

ANÁLISIS DE HABILIDADES DE COGNICIÓN SOCIAL PARA EVALUAR EL IMPACTO DE INTERVENCIONES PSICOLÓGICAS MEDIANTE PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES EEG”

Roa Rico, David Octavio; Trigueros Triana, Lina Gelzi; Mora Navarro, Alexia Leonela; Castillo Álvarez, Yehownathan; Zamora Rochín, Leonela; Galindo Aldana, Gilberto Manuel; Torres González, Cynthia; Montoya Rivera, Luis Arturo; Inzunza González Everardo; Jiménez Beristáin, Laura; Esqueda Elizondo, José Jaime

Universidad Autónoma de Baja California
Avenida Álvaro Obregón Sin número. Colonia Nueva, Mexicali, Baja California, México
road@uabc.edu.mx, lina.trigueros@uabc.edu.mx, navarro1299134@uabc.edu.mx,
yehownathan.castillo@uabc.edu.mx, leonela.zamora@uabc.edu.mx, gilberto.galindo.aldana@uabc.edu.mx,
cynthia.torres.gonzalez@uabc.edu.mx, arturo.montoya@uabc.edu.mx, einzunza@uabc.edu.mx,
ljinenezb@uabc.edu.mx, jjesqueda@uabc.edu.mx

Luengas Bernal, Karen Valentina
Fundación Universitaria Juan N. Corpas
Carrera 111 #159A-61, Bogotá, Colombia
karen-luengas@juanncorpas.edu.co

Oliveros Martínez, Esteban Julián
Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 41
Carr. Transpeninsular km 115, Ex-Ejido Chapultepec, 22875 Ensenada, Baja California
esteban.oliveros@cbtis041.edu.mx

RESUMEN

Se presentan resultados parciales de un proyecto de investigación sobre el impacto de intervenciones psicológicas en alumnos universitarios con síntomas internalizantes (estrés y ansiedad). Alumnos universitarios de la UABC fueron previamente evaluados por un equipo de psicología para posteriormente participar en diez sesiones de intervenciones psicológicas semanales, impartidas por alumnos de psicología. Se toma registro electroencefalográfico de cinco minutos en reposo con los ojos cerrados a cada participante con la interfaz Cerebro-Computadora EPOC X antes de la primera intervención y al final. Asimismo, se les aplica el Reading the Mind in the Eyes Test (RMET, Test de la Mirada) antes de la primera intervención y al final de la última. Se realiza un comparativo de las potencias de las bandas Alfa, Beta Baja y Beta Alta previas y postintervenciones, así como con los resultados del RMET.

Palabras Clave: EEG, Cognición Social, Intervención Clínica, Test de la Mirada, Síntomas Internalizantes.

ABSTRACT

Partial results of a research project on the impact of psychological interventions on university students with internalizing symptoms (stress and anxiety) are presented. University students from the UABC were previously evaluated by a psychology team to later participate in ten weekly psychological intervention sessions, taught by psychology students. A five-minute electroencephalographic recording is taken at rest with closed eyes from each participant with the EPOC X Brain-Computer interface before the first intervention and at the end. Likewise, the Reading the Mind in the

Eyes Test (RMET) is applied before the first intervention and at the end of the last one. A comparison of the powers of the Alpha, Low Beta, and High Beta bands is made before and after interventions, as well as in relation to the results of the RMET.

Keywords: EEG, Social Cognition, Clinical Intervention, Gaze Test, Internalizing Symptoms.

