

# Design of a Neurofeedback Training System for Meditation Based on EEG Technology

Andrés-Eduardo Nieto-Vallejo; Omar-Fernando Ramírez-Pérez; Luis-Eduardo Ballesteros-Arroyave; Angela Aragón

**Citación:** A.-E. Nieto-Vallejo, O.-F. Ramírez-Pérez, L.-E. Ballesteros-Arroyave, A. Aragón, “Design of a Neurofeedback Training System for Meditation Based on EEG Technology,” *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 30 (55), e12489, 2021.

<https://doi.org/10.19053/01211129.v30.n55.2021.12489>

**Recibido:** Febrero 15, 2021; **Aceptado:** Marzo 28, 2021;

**Publicado:** Marzo 31, 2021

**Derechos de reproducción:** Este es un artículo en acceso abierto distribuido bajo la licencia [CC BY](#)



**Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener conflicto de intereses

# Design of a Neurofeedback Training System for Meditation Based on EEG Technology

Andrés-Eduardo Nieto-Vallejo<sup>1</sup>

Omar-Fernando Ramírez-Pérez<sup>2</sup>

Luis-Eduardo Ballesteros-Arroyave<sup>3</sup>

Angela Aragón<sup>4</sup>

## Abstract

Meditation is a form of mental training that has therapeutic potential and cognitive benefits that may enhance attention, mental well-being, and neuroplasticity. However, the learning process is not easy because meditators do not receive immediate feedback that lets them know if they are correctly doing the activity. EEG Neurofeedback training is one of the techniques to train brain self-regulation and it has the potential to increase the effectiveness of meditation. However, the benefits greatly differ between subjects with a high percentage of inefficacy. In this work, an EEG Neurofeedback Training System is proposed based on user-centered design methodology to provide real-time performance feedback to meditators to increase levels of attention and relaxation through a visual, sound and smell stimuli interface. Levels of attention and relaxation of nine participants were measured with a mobile Neurosky EEG headset biosensor during meditation practice to analyze the incidence of each type of stimuli during activity. Visual stimuli feedback was able to increase attention levels of 78% of the participants by 11.8% compared to a

---

<sup>1</sup> M. Sc. Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá-Distrito Capital, Colombia). [nieto-andres@javeriana.edu.co](mailto:nieto-andres@javeriana.edu.co). ORCID: [0000-0003-1934-8552](https://orcid.org/0000-0003-1934-8552)

<sup>2</sup> M. Sc. Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá-Distrito Capital, Colombia). [omar.ramirez@javeriana.edu.co](mailto:omar.ramirez@javeriana.edu.co). ORCID: [0000-0003-1492-7010](https://orcid.org/0000-0003-1492-7010)

<sup>3</sup> Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá-Distrito Capital, Colombia). [luis.ballesteros@javeriana.edu.co](mailto:luis.ballesteros@javeriana.edu.co). ORCID: [0000-0003-4660-2739](https://orcid.org/0000-0003-4660-2739)

<sup>4</sup> Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá-Distrito Capital, Colombia). [angela.aragon@javeriana.edu.co](mailto:angela.aragon@javeriana.edu.co). ORCID: [0000-0003-2968-244X](https://orcid.org/0000-0003-2968-244X)

meditation session without any stimuli. The sound stimuli feedback was able to increase the relaxation levels of 44.4% of the participants by 16% compared to a session without any stimuli. These results might bring new insights for the design of a neurofeedback system interface for meditation. Further research on neurofeedback training interfaces for meditators is suggested to validate these results with more participants.

**Keywords:** attention; electroencefalogram; meditation; neurofeedback; relaxation; training.

## **Diseño de un sistema de retroalimentación neuronal para el entrenamiento de la meditación basado en electroencefalograma**

### **Resumen**

La meditación es una forma de entrenamiento mental que tiene potencial terapéutico y beneficios cognitivos que pueden mejorar la atención, el bienestar mental y la neuroplasticidad en el cerebro. Sin embargo, el proceso de aprendizaje no es fácil porque los meditadores no reciben una retroalimentación inmediata que les permita saber si están realizando correctamente la actividad. El entrenamiento basado en retroalimentación neuronal es una de las técnicas para entrenar la autorregulación del cerebro y tiene el potencial de aumentar la efectividad de la meditación. Sin embargo, los beneficios difieren mucho entre sujetos con un alto porcentaje de ineficacia. En este trabajo, se propone un Sistema de Entrenamiento de Retroalimentación Neuronal basado en una metodología de diseño centrada en el usuario para proporcionar retroalimentación de desempeño en tiempo real a los meditadores para aumentar los niveles de atención y relajación a través de una interfaz de estímulos visuales, sonoros y olfativos. Los niveles de atención y relajación de nueve participantes se midieron con una diadema Neurosky EEG durante la práctica de meditación para analizar la incidencia de cada tipo de estímulo durante la actividad. La retroalimentación de estímulos visuales pudo aumentar los niveles de atención del 78% de los participantes en un 11,8% en comparación con una sesión de meditación sin ningún estímulo. La retroalimentación de los estímulos sonoros logró aumentar los niveles de relajación

del 44,4% de los participantes en un 16% en comparación con una sesión sin ningún estímulo. Estos resultados podrían aportar nuevos conocimientos para el diseño de una interfaz de sistema de retroalimentación neuronal el entrenamiento de la meditación. Se sugiere realizar más investigaciones sobre las interfaces de entrenamiento de retroalimentación neuronal para meditadores con el fin de validar estos resultados con más participantes.

