. El sistema de Fedotchev [14] utiliza un único canal en occipital, mientras que el sistema diseñado en este trabajo utiliza 8, y analiza 4 ubicados en las zonas prefrontal y frontal, lo cual es más apropiado según la literatura [45, 53, 54, 55]. El uso de canales en la zona occipital podría generar interferencias debido a la actividad de la corteza visual. Este problema se resuelve en ambos trabajos de diferentes maneras. Fedotchev [14] directamente pide a los participantes que cierren los ojos desde el momento de la adquisición de la línea base. En este proyecto se evita ese problema al solo considerar elementos auditivos para la realimentación. La interfaz diseñada es para uso único de los investigadores, las participantes no tuvieron acceso a ella en ningún momento. Otra diferencia que es importante es el uso de canciones con letra. Una de las ventajas de utilizar música en los procesos de NFB es el hecho de que al utilizar este tipo de realimentación, se activan más zonas del cerebro [8, 7]. Por lo tanto, no debería haber problemas al utilizar música con letra. Sin embargo, es necesario decir que, en algunas sesiones, las participantes se distrajeran con la letra de las canciones. Por esta razón se tuvo cuidado en el momento de dejar escoger la canción para la tarea a la participante. Aún con esta desventaja, el uso de canciones con letra permitió el desarrollo de actividades con control de volumen de voz del cantante, lo cual es una gran ventaja. Finalmente, el número de sesiones y de participantes. Si bien Fedotchev, en sus dos trabajos [14, 60], tuvo más de 16 participantes, solo tuvo máximo dos sesiones con cada uno. En su primer trabajo reafirmó la importancia de tener varias sesiones, entre 10 y 12 [61, 62]. Esta es una ventaja del trabajo presentado que 16 sesiones de entrenamiento. [59]

6. Conclusiones

Se desarrolló un sistema de neurorealimentación musical para estrés situacional y memoria declarativa en mujeres víctimas de violencia en el marco de la pareja. Para ello se creó un sistema capaz de modular el volumen y el tempo de la música a través de las señales de EEG. El sistema funciona con un protocolo diseñado en un equipo interdisciplinario con una metodología clara. El análisis de señales muestra como las participantes son capaces de modular sus ondas cerebrales al trabajar en actividades relacionadas con estrés y memoria.

Para los procesos de estrés, las participantes muestran afinidad hacia diferentes estrategias de regulación de estrés. Esto implica que puede que haya tareas que funcionan mejor para algunas mujeres. Además, existen posibles consecuencias en desempeño al interrumpir el entrenamiento. Por último, las pruebas psicométricas apuntan a una mejora en la habilidad de la participante N para regular sus niveles de estrés. En cuanto a los procesos de memoria, existe una mejora de desempeño en las actividades del mismo tipo, lo cual indica que el entrenamiento funciona y permite mejorar la regulación de ondas theta. Adicionalmente, las pruebas psicométricas indican una mejora en tareas relacionadas a la evocación verbal espontánea, la memoria lógica y la figura semi-compleja. En general, hace falta realizar un estudio más amplio para conocer al detalle las implicaciones del protocolo y el sistema sobre las participantes. Sin embargo, los resultados obtenidos son prometedores.

Al comparar el sistema diseñado con antecedentes similares, se encuentran algunas características innovadoras. Para empezar, el uso de ondas theta para trabajar diferentes tipos de memoria. También, el uso de música como realimentación para procesos de estimulación de memoria. Si bien en muchos casos no se especifica, el número de canales también es una característica diferencial en el proyecto. Para actividades de regulación de estrés es interesante trabajar sobre técnicas de “Mindfulness“, ya que son una guía para la regulación de estrés que puede ser útil para facilitar estos procesos. El uso de música con letra también es un aspecto diferencial del proyecto. Finalmente, el contexto con el que se está trabajando, todo el diseño de las tareas, así como los temas de conversación durante las sesiones fueron pensados en el contexto de violencia contra las mujeres en el marco de las relaciones de pareja.

Como aspectos a considerar para próximos trabajos, es importante realizar el procedimiento con una muestra mayor. También tener un grupo control con el fin de comparar resultados utilizando únicamente el protocolo y en conjunto con el sistema de NFB.