1. INTRODUCCIÓN

La cognición social (CS) hace referencia a un grupo de habilidades mentales complejas que subyacen a la percepción, el procesamiento, la interpretación y la respuesta a los estímulos sociales; juntas, estas habilidades promueven un desarrollo social adecuado para el individuo [1]. La CS ha sido medida por distintos paradigmas experimentales, entre ellos el Observable Social Cognition Rating Scale (OSCARS) y el Reading the Mind in the Eyes Test (RMET) y con herramientas como el Test de la Mirada [2], [3]. La pertinencia de la evaluación de la CS radica en su relación con los síntomas internalizantes (SI), como la ansiedad, el estrés y la depresión, investigaciones han señalado que tener habilidades de CS superiores disminuye la presencia de SI [4]. El tratamiento con mayor evidencia científica en su efectividad para disminuir los SI consiste en la Terapia Cognitivo-Conductual (TCC) y sus intervenciones basadas en Psicoeducación (IBPsE) que, además de efectivas, son fáciles de implementar [5], [6]. En los últimos años, las intervenciones basadas en Mindfulness (IBMF) han surgido como alternativa al

tratamiento de los SI. Las IBMF tienen dos premisas principales, la focalización de la atención y la ausencia de juicios sobre las propias experiencias; este método ha logrado demostrar una relación significativa entre el uso del IBMF y la reducción de SI, el bienestar psicológico y el desempeño conductual [7]. Sin embargo, pocas investigaciones han logrado caracterizar las bases neuronales de estos efectos [8]. El procesamiento digital de señales de electroencefalograma (EEG) podría aportar para caracterizar las mencionadas bases.

Diversos estudios han explorado la relación entre cognición social e indicadores neurofisiológicos obtenidos mediante EEG. En [9] se encontró que métricas de grafos en EEG en reposo se asocian con el desempeño en el Reading the Mind in the Eyes Test (RMET), reforzando su valor como medida sensible de cognición social. Asimismo, en [10] se muestra que una intervención de mindfulness en adultos mayores produce mejoras cognitivas y cambios en ritmos alfa, evidenciando la sensibilidad del EEG a intervenciones psicológicas. En línea con los procesos grupales, en [11] reportaron mayor sincronía alfa entre miembros de un mismo grupo deportivo frente a rivales, destacando cómo la identidad social se refleja en la actividad cerebral.

En [12] introdujeron el paradigma Social EEG, que permite registrar sincronía neural en interacciones naturalistas entre padres e hijos; [13] revisaron cómo técnicas como hyperscanning y EEG móvil permiten estudiar interacciones sociales reales con validez ecológica; y en [14] demostraron que intervenciones tempranas en niños con autismo pueden normalizar patrones EEG ante rostros. Asimismo, revisiones recientes subrayan la necesidad de integrar biomarcadores en intervenciones clínicas [15] y proponen tanto técnicas avanzadas de aprendizaje profundo para el reconocimiento de emociones [16] como lineamientos robustos de procesamiento de EEG [17]. En conjunto, estas investigaciones muestran que el EEG ofrece un marco sólido para estudiar la cognición social, combinando medidas conductuales como el RMET con biomarcadores neuronales y apoyando el diseño de intervenciones innovadoras.

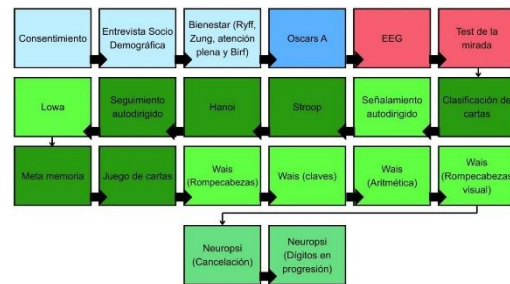
2. JUSTIFICACIÓN

Para el presente estudio, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Existe diferencia significativa en los efectos neurofisiológicos medidos a través del análisis de señales electroencefalográficas (EEG) y de habilidades de cognición social entre participantes adultos jóvenes que reciben una intervención basada en Mindfulness (IBMF), en comparación con sus pares que reciben una intervención basada en Psicoeducación (IBPsE)?

