


# CONESCAPANHONDURAS2025paper74.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

---

## Document Details

### Submission ID

trn:oid:::14348:477772420

### Submission Date

Jul 31, 2025, 11:19 PM CST

### Download Date

Aug 12, 2025, 2:46 PM CST

### File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper74.pdf

### File Size

1.9 MB

6 Pages




4,938 Words

27,119 Characters

# 22% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

## Top Sources

- 18%  Internet sources
- 17%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

## Integrity Flags




### 0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

## Top Sources

18%  Internet sources  
17%  Publications  
0%  Submitted works (Student Papers)

## Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Publication	Zhihao Wen, Damin Yang, Yan Yang, Jingyu Hu et al. "The path to biotechnologica...	2%
2	Internet	kth.diva-portal.org	1%
3	Internet	arxiv.org	1%
4	Internet	ouci.dntb.gov.ua	1%
5	Publication	Xiya Tao, Nicolás Sáenz-Lechón, Martina Eckert. "Mapping the landscape of Artific...	1%
6	Publication	Qianru Sun, Yueying Zhou, Peiliang Gong, Daoqiang Zhang. "Attention Detection ...	<1%
7	Publication	Brian Premchand, Kyaw Kyar Toe, Chuanchu Wang, Kai Rui Wan et al. "Comparin...	<1%
8	Internet	www.fabiopas.it	<1%
9	Publication	Kianoosh Hosseini, Jeremy W. Pettit, Fabian A. Soto, Aaron T. Mattfeld, George A. ...	<1%
10	Internet	export.arxiv.org	<1%
11	Publication	Hongguang Pan, Yibo Zhang, Li Li, Xuebin Qin. "A design and implementation of ...	<1%

12	Publication	M. Gandolla, C. Mariani, L. Pozzi, M. Mancini, G.M. Foglia, A. Pedrocchi. "Hand grip...	<1%
13	Internet	www.researchgate.net	<1%
14	Publication	Isaac Ariza, Lorenzo J. Tardón, Ana M. Barbancho, Isabel Barbancho. "EEG-Based L...	<1%
15	Publication	Rabita Hasan, Sheikh Md. Rabiul Islam. "A Comparative Analysis of Emotion Reco...	<1%
16	Internet	theses.gla.ac.uk	<1%
17	Internet	dspace.umh.es	<1%
18	Internet	pdfs.semanticscholar.org	<1%
19	Internet	sciety.org	<1%
20	Internet	v3r.esp.org	<1%
21	Internet	www.mdpi.com	<1%
22	Publication	Eng Lye Lim, Raja Kumar Murugesan, Sumathi Balakrishnan. "Detecting student ...	<1%
23	Publication	Srinivas Rao Gorre, Ravichander Janapati, Ch. Rajendra Prasad. "Improved P300-B...	<1%
24	Internet	hdl.handle.net	<1%
25	Internet	pesquisa.bvsalud.org	<1%

26	Publication	Piyali Datta, Mousumi Laha. "chapter 4 Harnessing Brainwaves", IGI Global, 2025	<1%
27	Publication	Babayigit, Ceren. "Optical Techniques for Tissue Engineering and Massive Neural ...	<1%
28	Internet	digibug.ugr.es	<1%
29	Publication	Ravichander Janapati, Vishwas Dalal, Rakesh Sengupta, Raja Shekar P. V.. "Chapte...	<1%
30	Internet	www.coursehero.com	<1%
31	Publication	Eugenio Rodríguez, Claudio Martínez, Marcela Díaz, Jorge Flores et al. "Neurodyn...	<1%
32	Internet	americaspg.com	<1%
33	Internet	uvadoc.uva.es	<1%
34	Internet	www.flintrehab.com	<1%
35	Internet	www.grafiati.com	<1%
36	Internet	www.jove.com	<1%
37	Publication	Forenzo, Dylan. "Advancing EEG-Based Brain-Computer Interfaces With Real-Time...	<1%
38	Publication	Harirchi, Peyman. "Multiscale Analysis of Carbon Dioxide Sequestration in Cemen...	<1%
39	Internet	journal.frontiersin.org	<1%