Referencias

- [1] Medialdea P. G. Bueso-Izquierdo N. González P. J. del Moral E. M. Pérez-García M. Hidalgo-Ruzzante N. “Secuelas cognitivas en mujeres víctimas de violencia de género”. En: *III Congreso para el estudio de la violencia contra las mujeres: Justicia y Seguridad. Nuevos retos* (2012).
- [2] Parra K. Barrios-D. Rojas Santiago M. Zapata Yance L. F. “Efecto de la Violencia y Esquemas Cognitivos en el Cortisol de Mujeres Violentadas por sus Parejas”. En: *Universitas Psychologica* 5.15 (2016).
- [3] S. Kohl V. Roessner A. Bluschke F. Broschwitz y C. Beste. “The neuronal mechanisms underlying improvement of impulsivity in ADHD by theta/beta neurofeedback”. En: *Sci. Rep* 6.31178 (2016).
- [4] D. Scheinost et al. “Orbitofrontal cortex neurofeedback produces lasting changes in contamination anxiety and resting-state connectivity”. En: *Transl. psychiatry* 3.4 (2013).
- [5] A. Koizumi et al. “Fear reduction without fear through reinforcement of neural activity that bypasses conscious exposure”. En: *Nat. Hum. Behav* 1.1 (2017).
- [6] Macchi P. Lischinsky A. Lichtensztein M. “Music therapy and disorders of consciousness: Providing clinical data for differential diagnosis between vegetative state and minimally conscious state from music-centered music therapy and neuroscience perspectives”. En: *Music Therapy Perspectives* 32.1 (2014).
- [7] Wang L.Q. Nemoto I. Fujimaki T. “fMRI Measurement of Brain Activities to Major and Minor Chords and Cadence Sequences”. En: *IEEE AMBS*. 32 (2010).
- [8] Zatorre R.J. Blood A.J. “Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion”. En: *PNAS*. 98.20 (2001).
- [9] Organización Mundial de la Salud. *Violencia contra la mujer*. 2017. URL: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/violence-against-women>.
- [10] Corporación Humanas Centro Regional de Derechos Humanos y Justicia de Género Hoyos C. A. Benjumea A. M. *Las medidas de protección a mujeres víctimas de violencia: Análisis de la ley 1257 de 2008 y recomendaciones para su efectividad*. 2016.
- [11] United Nations Secretary-General’s Campaign to end violence against women. *Violencia contra las mujeres, La situación*. 2009. URL: http://www.un.org/es/events/endviolenceday/pdfs/unite_the_situation_sp.pdf.
- [12] R. Villalba S. y Espert. “Estimulación cognitiva: una revisión neuropsicológica”. En: *Terapeía* 6 (2014).
- [13] Blanco A. *Design and Evaluation of a Neurofeedback Software in Matlab*. Universitat Pompeu Fabra, 2016.
- [14] Fedotchev Alexander. “Stress Coping Via Musical Neurofeedback.” En: *Advances in mind-body medicine* 32.2 (2018), págs. 17-20.
- [15] Yugeros García A. J. “La Violencia Contra las Mujeres. Conceptos y Causas”. En: *ARATARIA Rev. Castell.-Manchega Cienc. Soc* 18 (2014).
- [16] Aiquipa Tello J.J. “Dependencia emocional en mujeres víctimas de violencia de pareja”. En: *Rev. Psicol* 33.2 (2015).
- [17] Congreso de Colombia. *Por la cual se dictan normas de sensibilización, prevención y sanción de formas de violencia y discriminación contra las mujeres, se reforman los Códigos Penal, de Procedimiento Penal, la Ley 294 de 1996 y se dictan otras disposiciones*. 2008.
- [18] Venero C. y Cordero M.I. Sandi C. “Estrés, memoria y trastornos asociados”. En: *Barcelona: Ariel* (2001).
- [19] Barrios D. y Rojas Santiago M. Zapata Yance L. F. Parra De La Rosa K. “Efecto de los Esquemas Cognitivos en el Cortisol en Mujeres Violentadas por sus Parejas”. En: *Univ. Psychol* 15.5 (2017).
- [20] Cox T. y Griffiths A. Leka S. “Work organization and stress: systematic problem approaches for employers, managers and trade union representatives”. En: *Rev. Psicol* (2003).

- [21] Ouelle-Morin I. Hupback A. Walker D. Tu M. T. Buss Lupien S. J. “Beyond the stress concept: Allostatic load—a developmental biological and cognitive perspective”. En: *Handbook series on developmental psychopathology* (2006).
- [22] A.Fiocco T.E.Schramek S.J.Lupien F.Maheu. “The effects of stress and stress hormones on human cognition: Implications for the field of brain and cognition”. En: *Brain and Cognition* 6.3 (2007).
- [23] Thomas C. Neylan Thomas J. Metzler Stacey L. Hart Christian Otte-Shannon E. McCaslin G. Luke Larkin Kelly B. Hyman Andrew Baum Sabra S. Inslicht Charles R. Marmar. “Increased cortisol in women with intimate partner violence-related posttraumatic stress disorder”. En: *Psychoneuroendocrinology* 31 (2006).
- [24] Colleen M. Kennedy Murray B. Stein y Elizabeth W. Twamley. “Neuropsychological Function in Female Victims of Intimate Partner Violence with and without Posttraumatic Stress Disorder”. En: *Society of Biological Psychiatry* 52 (2002).
- [25] Murphy C. M. Dore G. A. Evans M. K. Zonderman A. B. Williams M. R. “Intimate Partner Violence Victimization and Cognitive Function in a Mixed-Sex Epidemiological Sample of Urban Adults. Violence and Victims”. En: *Transl. sychiatry* 32.6 (2017).
- [26] Soledad Ballesteros Jiménez. *Psicología de la memoria. Estructuras, procesos, sistemas*. Universitas, 2012.
- [27] Abd Hamid A. I. Abdullah J. M. Chai W. J. “Working Memory From the Psychological and Neurosciences Perspectives: A Review”. En: *Frontiers in Psychology* 9 (2018).
- [28] DeLuca J Hillary FG. *Functional Neuroimaging in Clinical Populations*. Guilford Press, 2007.
- [29] Chen Y. Kim D. Fazli S. Kang T. “EEG-Based Decoding of Declarative Memory Formation.” En: *2016 4th International Winter Conference on Brain-Computer Interfaces (BCI)* 4 (2016).
- [30] Adriana Bastardas-Albero Donald A. Godfrey Caitlin M. Kehoe y Julia C. Babcock. “Empathy Mediates the Relations between Working Memory and Perpetration of Intimate Partner Violence and Aggression”. En: *Behaivoral sciences* 10.3 (2020).
- [31] Surinder Jaswal Sam Harper Robin Richardson Arijit Nandi. “Does economic empowerment protect women from intimate partner violence?” En: *Journal of Injury and Violence Research* 3 (2011).
- [32] Surinder Jaswal Sam Harper Robin Richardson Arijit Nandi. “The effect of intimate partner violence on women’s mental distress: a prospective cohort study of 3010 rural Indian women”. En: *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology* 55 (2020).
- [33] Plazaola-Castano J. Vives-Cases C. Ruiz-Perez I. “Methodological issues in the study of violence against women”. En: *Journal of Epidemiology Community Health* 61 (2007).
- [34] Lauren C. Frey Erik K. St. Louis. *Electroencephalography. An Introductory Text and Atlas of Normal and Abnormal Findings in Adults, Children, and Infants*. 135 S. LaSalle St., Suite 2850, Chicago, IL 60603: American Epilepsy Society, 2016.
- [35] P. Welch. “The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms”. En: *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*. 15.2 (1967).
- [36] Cancino SL López JM Pulido SD Bocanegra AJ. “Serious Game Controlled by a Human-Computer Interface for Upper Limb Motor Rehabilitation: A Feasibility Study.” En: *In book: Pattern Recognition and Image Analysis* (2019).
- [37] Burns S.T. “Neurofeedback in Hereditary Angioedema: A Single Case Study of Symptom Reduction”. En: *App Phychophysiol Biofeedback*. 40 (2015), págs. 251-256.
- [38] M. Mansourian M. Hengameh H. R. Marateb. “Methodological Note: Neurofeedback: A Comprehensive Review on System Design, Methodology and Clinical Applications”. En: *Basic and Clinical Neuroscience*. 7.2 (2016).