Para ello, se determinó como objetivo, comparar los efectos neurofisiológicos medidos a través del EEG y de habilidades de CS entre participantes adultos jóvenes que reciben una IBMF, en comparación con sus pares que reciben una IBPsE.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Esta investigación es parte del proyecto “ENSAYOS CONTROLADOS ALEATORIZADOS PARA MEDIR LOS EFECTOS NEUROFISIOLÓGICOS MEDIANTE SEÑALES EEG, TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y NEUROPSICOLÓGICAS DE UNA INTERVENCIÓN BASADA EN MINDFULNESS EN ADULTOS JÓVENES CON SÍNTOMAS DE ANSIEDAD Y DEPRESIÓN”, aprobado con registro 215/2/C/63/24 en la Convocatoria 24ª Interna de Proyectos de Investigación de la UABC. En este proyecto se evalúa el efecto de las IBMF y de IBPsE en alumnos con estrés y ansiedad a través de los cambios en las señales electroencefalográficas. Este protocolo fue sometido al Comité de ética de la UABC para su aprobación mediante el oficio POSG/024-2-01. Se lanzó una convocatoria a alumnos de los tres campus de la Universidad Autónoma de Baja California y se siguió el proceso mostrado en la Figura 1 para seleccionar a los alumnos participantes en esta investigación. Una vez que los alumnos son seleccionados para participar en la investigación, se les aplica el Test de la Mirada y se les toma un registro EEG de cinco minutos. Posteriormente, se realizaron diez sesiones de IBMF y IBPsE de una hora cada una, tal como se muestra en la Tabla 1. Al final de cada registro se tomó un registro EEG de cinco minutos en reposo, de cada individuo participante sentado con los ojos cerrados usando los headsets Epop X [18]. Al final de las diez semanas de intervención, se volvió a aplicar el Test de la Mirada a los participantes.



- Evaluación del contexto y consentimiento informado
- Escala de cognición social observable
- Evaluaciones preliminares y posteriores
- Subpruebas aplicadas de batería neuropsicológica BANFE-III
- Subpruebas aplicadas de la escala de inteligencia WAIS-VI
- Subpruebas aplicadas de la evaluación neuropsicológica Neuropsi

Figura 1. de intervención y batería de pruebas.

Tabla 1. Plan de intervención en Mindfulness (MF) y Psicoeducación (PE) en las diez sesiones.

Número de sesión	Tema abordado MF	Tema abordado PE
Sesión 1.	Introducción	Introducción.
Sesión 2.	Mindfulness	Importancia de la salud mental.
Sesión 3.	Respiración (inhalación).	Estrés.
Sesión 4.	Respiración (exhalación).	Ansiedad.
Sesión 5.	Atención a los sentidos.	Tristeza.
Sesión 6.	Atención interna.	Depresión.
Sesión 7.	Visualización	Duelo.
Sesión 8.	Atención y reconocimiento de pensamientos	Tipos de pensamiento.
Sesión 9.	Atención a las emociones y compasión por uno mismo.	Detección y detención de pensamientos.
Sesión 10.	Cierre	Cierre y repaso de las sesiones.

4. METODOLOGÍA

Se desarrolló un diseño de ensayo controlado aleatorizado según las directrices de la OMS y SPIRIT para descartar la hipótesis nula de que los tratamientos tuvieran efectos diferentes sobre las habilidades de EEG y cognición social entre los participantes de los distintos grupos de intervención [19]. Los participantes en el estudio recibieron una evaluación de cognición social y EEG previa al tratamiento, y fueron asignados aleatoriamente a programas IBMF o IBPSE, siguiendo una asignación de grupo única. El número total de participantes fue de 20, diez por cada tipo de intervención.

Aleatorización de los participantes a la intervención Ciego 2 Grupo 1: A Grupo 2: B Grupo. El ensayo clínico se registró en el Instituto Nacional de Salud (NIH), y está disponible bajo el código de registro NCT06618339.

4.1. Análisis y reducción de datos EEG

Previo al preprocesamiento en Matlab, se realizó un filtrado inicial de los registros crudos en formato CSV. Estos archivos contenían información no relevante para el análisis, como valores de acelerómetro, giroscopio y batería de la diadema, además de múltiples filas vacías generadas por el manejo de ventanas. Para depurar este contenido se empleó una macro en Excel que eliminó las columnas y filas innecesarias, conservando únicamente las potencias por banda. Asimismo, se estandarizó la nomenclatura de los archivos, ya que existían inconsistencias: algunos registros se guardaron con iniciales en orden nombre-apellido, otros en orden inverso, o incluso con nombres de pila. Finalmente, se unificó el criterio utilizando iniciales a partir del nombre seguido de los apellidos, añadiendo el identificador PRE

o POST para diferenciar las sesiones (por ejemplo, IVM_PRE e IVM_POST).