**Palabras clave:** atención; electroencefalograma; entrenamiento; meditación; relajación; retroalimentación neuronal.

## **Projeto de um sistema de feedback neural para treinamento de meditação baseado em EEG**

### **Resumo**

A meditação é uma forma de treinamento mental que tem potencial terapêutico e benefícios cognitivos que podem melhorar a atenção, o bem-estar mental e a neuroplasticidade no cérebro. No entanto, o processo de aprendizagem não é fácil porque os meditadores não recebem feedback imediato para que saibam se estão fazendo a atividade corretamente. O treinamento baseado em feedback neural é uma das técnicas para treinar a autorregulação do cérebro e tem o potencial de aumentar a eficácia da meditação. No entanto, os benefícios diferem muito entre os indivíduos com um alto percentual de ineficácia. Neste trabalho, um Sistema de Treinamento de Feedback Neural baseado em uma metodologia de design centrado no usuário é proposto para fornecer feedback de desempenho em tempo real para meditadores para aumentar os níveis de atenção e relaxamento através de uma interface de estímulos visuais, sonoros e olfativos. Os níveis de atenção e relaxamento de nove participantes foram medidos com uma faixa de cabeça Neurosky EEG durante a prática de meditação para analisar a incidência de cada tipo de estímulo durante a atividade. O feedback dos estímulos visuais foi capaz de aumentar os níveis de atenção de 78% dos participantes em 11,8% em comparação com uma sessão de meditação sem nenhum estímulo. O feedback dos estímulos sonoros conseguiu aumentar os níveis de relaxamento de 44,4% dos participantes em 16% em relação a uma sessão sem nenhum estímulo. Esses resultados podem

fornecer novos insights para o projeto de uma interface de sistema de feedback neural para o treinamento de meditação. Pesquisas adicionais sobre interfaces de treinamento de feedback neural para meditadores são sugeridas para validar esses resultados com mais participantes.

**Palavras-chave:** atenção; eletroencefalograma; treinamento; meditação; relaxamento; feedback neural.

## I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos treinta años, la ciencia ha demostrado numerosos beneficios fisiológicos y psicológicos de la práctica de la meditación [1-3]. Una de las investigaciones más extensas y detalladas sobre este tema ha sido llevada a cabo por Richard Davidson en la Universidad de Madison en Wisconsin EU. Él y sus colegas han estado estudiando durante décadas los efectos de la meditación en un gran número y variedad de practicantes. Algunas investigaciones han demostrado la relación entre la disposición mental y la experiencia del dolor [4], los efectos de la ansiedad en el sistema inmunológico [5], la reducción del riesgo cardiovascular y el envejecimiento saludable [6] y cómo la meditación puede inducir cambios plásticos en el cerebro, creando nuevos circuitos y nuevas neuronas [7]. Para desarrollar estos estudios, los investigadores han estado utilizando tecnologías de neuroimagen como la resonancia magnética funcional (fMRI) y la electroencefalografía (EEG).

El neurólogo alemán Hans Berger es considerado el padre de la tecnología EEG. Creó el primer dispositivo capaz de registrar la actividad eléctrica de las ondas cerebrales en 1924. Desde entonces, la tecnología EEG se ha vuelto cada vez más barata y pequeña. Hoy en día es posible encontrar una variedad de diademas EEG móviles como el que se utilizó en esta investigación. Los biosensores de EEG registran la actividad eléctrica del cerebro, específicamente el potencial postsináptico, creado por algunas neuronas. Grupos de más de mil neuronas pueden sincronizarse y generar diferentes ritmos o frecuencias, beta (> 13 Hz), alfa (8-13 Hz), theta (4-8 Hz), delta (0,5-4 Hz) que están vinculados a distintas funciones cognitivas [8]. Laboratorios y empresas han estado estudiando las correlaciones entre patrones de actividad cerebral y diferentes funciones cognitivas como la atención o la relajación y procesos como el aprendizaje y la meditación.

La meditación se describe como una técnica de autorregulación en la que el meditador se centra en mantener la atención y alcanzar un estado de reposo. Sin embargo, el proceso de aprendizaje no es fácil para los meditadores y particularmente para los principiantes porque no hay una retroalimentación

inmediata, por lo que generalmente no saben si están realizando la actividad correctamente [9].

El neurofeedback es una técnica no invasiva en la que el propio cerebro se encarga de autorregular la actividad eléctrica que se refleja en las ondas cerebrales, basándose en el estímulo de retroalimentación que recibe de su propio funcionamiento. El estímulo de retroalimentación puede ser visual, auditivo, olfativo o táctil, para que los usuarios conozcan su actividad cerebral y tomen conciencia de sus reacciones. Por tanto, genera un aumento en los niveles de autocontrol y autoconciencia. El entrenamiento de neurofeedback se puede realizar midiendo la actividad eléctrica del cerebro con tecnología EEG y dando algún tipo de estímulo de retroalimentación al cerebro.

Los investigadores han demostrado que el EEG Neurofeedback parece aumentar las habilidades cognitivas y puede usarse para apoyar el proceso de aprendizaje de la meditación [10-27]. Sin embargo, algunos estudios recientes encontraron que los beneficios del neurofeedback difieren enormemente entre los sujetos y, en algunos casos particulares, no parece proporcionar una ventaja sobre la meditación por uno mismo [28, 29]. Es por eso por lo que los autores [3, 31-32] sugirieron el uso de neurofeedback personalizado como una forma de reducir el problema de ineficacia y también han compartido algunas consideraciones para el diseño de un sistema de entrenamiento de neurofeedback.

En este trabajo, se diseñó un Sistema de Entrenamiento con Neurofeedback basado en EEG (EEG-NFTS), a partir de una metodología de diseño centrada en el usuario para proporcionar retroalimentación de rendimiento en tiempo real a los meditadores para aumentar los niveles de atención y relajación a través de una interfaz de estímulos visuales, sonoros y olfativos. El sistema se evaluó midiendo los efectos durante las sesiones de meditación.

Este artículo se divide de la siguiente manera: la Sección 2 presenta una descripción de la metodología, la Sección 3 presenta el diseño del Sistema de Entrenamiento de Neurofeedback EEG, la Sección 4 muestra los resultados y análisis de los datos experimentales después de probar el Sistema de Entrenamiento de Neurofeedback de EEG, y la Sección 5 presenta las conclusiones del trabajo.

## II. METODOLOGÍA

El experimento se realizó en un ambiente controlado con nueve participantes sanos con edades entre los 20 y 35 años. Cinco participantes eran meditadores experimentados y cuatro participantes no meditadores. El experimento tiene tres etapas y los participantes fueron evaluados individualmente. En la primera etapa, se pidió a los participantes que completaran un formulario con el nombre, la edad, el sexo, la experiencia de meditación y su estado de ánimo actual basado en la herramienta pictórica Pieter Desmet Pick-A-Mood para medir el estado de ánimo [33]. La variabilidad cardiovascular y la presión arterial se midieron con el esfigmomanómetro electrónico de Beurer. En la segunda etapa, se pidió a los participantes que se sentaran en una posición cómoda, a unos 80 cm del sistema de entrenamiento EEG-Neurofeedback y que tuvieran 4 sesiones de meditación individuales de 10 minutos cada una. En la tercera etapa, se midió el estado de ánimo actual de los participantes, la variabilidad cardiovascular y la presión arterial para comparar datos antes y después de las sesiones de meditación.