- [39] AB Hjorth Bo; Elema-Schönander. “EEG analysis based on time domain properties.” En: *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 29 (1970), págs. 306-310.
- [40] Castet J. Miranda E. *Guide to Brain-Computer Music Interfacing*. Springer-Verlag London, 2014.
- [41] Kodama H. Kudo N. Shinohara H. “Heart Rate Variability Biofeedback Intervention for Reduction of Psychological Stress During Early Postpartum Period”. En: *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 39 (2014), págs. 203-211.
- [42] Witte M. Reichert J. L. Grieshofer P. Neuper C. Wood G. Kober S.E. Schweiger D. “Specific effects of EEG based neurofeedback training on memory functions in post-stroke victims”. En: *journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 12.107 (2015).
- [43] Kaplan Z. Guez J. Todder D. Lavy Y. Dwolatzky T. “Neurofeedback Improves Memory and Peak Alpha Frequency in Individuals with Mild Cognitive Impairment”. En: *App Psychophysiol and Biofeedback*. 44 (2019), págs. 41-49.
- [44] Deutsch I. Garbi D. Alkobi O. Shriki O. Shkedy A. Shahar N. Miran N. Gordon S. Todder D. “Effects of neurofeedback and working memory-combined training on executive functions in healthy young adults.” En: *Psychological Research* (2019).
- [45] Kamel N. Saad M. Nandagopal N. Kang K. Malik A. Subhani A. “Mitigation of stress: new treatment alternatives.” En: *Cognitive Neurodynamics* 12.1 (2017).
- [46] Kamiya J. Hardt J.V. “Anxiety change through electroencephalographic alpha feedback seen only in high anxiety subjects”. En: *Science*. 201.4350 (1978), págs. 79-81.
- [47] Peretz I. Weiss M. “Ability to process musical pitch is unrelated to the memory advantage for vocal music”. En: *Brain and Cognition*. 129 (2019), págs. 35-39.
- [48] Giraldo S. Vamvakousis Z. Ramírez R. Palencia M. “Musical neurofeedback for treating depression in elderly people”. En: *Frontiers in Neuroscience*. 9 (2015).
- [49] Acero M.P. González A. Rizo A. Prado M.A. Mejía E. Velazquez J.L. Espitia C. López J.M. Cárdenas D.C. “Induced EEG activity during the IAPS tests and avEMT in intimate partner violence against women”. En: *International Symposium on Medical Information Processing And Analysis*. 14 (2018).
- [50] Rizo A. Cárdenas D.C. Prado M.A. Mejía E. González A. Lamprea J. Flórez D. Cruz K. Higuera M.F. Molina J.F. López J.M. Acero M.P. “Emotional Neurophysiological Response In Intimate Partner Violence Against Women. A Pilot Study”. En: *International Seminar of Biomedical Engineering (SIB)*. 9 (2018).
- [51] g.Tec. *g.USBAMP RESEARCH BIOSIGNAL AMPLIFIER*. 2016. URL: <https://www.gtec.at/product/g-usbamp-research/>.
- [52] Barclay N.L. Ellis J.G. Elder G.J. Wetherell M.A. “The cortisol awakening response – Applications and implications for sleep medicine”. En: *Sleep Medicine Reviews* 18.3 (2014), págs. 215-224.
- [53] Lynn D Selemon y col. “Frontal lobe circuitry in posttraumatic stress disorder”. En: *Chronic Stress* 3 (2019), pág. 2470547019850166.
- [54] Amy FT Arnsten. “Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function”. En: *Nature reviews neuroscience* 10.6 (2009), págs. 410-422.
- [55] Amy FT Arnsten y col. “The effects of stress exposure on prefrontal cortex: Translating basic research into successful treatments for post-traumatic stress disorder”. En: *Neurobiology of stress* 1 (2015), págs. 89-99.
- [56] Jen-Jui Hsueh y col. “Neurofeedback training of EEG alpha rhythm enhances episodic and working memory”. En: *Human brain mapping* 37.7 (2016), págs. 2662-2675.
- [57] Jonathan Guez y col. “Influence of electroencephalography neurofeedback training on episodic memory: A randomized, sham-controlled, double-blind study”. En: *Memory* 23.5 (2015), págs. 683-694.
- [58] Ting-Ying Wei y col. “Portable wireless neurofeedback system of EEG alpha rhythm enhances memory”. En: *Biomedical engineering online* 16.1 (2017), págs. 1-18.