Con esta base de datos organizada se continuó con el procesamiento en Matlab. La limpieza de datos constituye una etapa esencial en el análisis, pues una base inconsistente o con errores puede conducir a conclusiones engañosas. Dado que los registros se encontraban en formato CSV, se utilizó la herramienta DataCleaningTool de Matlab R2024b para detectar valores extremos y descartar inconsistencias.

El preprocesamiento de las señales EEG se realizó en tres fases. En primer lugar, se aplicó un método automático de detección de valores atípicos, definidos como aquellos que excedían ± 3 desviaciones estándar en una ventana local; los mismos fueron reemplazados por un estimador central con el fin de preservar la coherencia de la señal. En segundo lugar, se aplicó un suavizado mediante media móvil con una ventana del 25 % de la longitud total de la señal, lo que permitió reducir el ruido de alta frecuencia conservando la morfología general. Finalmente, se efectuó una normalización tomando como referencia el máximo conjunto entre condiciones. Este procedimiento mejoró la estabilidad de los registros y facilitó la comparación entre sesiones.

Las señales, adquiridas a una frecuencia de muestreo de 128 Hz, se transformaron a potencias espectrales ($\mu V^2/Hz$) mediante transformada rápida de Fourier con ventanas de 256 muestras traslapadas. Posteriormente, se calcularon promedios de potencia en los electrodos AF3, AF4, F3, F4, F7 y F8 para las bandas Alfa (8–12 Hz), Beta baja (13–17 Hz), Beta alta (17–35 Hz) y Gamma (35–70 Hz). Estos promedios fueron analizados mediante un ANOVA de medidas repetidas, considerando como factor entre sujetos el tipo de tratamiento (IBMF o IBPSE), como factor intra-sujetos el momento de la valoración (pre y postintervención), y como variables dependientes las potencias promedio en los electrodos seleccionados.

4.2. Análisis de datos de cognición social

Las comparaciones de resultados del Test de la Mirada fueron analizadas mediante el cálculo del promedio de respuestas correctas de 36 estímulos administrados a cada participante; las medidas fueron tomadas antes y después de cada intervención en cada grupo IBMF e IBPSE. Las comparaciones se realizaron mediante ANOVA de medidas repetidas de dos niveles, utilizando como variable independiente el tipo de intervención.

5. RESULTADOS

Los resultados de ANOVA de medidas repetidas mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de intervención antes y después en los siguientes electrodos y bandas de potencia: AF3 Alfa ($F = 19.5, p = <.001$), AF3 beta baja ($F = 25.3, p = <.014$), F7 Alfa ($F = 12.3, p = .002$), F7 Beta

Baja ($F = 4.54, p = .044$), F7 Beta Alta ($F = 8.56, p = .007$), F3 Alfa ($F = 17.5, p < .001$), F3 Beta Baja ($F = 6.43, p = .018$), F4 Alfa ($F = 58.3, p < .001$), F4 Beta Baja ($F = 54.9, p < .001$), F4 Beta Alta ($F = 68.1, p < .001$), F4 Gamma ($F = 34.3, p < .001$), AF3 Alfa ($F = 15.55, p < .001$), AF4 Beta Baja ($F = 9.63, p = .005$).

Por su parte, las medidas del Test de la Mirada no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de intervención de acuerdo con las comparaciones de ANOVA realizadas.

Como resultados, se presentan los promedios de las potencias por banda (Alfa, Beta Baja y Beta Alta) de los electrodos frontales AF3, AF4, F3, F4, F7 y F8 de todos los participantes, tanto para IBMF e IBPsE. En la Figura 2 se muestra el comportamiento promedio de todos los electrodos en la banda Alfa para el caso de IBMF y se observa que los promedios en postintervención son menores que los de preintervención.