Para la segunda etapa se pidió a los participantes que realizaran una sesión de meditación conocida como Trataka, que es una técnica básica para quienes comienzan a meditar y consiste en mantener los ojos abiertos enfocando la mirada en un objeto externo. Se pidió a los participantes que enfocaran la mirada en el EEG-NFTS para recibir la retroalimentación de los estímulos en función de su desempeño en la meditación midiendo los niveles de atención y relajación con la diadema EEG Neurosky.

La primera sesión de meditación fue sin recibir ninguna retroalimentación y el EEG-NFTS estaba apagado. En la segunda sesión de meditación, el EEG-NFTS estaba dando retroalimentación visual al participante. En la tercera sesión de meditación, el EEG-NFTS estaba dando una retroalimentación auditiva al participante. En la última sesión de meditación, el EEG-NFTS estaba dando una retroalimentación olfativa con aroma a bergamota al participante. Esto significa que durante la prueba cada participante tuvo un total de 40 minutos de meditación. Durante los primeros 10 minutos de meditación, el EEG-NFTS se apagó para que los participantes no recibieran ningún comentario sobre los estímulos. Durante los últimos 30 minutos,



los participantes interactuaron con el EEG-NFTS recibiendo un tipo de retroalimentación de estímulos cada 10 minutos.

Durante cada sesión de meditación, se recopilaron los niveles de atención y relajación de cada participante utilizando la diadema EEG Mindwave de Neurosky, que tiene un Bluetooth que se conecta para transmitir el paquete de datos que contiene ondas cerebrales sin procesar de 12 bits (alfa, beta, theta, gamma, delta) con una frecuencia de muestreo de 512 Hz y un medidor de datos integrado para la atención y la relajación. Los niveles de atención y relajación se dan directamente desde el auricular EEG en una escala de 0 a 100 y se pueden obtener leyendo los bytes 31-34 de la trama de datos. La trama del paquete de datos se describe en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Trama de datos Bluetooth de la diadema EEG Neurosky

Byte	Descripción
0-1	Cabecera
2	Tamaño del paquete de datos
3	Calidad de la señal
4	Baja calidad de señal no detectada
5	Tipo de paquete
6	Valor del tamaño
7-30	Delta, theta, alfa, beta, gamma bytes
31-32	Niveles de atención entre 0 - 100
33-34	Niveles de meditación (relajación) entre 0 - 100
35	Checksum

### **A. Diseño del sistema**

Se diseñó e implementó un Sistema de Entrenamiento de Neurofeedback EEG (EEG-NFTS) para medir la actividad cerebral de los participantes que utilizan la diadema EEG de Neurosky para obtener niveles de atención y relajación durante las sesiones de meditación. Los niveles de atención y relajación se enviaron a una App para registrar la información y evaluar la incidencia de cada estímulo en el desempeño de los participantes durante una sesión de meditación. La figura 1 muestra un diagrama de bloques del EEG-NFTS.

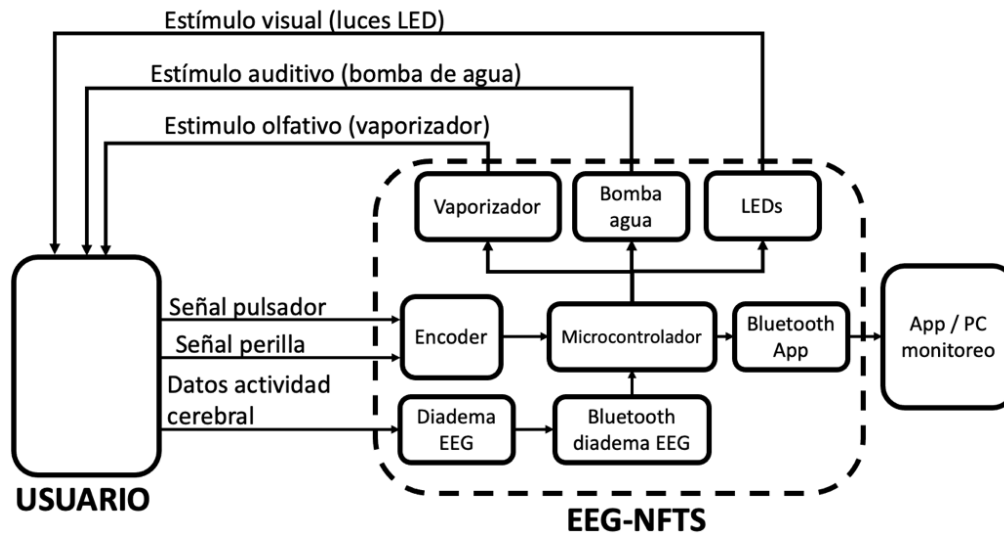


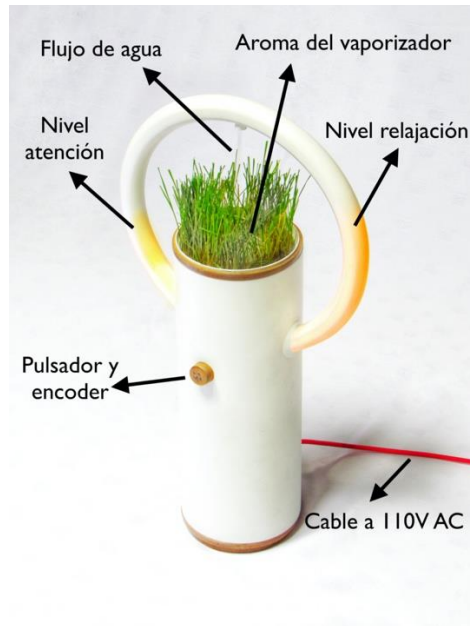
Fig. 1. Diagrama de bloques del EEG-NFTS.