- [59] Eric YuLeung To y col. "Working memory and neurofeedback". En: *Applied Neuropsychology: Child* 5.3 (2016), págs. 214-222.
- [60] AI Fedotchev, SJ Oh y GI Semikin. "Combination of neurofeedback technique with music therapy for effective correction of stress-induced disorders". En: *Modern technologies in medicine* 6.3 (2014).
- [61] VA Doskin y col. "Test for differential self-assessment of functional state". En: *Psychology Questions* 6 (1973), págs. 141-146.
- [62] Raymond AR MacDonald. "Music, health, and well-being: A review". En: *International journal of qualitative studies on health and well-being* 8.1 (2013), pág. 20635.

ANEXOS

Ejemplos de audio

Tomando como ejemplo la canción *Only Time* de Enya se generaron 4 audios. El primero tiene la canción original, los otros 3 muestran la canción alterada según cada tipo de NFB, es decir, un audio con el tempo alterado, un audio con el volumen alterado y el último con el volumen de la voz de la cantante alterado. Los audios se encuentran en una carpeta de Google Drive a la que es posible acceder a través de este [link](#).

Mapas de calor de todas las actividades

Se generaron 6 mapas de calor por actividad. Estos mapas corresponden a la actividad de ondas theta, alfa y beta durante la línea base y durante el registro de la actividad. Debido a la gran cantidad de imágenes, estas se subieron a Google Drive, es posible acceder a ellas a través de este [link](#).