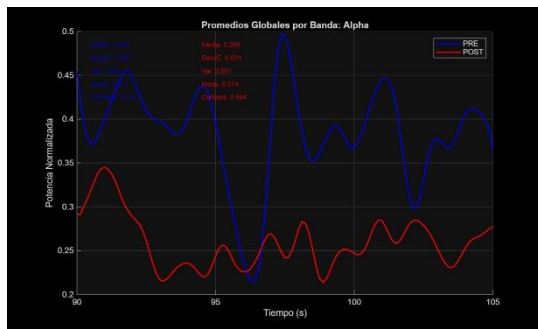


Figura 2. Promedios de potencia en la banda alfa para IBMF en una ventana de 15 segundos.

En la Figura 3 se muestra el comportamiento promedio de todos los electrodos en la banda Beta Baja para el caso de IBMF y se observa que, en la misma ventana de 15 segundos, nuevamente los promedios POST son menores a los promedios PRE.

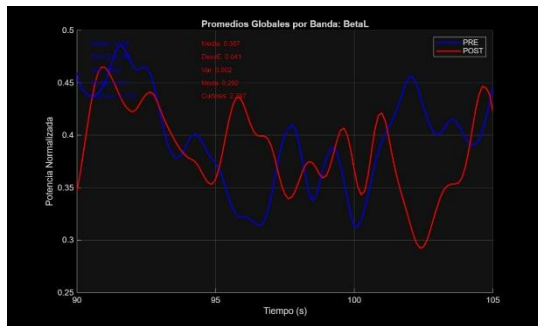


Figura 3. Promedios de potencia en la Banda Beta Baja para IBMF en una ventana de 15 segundos.

En la Figura 4 se muestra el comportamiento promedio de todos los electrodos en la banda Beta Alta para el caso de IBMF y se observa que, en la misma ventana de 15 segundos, nuevamente los promedios POST son menores a los obtenidos en la sesión PRE.

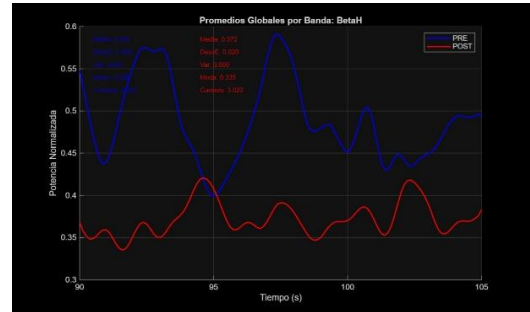


Figura 4. Promedios de potencia en la Banda Beta Baja para IBMF en una ventana de 15 segundos.

En la Figura 5 se presentan los momentos estadísticos de todos los canales y todos los participantes por banda PRE y Post para IBMF. Se observa que fueron menores para las sesiones POST, comparados con las PRE.

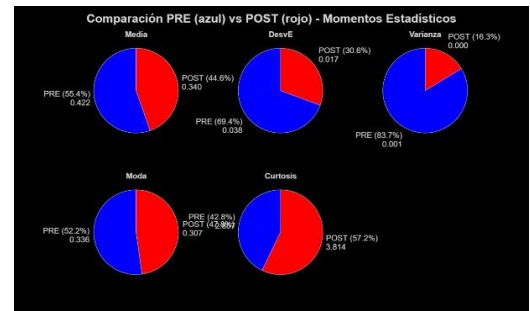


Figura 5. Comparativo de los momentos estadísticos para IBMF para sesiones PRE y POST.

En la Figura 6 se muestra el comportamiento promedio de todos los electrodos en la banda Alfa para el caso de IBPsE y se observa que los promedios en postintervención son menores que los de preintervención.

En la Figura 7 se muestra el comportamiento promedio de todos los electrodos en la banda Beta Baja para el caso de IBPsE y se observa que, en la misma ventana de 15 segundos, nuevamente los promedios POST son menores a los promedios PRE.