El sistema contiene un microcontrolador ATmega2560 que se utilizó para recibir y procesar los datos de la actividad cerebral de los auriculares EEG para controlar los actuadores y brindar retroalimentación en tiempo real basada en estímulos visuales, sonoros y olfativos. Los actuadores del sistema son 60 LED RGB Neopixel direccionables, una bomba de agua de 12V y un vaporizador de 12V AC. Los 60 LED se distribuyeron para conformar un anillo de 35 cm de diámetro. Cada mitad del anillo está compuesta por 30 LEDs que se encienden y apagan para indicar los niveles de atención (mitad izquierda del anillo) y relajación (mitad derecha del anillo) a través de un estímulo visual. Cuando la bomba de agua está habilitada, el agua de un tanque fluye a través de una manguera que está conectada dentro del anillo a la parte superior para que el agua vuelva al tanque generando sonido al caer. El flujo de agua se controla automáticamente mediante señales PWM y es proporcional a los niveles de atención y relajación. Cuando el vaporizador está habilitado, el olor comienza a fluir si los niveles de atención y relajación están por encima de 50 en una escala de 0 a 100. Todos los componentes electrónicos se conectaron en una placa de circuito principal que fue diseñada e instalada dentro del prototipo. La Figura 2 muestra algunas imágenes del proceso de diseño e implementación para construir la versión final del sistema EEG-NFTS.



**Fig. 2.** Proceso de diseño e implementación del EEG-NFTS.

La Figura 3 muestra la interfaz EEG-NFTS que se compone de un encoder, un indicador de anillo de luz visual, una salida de flujo de agua y una salida de olor. El encoder funciona como un botón para encender / apagar el sistema y una perilla para configurar el tiempo de duración de la sesión de meditación (durante la prueba, a los participantes no se les permitió configurar el tiempo de duración de la sesión de meditación ni elegir qué estímulos activar). El cilindro contiene la placa de circuito principal electrónico, un tanque de agua y una bomba de agua.



**Fig. 3.** Interfaz física del EEG-NFTS.

Para realizar la prueba, se configuró el sistema de manera que solo se habilitara un tipo de estímulo por sesión de meditación para evaluar la incidencia de cada tipo de estímulo en el desempeño del usuario durante el desarrollo de la actividad. La duración de cada sesión de meditación se estableció en 10 minutos.

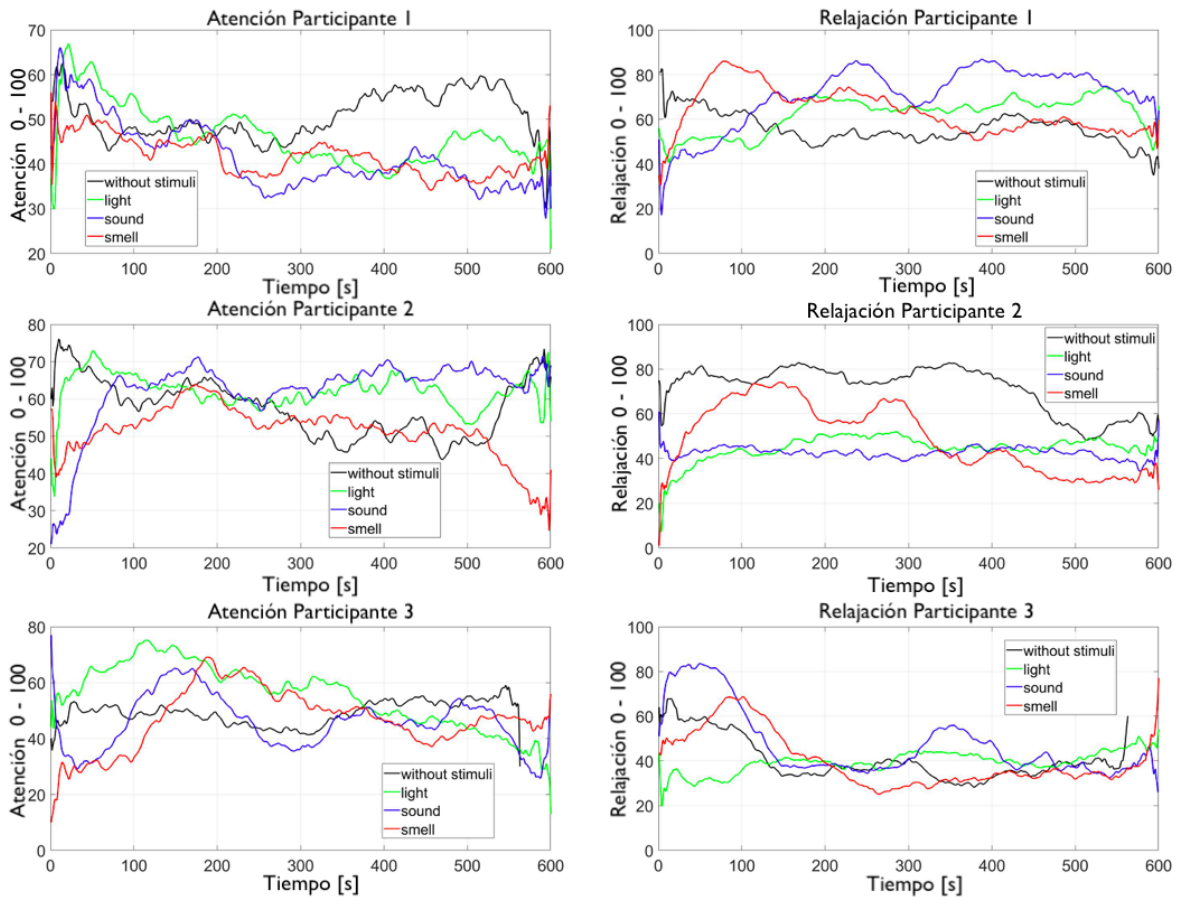
La Figura 4 muestra una foto del EEG-NFTS que proporciona al usuario retroalimentación de estimulación visual, sonora y olfativa para aumentar los niveles de atención y relajación durante la sesión de meditación. El lado izquierdo del anillo muestra un nivel de atención de 75 y el lado derecho del anillo muestra un nivel de relajación de 50.