Resultados de las pruebas de perfil de estrés para la participante N

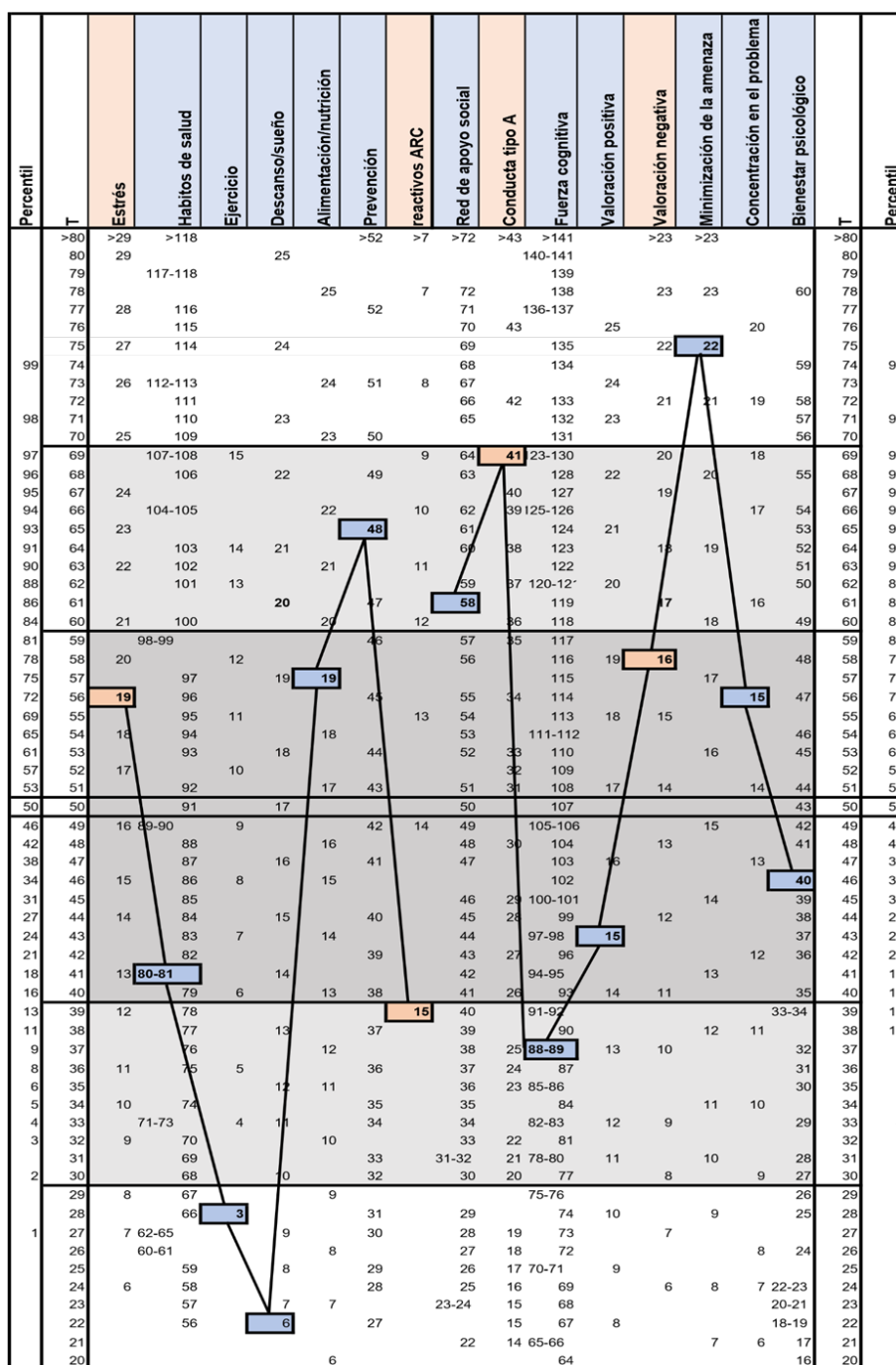


Figura 26: Resultados de la prueba psicométrica *Perfil de Estrés de Nowack* para la participante N antes del entrenamiento.

Resultados de la prueba Neuropsi para la participante A

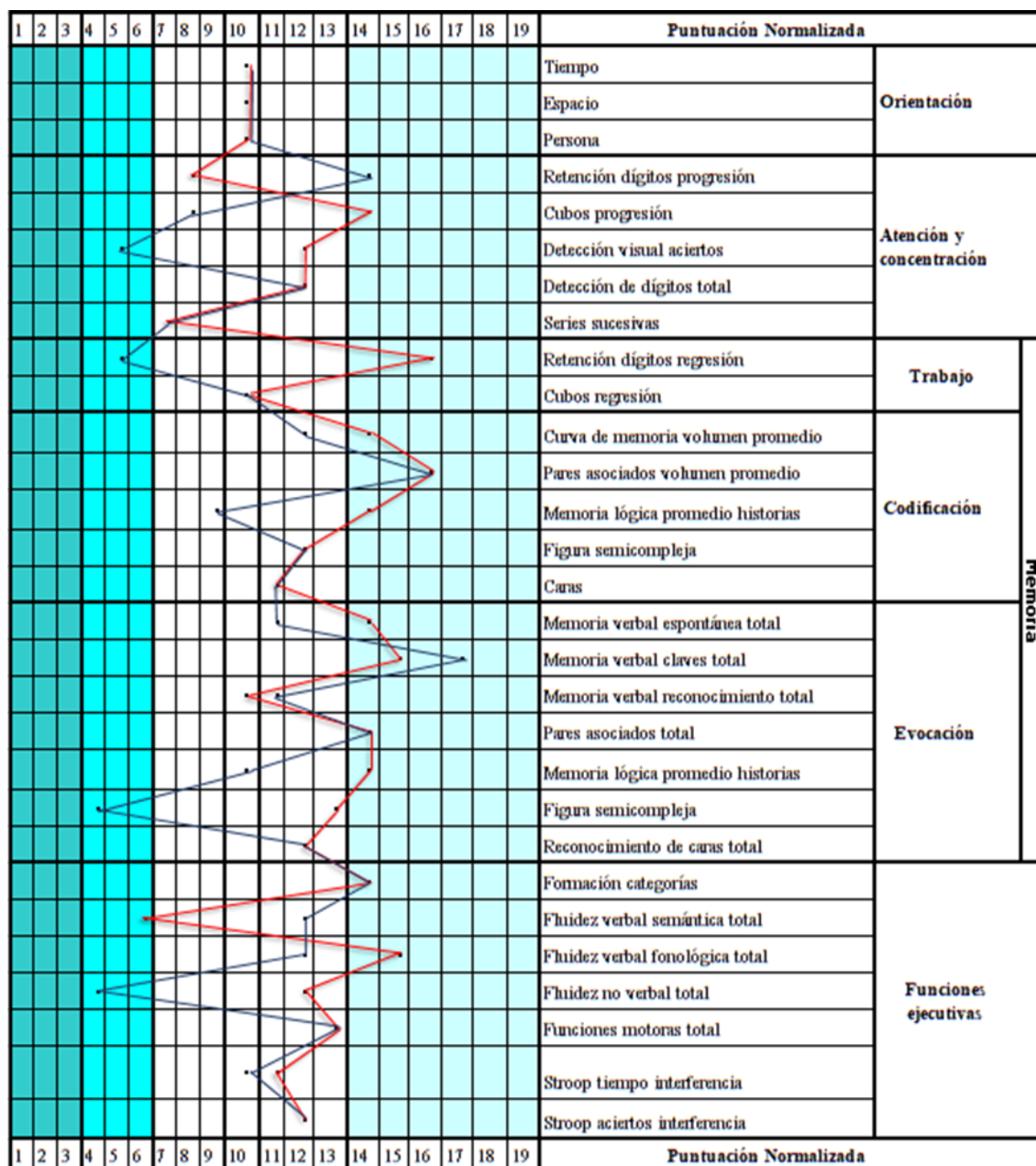


Figura 28: Resultados de la prueba psicométrica *Neuropsi: Atención y Memoria* para la participante A. Los puntajes 14-19 representan un desempeño Normal-Alto, los puntajes 7-13 representan un desempeño normal, los puntajes 4-6 un desempeño Leve-Moderado y 1-3 un desempeño Severo.