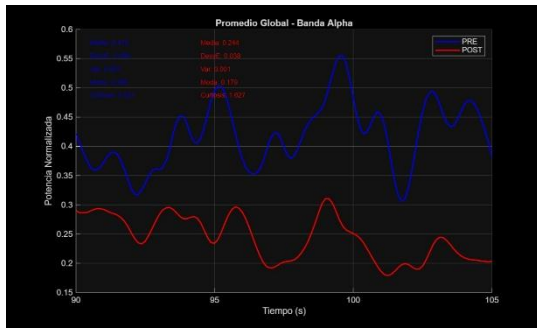


Figura 6. Promedios de potencia en la Banda Alfa para IBPsE en una ventana de 15 segundos.

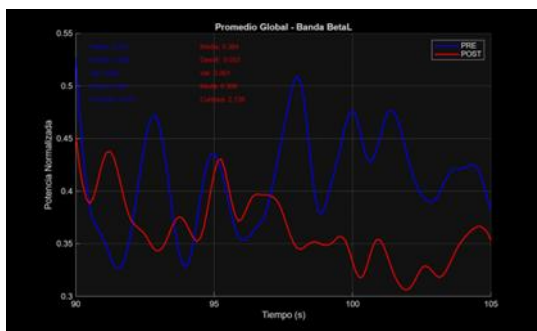


Figura 7. Promedios de potencias en la Banda Beta Baja para IBPsE en una ventana de 15 segundos.

En la Figura 8 se muestra el comportamiento promedio de todos los electrodos en la banda Beta Alta para el caso de IBPsE y se observa que, en la misma ventana de 15 segundos, nuevamente los promedios POST son menores a los obtenidos en la sesión PRE.

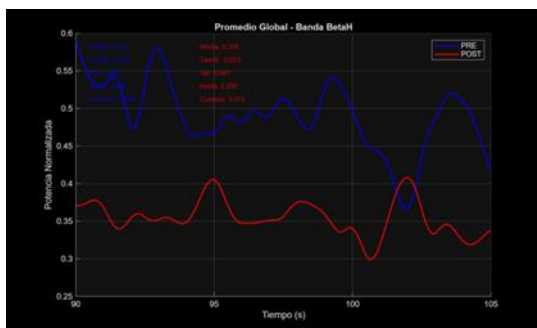


Figura 8. Promedios de potencias en la Banda Beta Baja para IBPsE en una ventana de 15 segundos.

En la Figura 9 se presentan los momentos estadísticos de todos los canales y todos los participantes por banda PRE y Post para IBPsE. Se observa que fueron menores para las sesiones POST, comparados con las PRE.

En cuanto a las respuestas del TEST DE LA MIRADA, en la figura 10 se tiene la comparación de aciertos PRE y POST.

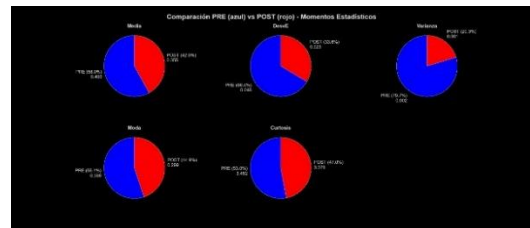


Figura 9. Comparativo de los momentos estadísticos para IBPsE para sesiones PRE y POST.

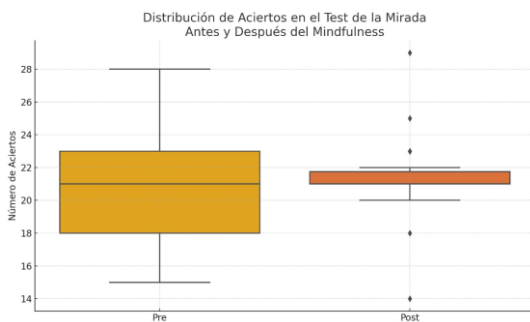


Figura 10. Resultados descriptivos para IBPsE para sesiones PRE y POST.