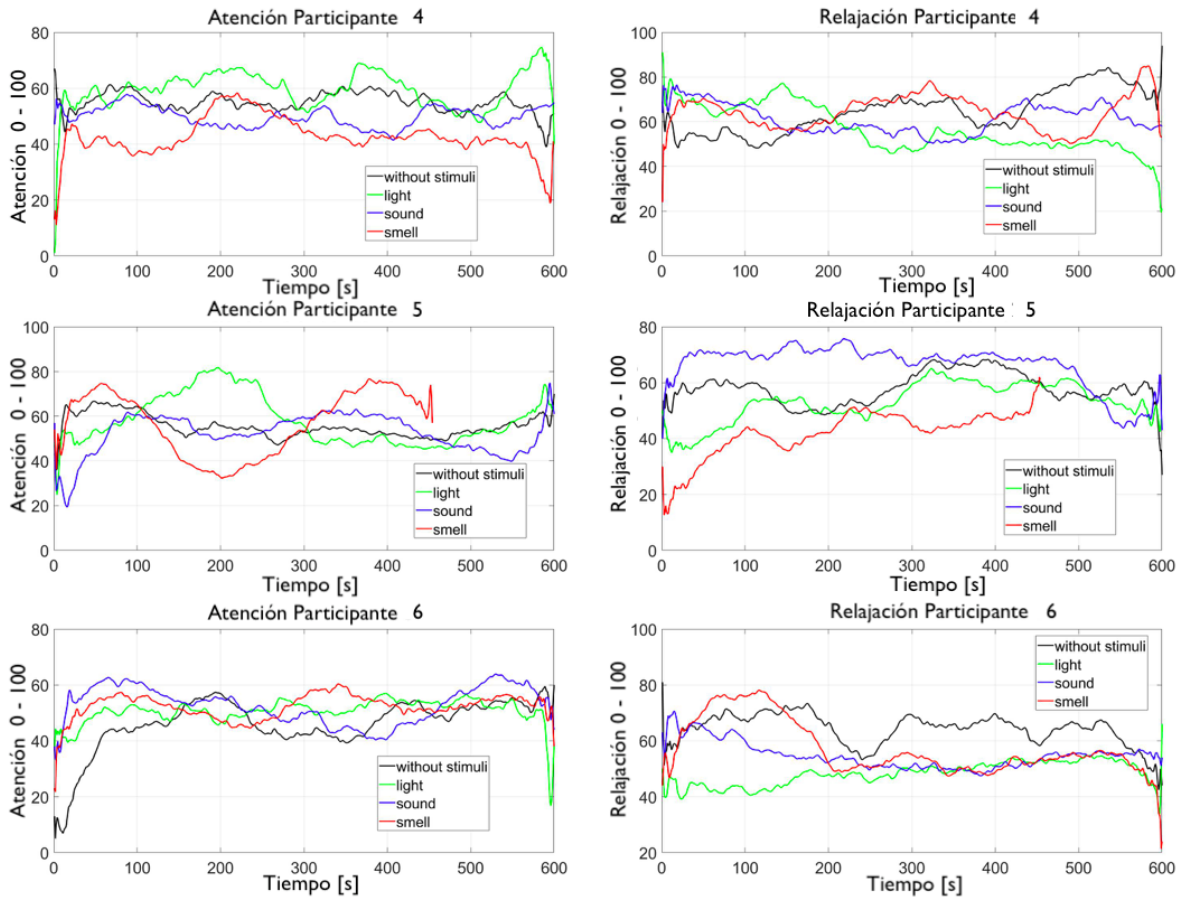
**Fig. 4.** Retroalimentación del EEG-NFTS durante una sesión de meditación.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

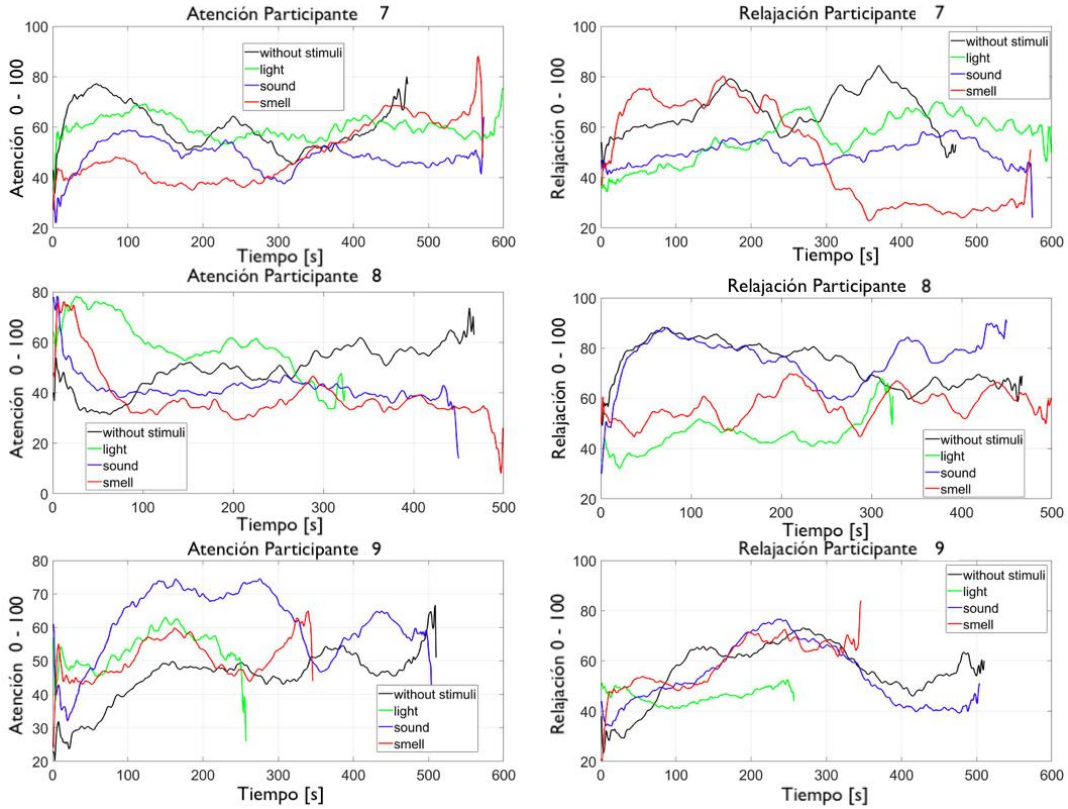
Se obtuvieron niveles de atención y relajación entre 0 y 100 de cada participante durante una sesión de meditación. Los datos se obtuvieron del auricular EEG y luego se aplicó un filtro para presentar los datos en una curva suavizada. Las figuras 5, 6 y 7, muestran los niveles de atención y relajación de los participantes mientras reciben retroalimentación en tiempo real durante las sesiones de meditación para cada tipo de estímulo. La curva negra muestra los niveles de atención sin recibir ningún estímulo. La curva verde muestra los niveles de atención con estímulos visuales (de luz). La curva azul muestra los niveles de atención con estímulos auditivos (agua). La curva roja muestra los niveles de atención con estímulos olfativos.