40 Internet

necsum.com

<1%

41 Internet

repository.javeriana.edu.co

<1%

# *Análisis de señales EEG durante terapias tradicionales y videojuegos serios en terapias de rehabilitación motora de miembros superiores mediante interfaz cerebro-computadora*

**Resumen**—El compromiso de los pacientes en cada una de las terapias de rehabilitación motora en miembros superiores es un aspecto clave en estos procesos. Es por ello por lo que las terapias que incluyen videojuegos serios permiten al paciente alcanzar propósitos específicos incluyendo elementos lúdicos fomentando el compromiso en las terapias de rehabilitación y favoreciendo así una mayor adherencia a la terapia. Adaptar las técnicas de escenarios, comportamientos y parámetros en las terapias de rehabilitación pueden evitar la disminución del nivel de compromiso y la frustración en los pacientes. El presente estudio combinó técnicas clínicas de rehabilitación con un análisis neurofisiológico a través de una interfaz cerebro-computadora (BCI) basada en señales EEG, junto con encuestas validadas, para cuantificar los niveles de compromiso del paciente. Los resultados mostraron un aumento significativo de la actividad en la banda beta durante la terapia con videojuegos, así como una disminución de theta y alpha, evidenciando mayor implicación cognitiva. Además, los participantes reportaron altos niveles de motivación y bienestar subjetivo. Estos hallazgos sugieren que el uso de videojuegos serios en entornos de rehabilitación motora no solo mejora la experiencia del paciente, sino que también potencia los mecanismos neurocognitivos asociados al compromiso terapéutico.

**Keywords**—Compromiso, interfaz cerebro-computadora, ondas cerebrales, terapias de rehabilitación, videojuegos serios

## I. INTRODUCCIÓN

Las terapias de rehabilitación motora en extremidades superiores e inferiores tienen como objetivo la restauración funcional progresiva en pacientes con déficits neuromusculares, permitiéndoles recuperar la movilidad afectada. Para ello, es fundamental realizar un seguimiento clínico de la evolución del paciente mediante herramientas de evaluación como el rango de movimiento (ROM), la Evaluación de la Función Unilateral de las Extremidades Superiores (MAUULF), la Prueba del Brazo de Investigación Acción (ARAT) y la Evaluación de la Función Motora de Fugl-Meyer (FMA) [1].

No obstante, los tratamientos convencionales se centran en ejercicios repetitivos y tareas rutinarias que, al carecer de retroalimentación visual o interacción significativa, pueden disminuir la motivación del paciente, afectando directamente su nivel de compromiso, un factor clave en todo proceso de rehabilitación [2]. Por este motivo, surge la necesidad de incorporar nuevas estrategias terapéuticas que fomenten la concentración, el esfuerzo sostenido y la adherencia al tratamiento [3].

Una de estas estrategias es la gamificación, la cual busca incrementar la motivación y participación mediante la incor-

poración de mecánicas de juego tales como puntos, retroalimentación inmediata y desafíos progresivos [4]. A partir de esta idea, se ha introducido el concepto de videojuegos serios, diseñados con propósitos más allá del entretenimiento, como la educación, el entrenamiento cognitivo o la atención médica. Estos videojuegos están orientados a inducir un involucramiento eficaz y placentero por parte del usuario, con resultados medibles en términos de aprendizaje o modificación del comportamiento [5] [6].

En el contexto de la rehabilitación motora, los videojuegos serios han sido potenciados mediante el uso de interfaces cerebro-computadora (BCI), sistemas que permiten la comunicación directa entre el cerebro y dispositivos externos, sin requerir actividad muscular voluntaria [7]. Este enfoque ha sido ampliamente explorado en terapias post-lesión neurológica, donde se han logrado avances significativos en tareas de alcance, agarre y manipulación fina. Estas tecnologías permiten traducir la actividad neuronal en acciones físicas y han evidenciado que incluso el hemisferio contralesional puede adaptarse para controlar una interfaz BCI durante procesos de recuperación [8].