Los resultados descriptivos muestran que la media en la condición PRE fue de 20.88 aciertos y en la condición POST de 21.27 aciertos, con una diferencia promedio de +0.38 y una desviación estándar de 2.61. Al aplicar las pruebas de hipótesis, la t pareada arrojó un valor de $t = 0.75$ con $p = 0.46$, mientras que la prueba de Wilcoxon signed-rank resultó en $W = 56$ con $p = 0.53$; en ambos casos, los valores p fueron mayores a 0.05, lo que indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los puntajes PRE y POST a nivel grupal. El tamaño del efecto calculado mediante Cohen's d fue de 0.15, considerado muy pequeño. A pesar de ello, el análisis gráfico muestra una reducción clara en la dispersión de los puntajes: mientras que en la medición inicial existía una amplia variabilidad entre participantes, en la medición posterior los resultados se concentraron alrededor de 21–22 aciertos. Esto sugiere un efecto de homogeneización del desempeño más que una mejora grupal en el promedio.

6. CONCLUSIONES

Se concluye que no hubo diferencias significativas en el Test de la Mirada, por lo que no es posible concluir que la cognición social de los participantes haya cambiado de manera grupal tras la intervención. No obstante, el análisis gráfico evidenció una reducción en la variabilidad de los puntajes, lo que sugiere un efecto de homogeneización del desempeño. Por otra parte, en el

análisis de EEG se encontró que en promedio las potencias por banda disminuyeron en las sesiones POST, lo cual indica que las intervenciones fueron útiles para reducir los niveles de estrés y ansiedad que presentaban al inicio. En un trabajo futuro se pretende incorporar técnicas de Machine-Learning con el fin de identificar patrones complejos en las señales EEG y en los resultados conductuales, lo que permitiría predecir qué participantes responden mejor a las intervenciones y mejorar la personalización de los tratamientos.