Constancia de sometimiento a una conferencia científica

Como requisito del trabajo de grado, se pidió someter la investigación para publicar en un medio científico. Se escogió el Simposio de procesamiento y análisis de información médica (SIPAIM por sus siglas en inglés) el cual tendrá lugar en octubre de 2020 y será virtual. A continuación se presenta una constancia del sometimiento.

Manage Active Submissions

SPIE Submission System

Select Symposium:

The 16th International Symposium on Medical Information Processing and Analysis (SIP20) ▾

AUTHOR	Paper Title: music-based neurofeedback system for stress regulation and memory stimulation
	Paper No. SIP220-10
	Tracking No. SIP20-SIP220-10
	Program Coordinator: Woods, Arwen (arwenw@spie.org)
MANUSCRIPT	
Status: Manuscript version 1 submitted and approved.	
Due Date	
Submit Manuscript Revision or Update Presentation Details	
10 August 2020	
▶ Submission History	

Figura 29: Constancia de sometimiento del trabajo para su publicación en SIPAIM 2020.

Formatos para consentimientos informados



Ciudad: _____

Fecha: DD/MM/AAAA



UNIMINUTO
Corporación Universitaria Minuto de Dios
Educación de Calidad al alcance de todos

CONSENTIMIENTO INFORMADO

“Neurofeedback musical: una aproximación al control del estrés en mujeres que han vivido situaciones de violencia en contextos de pareja”

La información aquí descrita vela por el cumplimiento de los principios generales del Artículo 2 del código deontológico y bioético del psicólogo de la ley 1090 de 2006. En este se plantea que desde el ejercicio profesional como psicólogas y psicólogos se deberá velar por el bienestar e integridad de las y los participantes de cualquier proyecto de investigación. Así mismo, vela por el cumplimiento del artículo 17 de la ley 842 de 2003 donde se menciona que el ejercicio de la profesión de Ingeniería Biomédica debe ser guiado por fines que exalten su profesión. Dentro del marco de este proyecto las y los profesionales de ingeniería deberán contribuir con sus conocimientos, capacidad y experiencia, servir a la humanidad, proteger la vida y salud de los miembros de la comunidad y evitando riesgos innecesarios en la ejecución sus investigaciones.

El proyecto de investigación ***“Neurofeedback musical: una aproximación al control del estrés en mujeres que han vivido situaciones de violencia en contextos de pareja”*** dirigido por investigadoras e investigadores en psicología e ingeniería biomédica, tiene como objetivo principal diseñar, aplicar y evaluar protocolos para la regulación del estrés a través de Neurofeedback con estímulos musicales, en participantes que han vivido situaciones de violencia contra las mujeres ejercida por su pareja. La información suministrada en las pruebas, tareas y los registros electrofisiológicos será confidencial y el uso de los datos tendrán fines académicos e investigativos.

La participación en este proyecto de investigación se desarrollará en los siguientes encuentros: primero *medición pre entrenamiento* de la respuesta de estrés a través de pruebas psicométricas y registros fisiológicos como electroencefalografía, respuesta galvánica de la piel y variabilidad de la respuesta cardíaca, ante la presentación de un protocolo específico para este fin. El segundo encuentro corresponde a la fase de *entrenamiento* que consta de 18 sesiones dobles cada una de 45 minutos una vez a la semana, allí se realizará la estimulación con Neurofeedback Musical; en estas sesiones se hará uso de los instrumentos para el registro electrofisiológico mencionado anteriormente. El tercer encuentro es la *medición post entrenamiento* de la respuesta de estrés como se realizó en el primer encuentro; para finalizar se realizarán *el cierre y la devolución de resultados* en la que se entregará un documento donde se explican los resultados del proceso. En cada uno de los encuentros aquí descritos, se buscará conversar sobre la relación entre las actividades, las experiencias de vida y cuatro categorías clave para el desarrollo del proyecto: *mujeres, cuerpo, ética del cuidado y estrés*. El proyecto cuenta con un auxilio de transporte que cubre ida hasta UNIMINUTO desde su casa y vuelta desde UNIMINUTO hasta su casa para cada encuentro.

De acuerdo con lo anterior, el proceso a desarrollar durante esta investigación corresponde a la categoría de “riesgo mínimo” que según el artículo 11 de la resolución número 8430 de 1993 se caracteriza por emplear registros de datos a través de procedimientos comunes, exámenes físicos o psicológicos que no buscan manipular la conducta de la participante con medicamentos de uso común o de uso terapéutico. Es posible que usted experimente una ligera incomodidad, pero ningún tipo de dolor durante los encuentros del proyecto, ni en la realización de las actividades previstas para cada

sesión. Es importante que en el momento de la aplicación de las pruebas usted consulte con la investigadora o investigador que se encuentre presente en caso de tener dudas o incomodidad frente a estas; si tal incomodidad persiste, usted puede elegir no continuar sin dar explicación o retirarse del estudio, sin perjuicio alguno para usted, ni para los y las investigadoras del proyecto.