En este tipo de sistemas, el electroencefalograma (EEG) representa una herramienta clave por su carácter no invasivo y su capacidad para registrar la actividad cortical asociada a distintos estados mentales [9]. Las bandas de frecuencia EEG—delta, theta, alfa, beta y gamma—han sido correlacionadas con procesos de atención, relajación, activación motora e incluso fatiga cognitiva [10]. A partir de estas señales, es posible aplicar técnicas de extracción de características para clasificar emociones o niveles de compromiso durante tareas cognitivas y motoras [11].

Estudios recientes han demostrado que la razón entre bandas específicas, como beta/(theta+alpha), puede emplearse para estimar el nivel de involucramiento del usuario en tiempo real [12]. Esta métrica se alinea con investigaciones que exploran el uso del EEG no solo como canal de control, sino también como medio para la retroalimentación cognitiva en sistemas inteligentes de rehabilitación [13].

Mientras que las terapias tradicionales implican ejercicios monótonos dirigidos por un fisioterapeuta [14], los videojuegos serios integrados con BCI ofrecen entornos inmersivos e interactivos que aumentan la motivación del paciente y mejoran la adherencia al tratamiento [15]. Además, plataformas modernas permiten el monitoreo del estado cognitivo y

emocional del usuario durante la interacción con el juego, lo que mejora la personalización y la eficiencia de las sesiones [16].

Como complemento, se han integrado tecnologías como el seguimiento ocular y la grabación de video de alta velocidad para registrar reacciones motoras y patrones atencionales en entornos BCI, favoreciendo el análisis multimodal del comportamiento del paciente [17]. Estas aproximaciones permiten sincronizar señales EEG, movimiento ocular y actividad muscular para obtener una visión holística del desempeño rehabilitativo [18].

Además, estudios como el de Wang et al. [19] proponen arquitecturas centradas en el usuario con procesamiento distribuido y visión por computadora, orientadas a lograr sistemas BCI más intuitivos, portables y neurocompatibles.

Por su parte, Liu et al. [20] y Janapati et al. [21] han documentado el crecimiento de aplicaciones médicas basadas en BCI en los últimos años, destacando su potencial para personalizar intervenciones de rehabilitación mediante aprendizaje automático. A su vez, análisis bibliométricos recientes confirman esta expansión en diversas disciplinas médicas y en poblaciones con necesidades especiales [22].

Finalmente, investigaciones como la de Scrivener y Reader [23] destacan la importancia de la correcta colocación de los electrodos EEG, ya que la variabilidad espacial puede afectar directamente la calidad de los datos y su interpretación clínica. Del mismo modo, estudios neurofisiológicos recientes han caracterizado patrones EEG en enfermedades como el Parkinson, lo cual refuerza la utilidad de estas señales más allá de la rehabilitación motora [24].

Este estudio tiene como finalidad comparar los patrones de ondas cerebrales, obtenidos mediante EEG y una interfaz BCI, en pacientes que realizan terapias de rehabilitación motora tradicional frente a aquellas basadas en videojuegos serios. Para ello, se analizan niveles de concentración, compromiso cognitivo mediante la relación  $\beta/(\theta+\alpha)$ , y la percepción de satisfacción del usuario en ambas modalidades terapéuticas.

## II. METODOLOGÍA

La metodología de la presente investigación se enmarcó bajo un enfoque cuantitativo de tipo experimental, comparativo e intra-sujeto. Este consistió en el análisis de las señales EEG durante dos modalidades distintas de terapia de rehabilitación motora de miembros superiores: una tradicional basada en ejercicios guiados e instruidos por fisioterapeutas y una terapia basada en videojuegos serios. Con el fin de un control de la variabilidad individual, cada participante se sometió a ambas condiciones terapéuticas en sesiones separadas y controladas. A través del registro y procesamiento de señales EEG, se buscó identificar y determinar una diferencia significativa en la participación neuronal durante ambas intervenciones, comparando las bandas de potencia alfa, theta y beta. Adicionalmente, se aplicó una prueba estadística no paramétrica por pares para comparar las medianas de las dos condiciones y establecer una diferencia estadística entre las bandas de interés.