7. REFERENCIAS

- [1] C. Beaudoin and M. H. Beauchamp, "Social cognition," *Handb Clin Neurol*, vol. 173, pp. 255–264, Jan. 2020, doi: 10.1016/B978-0-444-64150-2.00022-8.
- [2] M. Loubat, A. Astudillo-Zúñiga, M. Loubat, and A. Astudillo-Zúñiga, "Revisión sistemática (2010-2017) de los instrumentos de evaluación y programas de rehabilitación de la cognición social utilizados con personas con esquizofrenia," *Terapia psicológica*, vol. 37, no. 3, pp. 295–316, Dec. 2019, doi: 10.4067/S0718-48082019000300295.
- [3] F. Deng et al., "Assessing social cognition in patients with schizophrenia and healthy controls using the reading the mind in the eyes test (RMET): a systematic review and meta-regression," *Psychol Med*, vol. 54, no. 5, pp. 847–873, Apr. 2024, doi: 10.1017/S0033291723003501.
- [4] D. I. Tsomokos and E. Flouri, "The role of social cognition in mental health trajectories from childhood to adolescence," *Eur Child Adolesc Psychiatry*, vol. 33, no. 3, pp. 771–786, Mar. 2024, doi: 10.1007/S00787-023-02187-8/METRICS.
- [5] J. B. Klein, R. H. Jacobs, and M. A. Reinecke, "Cognitive-Behavioral Therapy for Adolescent Depression: A Meta-Analytic Investigation of Changes in Effect-Size Estimates," *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, vol. 46, no. 11, pp. 1403–1413, Nov. 2007, doi: 10.1097/CHI.0B013E3180592AAA.
- [6] M. F. D. S. Tursi, C. V. W. Baes, F. R. D. B. Camacho, S. M. D. C. Tofoli, and M. F. Juruena, "Effectiveness of psychoeducation for depression: A systematic review," *Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*, vol. 47, no. 11, pp. 1019–1031, Nov. 2013, doi: 10.1177/0004867413491154/FORMAT/EPUB.
- [7] M. T. Miró et al., "Eficacia de los tratamientos psicológicos basados en mindfulness para los trastornos de ansiedad y depresión: una revisión sistemática," *Revista de Psicopatología y Psicología Clínica*, vol. 16, no. 1, pp. 1–16, Apr. 2011, doi: 10.5944/RPPC.VOL.16.NUM.1.2011.10347.
- [8] Y.-Q. Gu and Y. Zhu, "Underlying mechanisms of mindfulness meditation: Genomics, circuits, and networks," <http://www.wjgnet.com/>, vol. 12, no. 9, pp. 1141–1149, Sep. 2022, doi: 10.5498/WJP.V12.I9.1141.
- [9] E. de Jonge et al., "Atypical Resting-State EEG Graph Metrics of Network Efficiency Across Development in Autism and Their Association with Social Cognition: Results from the LEAP Study," *J Autism Dev Disord*, vol. 9, pp. 1–17, Feb. 2025, doi: 10.1007/S10803-025-06731-0/FIGURES/3.
- [10] S. Galluzzi et al., "Cognitive, psychological, and physiological effects of a web-based mindfulness intervention in older adults during the COVID-19 pandemic: an open study," *BMC Geriatr*, vol. 24, no. 1, pp. 1–16, Dec. 2024, doi: 10.1186/S12877-024-04766-Z/FIGURES/4.
- [11] M. Sanada and Y. Naruse, "EEG synchronisation reveals the impact of group identity and membership duration on social cognitive bias," *Sci Rep*, vol. 15, no. 1, pp. 1–13, Dec. 2025, doi: 10.1038/S41598-025-08191-Z/SUBJMETA.
- [12] E. S. Norton et al., "Social EEG: A novel neurodevelopmental approach to studying brain-behavior links and brain-to-brain synchrony during naturalistic toddler–parent interactions," *Dev Psychobiol*, vol. 64, no. 3, Mar. 2022, doi: 10.1002/dev.22240.
- [13] Y. Grootjans et al., "Getting closer to social interactions using electroencephalography in developmental cognitive neuroscience," *Dev Cogn Neurosci*, vol. 67, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.dcn.2024.101391.
- [14] G. Dawson et al., "Early Behavioral Intervention Is Associated with Normalized Brain Activity in Young Children With Autism," *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, vol. 51, no. 11, pp. 1150–1159, 2012, doi: 10.1016/j.jaac.
- [15] Y. Yamada et al., "Social Cognition Deficits as a Target of Early Intervention for Psychoses: A Systematic Review," *Front Psychiatry*, vol. 10, no. MAY, 2019, doi: 10.3389/FPSYT.2019.00333.
- [16] E. Gkintoni, A. Aroutzidis, H. Antonopoulou, and C. Halkiopoulos, "From Neural Networks to Emotional Networks: A Systematic Review of EEG-Based Emotion Recognition in Cognitive Neuroscience and Real-World Applications," *Brain Sci*, vol. 15, no. 3, p. 220, Mar. 2025, doi: 10.3390/BRAINS15030220/S1.
- [17] A. Chaddad, Y. Wu, R. Kateb, and A. Bouridane, "Electroencephalography Signal Processing: A Comprehensive Review and Analysis of Methods and Techniques," Jul. 01, 2023, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/s23146434.
- [18] F. Caiado and A. Ukolov, "The history, current state and future possibilities of the non-invasive brain computer interfaces," *Med Nov Technol Devices*, vol. 25, p. 100353, Mar. 2025, doi: 10.1016/J.MEDNTD.2025.100353.
- [19] A. W. Chan et al., "SPIRIT 2013 statement: Defining standard protocol items for clinical trials," *Ann Intern Med*, vol. 158, no. 3, pp. 200–207, Feb. 2013, doi: 10.7326/0003-4819-158-3-201302050-00583/ASSET/IMAGES/10TT2.JPG.
- [20] Emotiv, "How are band powers calculated?" Accessed: Jul. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.emotiv.com/tools/knowledge-base/technical-research-information/how-are-band-powers-calculated>