Los resultados y hallazgos encontrados en las pruebas realizadas dentro del proyecto no tiene como fin generar un diagnóstico, y por tanto no será en ningún caso un recurso clínico o jurídico. Serán publicados y comunicados de manera anónima en eventos académicos y científicos, revistas científicas y otros espacios académicos con la finalidad de divulgar el conocimiento obtenido, no se espera recibir beneficio económico por los productos publicados. Así mismo, los resultados de estas pruebas serán consolidados en una base de datos que podrá ser consultada por éste y/o futuros proyectos relacionados con la expresa autorización de los y las investigadoras de este proyecto, dicha autorización y manejo de información anónima se acoge a lo establecido en el artículo 3 de la ley 1581 de 2012 sobre el tratamiento de los datos.

Se garantiza la confidencialidad de su nombre y datos personales que serán custodiados por los y las investigadoras del proyecto, de conformidad con el decreto 1377 de 2013 de la ley 1581 de 2012 sobre el tratamiento de los datos. Sin embargo, si durante la aplicación de la prueba o en otro momento del proyecto se identifica que su vida o la de un tercero se encuentra en inminente riesgo, es deber de los y las profesionales en psicología informar al personal pertinente de acuerdo con el artículo 2 numeral 5 de la ley 1090 de 2006.

Declaración de la participante:

Yo, _____ identificada con C.C _____ de _____ he leído este consentimiento informado, he comprendido las implicaciones de la participación en el proyecto "*Neurofeedback musical: una aproximación al control del estrés en mujeres que han vivido situaciones de violencia en contextos de pareja*" y he podido resolver todas las dudas que he planteado al respecto.

Autorizo participar en las fases de medición pre y post entrenamiento teniendo en cuenta que los registros allí obtenidos sólo serán utilizadas para el procesamiento de los datos han de ser autorizados,

SI __ NO__

Autorizo el registro fotográfico en los diferentes momentos del proyecto.

SI __ NO __

Comprendo que en cualquier momento y sin necesidad de dar ninguna explicación, puedo revocar el consentimiento que ahora presento. También he sido informada y autorizo el uso de mis datos personales, los cuales serán confidenciales, protegidos y únicamente utilizados con fines académicos e investigativos.

SI __ NO__

Tomando todo ello en consideración y en tales condiciones, CONSIENTO participar en el proyecto de investigación mencionado y que los datos que se deriven de mi participación sean utilizados para cubrir los objetivos especificados en este documento.

En constancia firma,

Firma de la Participante

Código _____

CC N° _____

Declaración del/la Investigador/a:

Nosotros, _____ y _____
identificados con las C.C _____ de _____ y C.C _____ de _____
certificamos que hemos explicado a la participante la naturaleza y el objetivo de la
investigación: ***Neurofeedback musical: una aproximación al control del estrés en mujeres que han
vivido situaciones de violencia en contextos de pareja.*** Confirmamos que todas las preguntas que la
participante ha hecho le han sido contestadas y que ella ha dado su consentimiento de forma libre y
voluntaria.

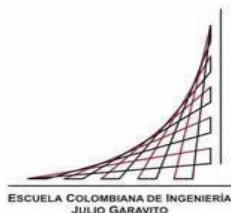
En constancia firman,

Firma del/la Investigador/a
UNIMINUTO

Firma del/la Investigador/a
Escuela Colombiana de Ingeniería Julio
Garavito

CC N°: _____

CC N°: _____



Ciudad: _____

Fecha: DD/MM/AAAA



CONSENTIMIENTO INFORMADO

“NEUROFEEDBACK MUSICAL: ESTIMULACIÓN DE LA MEMORIA EN MUJERES QUE HAN VIVIDO SITUACIONES DE VIOLENCIA EN EL MARCO DE PAREJA”.

La información aquí descrita vela por el cumplimiento de los principios generales del Artículo 2 del código deontológico y bioético del psicólogo de la ley 1090 de 2006. En este se plantea que desde el ejercicio profesional como psicólogas y psicólogos se deberá velar por el bienestar e integridad de las y los participantes de cualquier proyecto de investigación. Así mismo, vela por el cumplimiento del artículo 17 de la ley 842 de 2003 que menciona que el ejercicio de la profesión de Ingeniería Biomédica debe ser guiado por fines que exalten su profesión. Dentro del marco de este proyecto las y los profesionales de ingeniería deberán contribuir con sus conocimientos, capacidad y experiencia, servir a la humanidad, proteger la vida y salud de los miembros de la comunidad, evitando riesgos innecesarios en la ejecución sus investigaciones.

El proyecto de investigación ***“Neurofeedback musical: estimulación de la memoria en mujeres que han vivido situaciones de violencia en el marco de pareja”.*** dirigido por investigadoras e investigadores cobijados por la ciencia psicológica y la ingeniería biomédica, tiene como objetivo principal diseñar, aplicar y evaluar protocolos de estimulación de la memoria declarativa empleando Neurofeedback musical, en participantes que han vivido situaciones de violencia contra las mujeres ejercida por su pareja y aquellas que no las han vivido. La información suministrada en las pruebas, tareas y los registros electrofisiológicos será confidencial y el uso de los datos tendrá exclusivamente fines académicos e investigativos.