**Fig. 5.** Niveles de atención y relajación de los participantes #1, #2 and #3 durante las sesiones de meditación con diferentes estímulos.



**Fig. 6.** Niveles de atención y relajación de los participantes #4, #5 and #6 durante las sesiones de meditación con diferentes estímulos.



**Fig. 7.** Niveles de atención y relajación de los participantes #7, #8 and #9 durante las sesiones de meditación con diferentes estímulos.

La Tabla 2 y la Tabla 3 muestran los niveles promedio de atención y relajación respectivamente de cada participante durante la sesión de meditación. La Tabla 4 muestra los datos recopilados de cada participante al inicio y al final de cada sesión de meditación.

**Tabla 2.** Niveles de atención promedio de los participantes durante cada sesión de meditación

# participante y experiencia	Sin estímulo	Estímulo visual	Estímulo auditivo	Estímulo olfativo	Desviación estándar
1. practicante	<b>50.8</b>	46.6	41.7	41.6	4.42
2. practicante	57.6	62.4	<b>62.6</b>	51.6	5.18
3. practicante	49.5	<b>55.6</b>	45.3	46.9	4.53
4. no practicante	55.1	<b>59.9</b>	50.1	43.2	7.14
5. practicante	55.5	<b>58</b>	52.3	57.4	2.57
6. practicante	46.3	50.9	<b>53.2</b>	52.5	3.1
7. no practicante	<b>60.4</b>	59.8	48.5	49.4	7.48
8. no practicante	49.3	<b>58.9</b>	41.5	38.3	9.18
9. no practicante	45	53.7	<b>61.2</b>	50.9	6.73

**Tabla 3.** Niveles de relajación promedio de los participantes durante cada sesión de meditación

# participante y experiencia	Sin estímulo	Estímulo visual	Estímulo auditivo	Estímulo olfativo	Desviación estándar
1. practicante	55	62.5	<b>71</b>	63.9	6.56
2. practicante	<b>71.8</b>	44.9	42.5	49.5	13.4
3. practicante	40.3	39.5	<b>47.7</b>	39.9	3.91
4. no practicante	64.6	56.8	61.4	<b>64.7</b>	3.71
5. practicante	58.2	52.9	<b>66.4</b>	42	10.22
6. practicante	<b>64.4</b>	48.3	54.8	57.6	6.7
7. no practicante	<b>66.8</b>	56	49.8	49.1	8.19
8. no practicante	74.5	45.2	<b>76.2</b>	57	14.82
9. no practicante	56.4	46.1	54	<b>59.5</b>	5.73

**Tabla 4.** Datos recolectados al inicio y al final de cada sesión de meditación de cada participante

# participante y experiencia	Estado de ánimo al inicio	Estado de ánimo al final	Presión arterial al inicio	Presión arterial al final
1. practicante	Emocionado-animado	Alegre - Feliz	99/66 – 86ppm	95/58 – 70ppm
2. practicante	Alegre - Feliz	Relajado - Despreocupado	110/74 – 80ppm	113/74 – 75ppm
3. practicante	Emocionado - animado	Relajado - Despreocupado	121/85 – 88ppm	125/100 – 74ppm
4. no practicante	Emocionado - animado	Relajado - Despreocupado	124/56 – 78ppm	120/70 – 66ppm
5. practicante	Alegre - Feliz	Emocionado - animado	105/70 – 90ppm	110/74 – 80ppm
6. practicante	Irritado- Molesto	Calmando - Sereno	120/76 – 103ppm	133/78 – 81ppm
7. no practicante	Alegre - Feliz	Emocionado - animado	124/81- 78ppm	129/106 – 74ppm
8. no practicante	Irritado - Molesto	Alegre - Feliz	132/76 – 87ppm	125/82 – 85ppm
9. no practicante	Emocionado - animado	Alegre - Feliz	125/80 – 85ppm	124/75 – 80ppm

Estos resultados muestran que la retroalimentación de los estímulos visuales fue capaz de aumentar los niveles de atención promedio del 78% de los participantes en un 11.8% en comparación con una sesión de meditación sin ninguna retroalimentación. La retroalimentación de los estímulos auditivos pudo aumentar los niveles de relajación del 44,4% de los participantes en un 16% en comparación con una sesión sin ninguna retroalimentación. La retroalimentación de estímulos visuales tiene un impacto positivo en los niveles de atención, pero reduce los niveles de relajación del 88,9% de los usuarios en un 19,9%. La retroalimentación de los estímulos olfativos solo pudo aumentar los niveles promedio de atención y relajación del 33,3% del participante en un 9,9% y un 7,3%, respectivamente. La



retroalimentación de los estímulos olfativos redujo los niveles promedio de atención y relajación del 66,6% de los participantes en un 16% y un 20% respectivamente. Los participantes que son profesionales obtuvieron niveles más bajos de desviación estándar para la atención en comparación con los participantes que no lo son. Esto significa que los no practicantes son más sensibles a las variaciones de sus niveles de atención durante una sesión de meditación mientras reciben retroalimentación de diferentes estímulos. Los niveles de desviación estándar para la relajación fueron similares tanto para los profesionales como para los no profesionales. Esto significa que todos los participantes son más sensibles a las variaciones de sus niveles de relajación durante una sesión de meditación mientras reciben retroalimentación de diferentes estímulos.