La participación en este proyecto de investigación se desarrollará en los siguientes momentos: primero, se dará un espacio para la *medición pre entrenamiento* en la que se evaluarán las habilidades perceptuales musicales, se realizará registro encefalográfico y además, se pretende valorar componentes de la memoria evaluando cuatro áreas: *memoria de trabajo, codificación, evocación y funciones ejecutivas*. Segundo, se llevará a cabo la fase de *entrenamiento*, que consta de 18 sesiones dobles, cada una de 45 minutos una vez a la semana. En cada sesión se presentarán diversas actividades con elementos visuales y auditivos enfocadas en la estimulación cognitiva; durante la realización de las tareas se estará haciendo registro electroencefalográfico para la ejecución del Neurofeedback Musical. En el tercer momento se realizará la *medición pos entrenamiento* en la que se valorarán nuevamente los componentes de la memoria. Finalmente, en la fase de *devolución de resultados* se entregará un documento en el que se evidencien los resultados obtenidos durante el proceso de cada participante. En cada uno de los momentos aquí descritos, se buscará conversar sobre la relación entre las actividades, las experiencias propias y cuatro categorías clave en el desarrollo del proyecto: *mujeres, cuerpo, ética del cuidado* y memoria. Para poder llevar a cabo los momentos señalados a cada participante se le dará un auxilio de transporte que cubre ida hasta UNIMINUTO desde su casa y vuelta desde UNIMINUTO hasta su casa.

De acuerdo con lo anterior, el proceso a desarrollar durante esta investigación corresponde a la categoría de “ riesgo mínimo” que según el artículo 11 de la resolución número 8430 de 1993 se caracteriza por emplear registros de datos a través de procedimientos comunes, exámenes físicos o psicológicos que no buscan manipular la conducta de la participante con medicamentos de uso común o de uso terapéutico. La aplicación de estas pruebas no tiene como fin generar un diagnóstico, y por tanto no será un recurso clínico ni jurídico.

Es importante que en el momento de la aplicación de las pruebas usted consulte con la investigadora o investigador que se encuentre presente en caso de tener dudas o incomodidad frente a estas; si tal incomodidad persiste, usted puede elegir no continuar sin dar explicación o retirarse del estudio, sin perjuicio alguno para usted, ni para los y las investigadoras del proyecto.

Los resultados y hallazgos encontrados en las pruebas realizadas dentro del proyecto serán publicados y comunicados de manera anónima en eventos académicos y científicos, revistas científicas y otros espacios académicos con la finalidad de divulgar el conocimiento obtenido y no se espera recibir beneficio económico por los productos publicados. Así mismo, los resultados de estas pruebas serán consolidados en una base de datos que podrá ser consultada por éste y/o futuros proyectos relacionados con la expresa autorización de los investigadores de este proyecto, dicha autorización y manejo de información anónima se acoge a lo establecido en el artículo 3 de la ley 1581 de 2012 sobre el tratamiento de los datos.

Se garantiza la confidencialidad de su nombre y datos personales que serán custodiados por los y las investigadoras del proyecto, de conformidad con el decreto 1377 de 2013 de la ley 1581 de 2012 sobre el tratamiento de los datos. Sin embargo, si durante la aplicación de la prueba o en otro momento del proyecto se identifica que su vida o la de un tercero se encuentra en inminente riesgo, es deber del profesional en psicología informar al personal pertinente de acuerdo con el artículo 2 numeral 5 de la ley 1090 de 2006.

Declaración de la participante:

Yo, _____ identificada con C.C _____ de _____ he leído este consentimiento informado, he comprendido las implicaciones de la participación en el proyecto “*Neurofeedback musical: estimulación de la memoria en mujeres que han vivido situaciones de violencia en el marco de pareja*” y he podido resolver todas las dudas que he planteado al respecto.

Autorizo participar en las fases de medición pre y pos entrenamiento teniendo en cuenta que los registros allí obtenidos sólo serán utilizadas para el procesamiento de los datos han de ser autorizados,

SI __ NO__

Autorizo el registro fotográfico en los diferentes momentos del proyecto.

SI __ NO __

Comprendo que en cualquier momento y sin necesidad de dar ninguna explicación, puedo revocar el consentimiento que ahora presento. También he sido informada y autorizo el uso de mis datos personales, los cuales serán confidenciales, protegidos y únicamente utilizados con fines académicos e investigativos.

SI __ NO__

Código _____

Tomando todo ello en consideración y en tales condiciones, CONSIENTO participar en el proyecto de investigación mencionado y que los datos que se deriven de mi participación sean utilizados para cubrir los objetivos especificados en este documento.

En constancia firma,

Firma de la Participante
CC N° _____

Declaración del/la Investigador/a:

Nosotros, _____ y _____
identificados con las C.C _____ de _____ y C.C _____ de _____
certificamos que hemos explicado a la participante la naturaleza y el objetivo de la investigación: *Neurofeedback musical: estimulación de la memoria en mujeres que han vivido situaciones de violencia en el marco de pareja*. Confirmamos que todas las preguntas que la participante ha hecho le han sido contestadas y que ella ha dado su consentimiento de forma libre y voluntaria.

En constancia firman,

Firma del/la Investigador/a
UNIMINUTO

CC N°: _____

Firma del/la Investigador/a
Escuela Colombiana de Ingeniería Julio
Garavito

CC N°: _____