Siguiendo el estado de ánimo al aplicar la herramienta pictórica Pieter Desmet Pick-A-Mood, se puede deducir que al comienzo de la prueba la mayoría de los participantes se sintieron emocionados, animados. Al final de la prueba, la mayoría de los participantes se sintieron alegres, felices y relajados, sin preocupaciones. Esto concuerda con las mediciones biométricas tomadas al principio y al final de la prueba en la que la mayoría de los participantes muestran una disminución tanto en la variabilidad del pulso como en la presión arterial, este comportamiento está directamente relacionado con la baja ansiedad y el alto bienestar. Estos resultados muestran que la retroalimentación de diferentes estímulos puede mejorar el rendimiento de la meditación de los practicantes al aumentar los niveles de atención y relajación que conducen a un estado consciente deseado.

#### **IV. CONCLUSIONES**

Se propuso un sistema de entrenamiento EEG Neurofeedback (EEG-NFTS) para aumentar los niveles de atención y relajación durante una práctica de meditación al brindar retroalimentación en tiempo real al usuario a través de estímulos visuales, sonoros y olfativos. El sistema fue validado con nueve participantes mediante el uso de un auricular Neurosky EEG para medir los niveles de atención y relajación durante la práctica de meditación para evaluar la incidencia de cada estímulo en el desempeño de la actividad. La retroalimentación de estímulos visuales fue capaz

de aumentar los niveles de atención promedio del 78% de los participantes en un 11,8% en comparación con una sesión sin ninguna retroalimentación. La retroalimentación de los estímulos sonoros pudo aumentar los niveles de relajación promedio para el 44,4% de los participantes en un 16% en comparación con una sesión sin ninguna retroalimentación. La retroalimentación de estímulos visuales tiene un impacto positivo en los niveles de atención, pero reduce los niveles de relajación del 88,9% de los usuarios en un 19,9%.

El sistema tiene un mayor impacto en los niveles de atención promedio de los meditadores sin experiencia durante una sesión de meditación, por lo que puede ser útil durante el proceso de aprendizaje de la meditación.

Los estímulos olfativos tienden a reducir los niveles medios de atención y relajación de los participantes. Sin embargo, la retroalimentación del olor no fue clara para los participantes porque incluso si el vaporizador se enciende y apaga, el aroma seguirá en el aire.

Se requiere más investigación con un mayor número de participantes para validar los efectos de la retroalimentación en tiempo real basada en la interfaz de estímulos propuesta. El sistema fue diseñado para que pueda usarse para dar retroalimentación en tiempo real a los participantes durante una sesión de meditación usando uno o más estímulos al mismo tiempo. Es importante analizar cómo los participantes responden a la retroalimentación de múltiples estímulos al mismo tiempo porque al combinar diferentes estímulos podría ser posible aumentar los niveles de atención y relajación simultáneamente.

#### **CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES**

**Andrés-Eduardo Nieto-Vallejo:** Recolección de datos, Análisis formal, Metodología, Software, Validación, Escritura-borrador original, Escritura- revisión edición.

**Omar-Fernando Ramírez-Pérez:** Análisis formal, Escritura-borrador original, Escritura- revisión edición.

**Luis-Eduardo Ballesteros-Arroyave:** Conceptualización, Metodología, Recolección de datos, Escritura-borrador original.

**Angela Aragón:** Conceptualización, Metodología, Recolección de datos Escritura-borrador original.

## REFERENCIAS

- [1] A. Lutz, H. A. Slagter, J. D. Dunne, R. J. Davidson, "Attention regulation and monitoring in meditation," *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 12, no. 4, pp. 163-169, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.01.005>
- [2] A. P. Jha, J. Krompinger, M. J. Baime, "Mindfulness training modifies subsystems of attention," *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, vol. 7, pp. 109-119, 2007. <https://doi.org/10.3758/CABN.7.2.109>
- [3] A. Fingelkurts, A. Fingelkurts, T. Kallio-Tamminen, "EEG-guided meditation: A personalized approach," *Journal of Physiology-Paris*, vol. 109, no. 4-6, pp. 180-190, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2015.03.001>
- [4] T. D. Wager, J. K. Rilling, E. E. Smith, A. Sokolik, K. L. Casey, R. J. Davidson, J. D. Cohen, "Placebo-induced changes in fMRI in the anticipation and experience of pain," *Science*, vol. 303, no. 5661, pp. 1162-1167, 2004. <https://doi.org/10.1126/science.1093065>
- [5] R. J. Davidson, J. Kabat-Zinn, J. Schumacher, M. Rosenkranz, D. Muller, S. F. Santorelli, J. F. Sheridan, "Alterations in brain and immune function produced by mindfulness meditation," *Psychosomatic medicine*, vol. 65, no. 4, pp. 564-570, 2003. <https://doi.org/10.1097/01.psy.0000077505.67574.e3>
- [6] G. N. Levine, R. A. Lange, C. N. Bairey-Merz, R. J. Davidson, K. Jamerson, P. K. Mehta, T. Shah, "Meditation and cardiovascular risk reduction: a scientific statement from the American Heart Association," *Journal of the American Heart Association*, vol. 6, no. 10, e002218, 2017. <https://doi.org/10.1161/JAHA.117.002218>
- [7] R. J. Davidson, A. Lutz, "Buddha's brain: Neuroplasticity and meditation," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 25, no. 1, pp. 176-174, 2008. <https://doi.org/10.1109/msp.2008.4431873>
- [8] B. Ülker, M. B. Tabakcioğlu, H. Çizmeçi, D. Ayberkin, "Relations of attention and meditation level with learning in engineering education," in *9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence*, 2017, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/ECIAI.2017.8166407>
- [9] R. van Lutterveld, S. D. Houlihan, P. Pal, M. D. Sacchet, C. McFarlane-Blake, P. R. Patel, J. S. Sullivan, A. Ossadtchi, S. Druker, C. Bauer, J. A. Brewer, "Source-space EEG neurofeedback links subjective experience with brain activity during effortless awareness meditation," *NeuroImage*, vol. 151, pp. 117-127, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.02.047>
- [10] H. Hunkin, D. L. King, I. Zajac, "EEG Neurofeedback During Focused Attention Meditation: Effects on State Mindfulness and Meditation Experiences," *Mindfulness*, vol. 12, pp. 841-851, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12671-020-01541-0>
- [11] M. Navarro Gil, C. Escolano Marco, J. Montero-Marín, J. Minguez Zafra, E. Shonin, J. García Campayo, "Efficacy of Neurofeedback on the Increase of Mindfulness-Related Capacities in Healthy Individuals: a Controlled Trial," *Mindfulness*, vol. 9, pp. 303-311, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12671-017-0775-1>
- [12] P. Supoo, P. Sittiprapaporn, "Brainwave Activity and Cognitive Performance Investigated by Meditation Yoga," in *16th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, 2019, pp. 482-485. <https://doi.org/10.1109/ECTI-CON47248.2019.8955411>

- [13] P. Stapleton, J. Dispenza, S. McGill, D. Sabot, M. Peach, D. Raynor, "Large effects of brief meditation intervention on EEG spectra in meditation novices," *IBRO Reports*, vol. 9, pp. 290-301, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ibror.2020.10.006>
- [14] J. H. Gruzelier, "EEG-neurofeedback for optimising performance. I: A review of cognitive and affective outcome in healthy participants," *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 44, pp. 124-141, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.09.015>
- [15] M. Alimardani, L. Kemmeren, K. Okumura, K. Hiraki, "Robot-Assisted Mindfulness Practice: Analysis of Neurophysiological Responses and Affective State Change," in *29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication*, 2020, pp. 683-689. <https://doi.org/10.1109/RO-MAN47096.2020.9223428>
- [16] D. Crivelli, G. Fronda, I. Venturella, M. Balconi, "Supporting Mindfulness Practices with Brain-Sensing Devices. Cognitive and Electrophysiological Evidences," *Mindfulness*, vol. 10, pp. 301-311, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12671-018-0975-3>
- [17] T. Yamsa-ard, Y. Wongsawat, "The relationship between EEG and binaural beat stimulation in meditation," in *7th Biomedical Engineering International Conference*, 2014, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/BMEiCON.2014.7017405>
- [18] A. Choo, A. May, "Virtual mindfulness meditation: Virtual reality and electroencephalography for health gamification," in *IEEE Games Media Entertainment*, 2014, pp. 1-3. <https://doi.org/10.1109/GEM.2014.7048076>
- [19] C. Chen, Y. Tang, N. Zhang, J. Shin, "Neurofeedback based attention training for children with ADHD," in *IEEE 8th International Conference on Awareness Science and Technology*, 2017, pp. 93-97. <https://doi.org/10.1109/ICAwST.2017.8256530>
- [20] T. Wei, C. Young, "A mobile approach for neurofeedback cognitive enhancement," in *IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications Proceedings*, 2015, pp. 191-195. <https://doi.org/10.1109/MeMeA.2015.7145197>
- [21] Y. Liu, O. Sourina, X. Hou, "Neurofeedback Games to Improve Cognitive Abilities," in *International Conference on Cyberworlds, Santander*, 2014, pp. 161-168. <https://doi.org/10.1109/CW.2014.30>
- [22] W. L. Lim, O. Sourina, L. Wang, "MIND - An EEG Neurofeedback Multitasking Game," in *International Conference on Cyberworlds*, 2015, pp. 169-172. <https://doi.org/10.1109/CW.2015.39>
- [23] E. E. Schaefer, "Using Neurofeedback and Mindfulness Pedagogies to Teach Open Listening," *Computers and Composition*, vol. 50, pp. 78-104, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compcom.2018.07.002>
- [24] W. Jinn-Rong, H. Shulan, "Neurofeedback training improves attention and working memory performance," *Clinical Neurophysiology*, vol. 124, no. 12, pp. 2406-2420, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.05.020>
- [25] G. Huang, J. Liu, L. Li, L. Zhang, Y. Zeng, L. Ren, S. Ye, Z. Zhang, "A novel training-free externally-regulated neurofeedback (ER-NF) system using phase-guided visual stimulation for alpha modulation," *NeuroImage*, vol. 189, pp. 688-699, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.01.072>
- [26] C. Jeunet, B. Glize, A. McGonigal, J.-M. Batail, J.-A. Micoulaud-Franchi, "Using EEG-based brain computer interface and neurofeedback targeting sensorimotor rhythms to improve motor skills: Theoretical background, applications and prospects," *Neurophysiologie Clinique*, vol. 49, no. 2, pp. 125-136, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2018.10.068>

- [27] G. A. Mendes, L. Cunha de Miranda, "The influence of graphical elements on user's attention and control on a neurofeedback-based game," *Entertainment Computing*, vol. 29, pp. 10-19, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2018.10.003>
- [28] N. M. C. da Costa, E. G. Bicho, N. S. Dias, "Priming with mindfulness affects our capacity to self-regulate brain activity?," in *IEEE 8th International Conference on Serious Games and Applications for Health*, 2020, pp. 1-8, <https://doi.org/10.1109/SeGAH49190.2020.9201841>
- [29] G. Polich, S. Gray, D. Tran, L. Morales-Quezada, M. Glenn "Comparing focused attention meditation to meditation with mobile neurofeedback for persistent symptoms after mild-moderate traumatic brain injury: a pilot study," *Brain Injury*, vol. 34, pp. 1408-1415, 2020. <https://doi.org/10.1080/02699052.2020.1802781>
- [30] O. Alkoby, A. Abu-Rmileh, O. Shriki, D. Todder, "Can We Predict Who Will Respond to Neurofeedback? A Review of the Inefficacy Problem and Existing Predictors for Successful EEG Neurofeedback Learning," *Neuroscience*, vol. 378, pp. 155-164, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.12.050>
- [31] S. Cook, R. M. Baecker, C. Munteanu, A. Walker, "Towards Technologically Assisted Mindfulness Meditation Practice in Older Adults: An Analysis of Difficulties Faced and Design Suggestions for Neurofeedback," *Lecture Notes in Computer Science*, vol 10285, pp. 423-442, 2017. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-58625-0\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58625-0_31)
- [32] T. Brandmeyer, A. Delorme, "Closed-Loop Frontal Midline $\theta$  Neurofeedback: A Novel Approach for Training Focused-Attention Meditation." *Frontiers in Human Neuroscience*, vol 14, pp. 246, 2020. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2020.00246>
- [33] P. Desmet, M. Vastenburger, N. Romero, "Pick-A-Mood; development and application of a pictorial mood-reporting instrument," in *8th International Conference on Design and Emotion: Out of Control - Proceedings*, 2012.