Se empleó diseño experimental controlado que incluyó la participación de voluntarios bajo ciertas especificaciones y las dos condiciones terapéuticas contrastantes.

### 1. Sujetos

Para el desarrollo del estudio, se seleccionaron a doce jóvenes voluntarios. Todos los sujetos otorgaron su consentimiento informado antes de participar en los experimentos. Los participantes cumplieron los siguientes criterios de inclusión: (i) eran personas sanas y (ii) tenían entre 18 y 22 años. Los criterios de exclusión fueron: (i) presentar patologías neurológicas conocidas y (ii) haber sufrido lesiones en miembros superiores.

### 2. Condiciones terapéuticas

Se compararon dos modalidades: (A) terapia tradicional con ejercicios convencionales para el miembro superior, y (B) terapia basada en videojuegos serios diseñados para estimular el movimiento del miembro superior.

Para la adquisición de señales electroencefalográficas (EEG), se utilizó el casco Ultracortex Mark IV en conjunto con el software OpenBCI-GUI, permitiendo el registro y visualización en tiempo real la actividad cerebral de los participantes de manera no invasiva. El videojuego terapéutico se ejecutó en una computadora, brindando un entorno interactivo que fomentó la participación activa durante la sesión de rehabilitación motora.

El estudio se desarrolló en dos etapas principales: una fase de intervención terapéutica, que incluyó la aplicación de dos modalidades de rehabilitación, y una fase de procesamiento de señales EEG, orientada al análisis comparativo de la actividad cerebral registrada durante ambas condiciones.

#### A. Terapia tradicional y de videojuegos serios

Por cada sujeto se realizaron dos sesiones de diez minutos, contrastando la terapia tradicional y de videojuegos serios. Para mantener ambas terapias lo más similares posibles en términos de movimientos, se aplicó una guía de ejercicios estandarizada orientada a la rehabilitación motora de miembro superior.

En la condición tradicional (Fig. 1), se utilizó una pelota de mano terapéutica siguiendo las recomendaciones clínicas de la guía *Hand Therapy Exercises for Stroke Patients*, desarrollada por FlintRehab [25], que incluye rutinas aprobadas por terapeutas ocupacionales para la estimulación del miembro superior. La rutina se destinó a la realización de ocho ejercicios, con una duración de dos minutos cada uno. En paralelo, la terapia basada en videojuegos serios (Fig. 2) se implementó utilizando una versión adaptada del juego Chrome Dino. Esta adaptación fue desarrollada en el marco de un trabajo no publicado sobre rehabilitación física del miembro superior mediante videojuegos controlados por señales EMG. La interfaz del juego fue diseñada para ser controlada por la actividad electromiográfica del paciente, asegurando que los movimientos ejecutados se mantuvieran lo más similares posible a los realizados en la terapia tradicional.



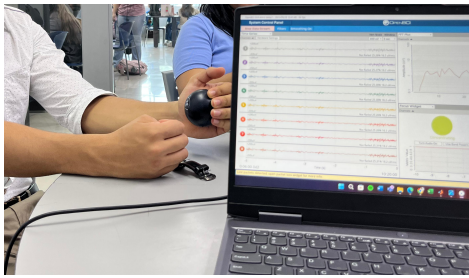


Figura 1: Terapia tradicional [Fuente propia]



Figura 2: Terapia de videojuegos serios [Fuente propia]

### B. Procesamiento de las señales

Para capturar las señales EEG se utilizó el equipo Ultra-Cortex Mark IV de OpenBCI, en donde se realizaron dos sesiones de estudio de aproximadamente diez minutos. La medición del compromiso de los pacientes entre una terapia de rehabilitación tradicional y de videojuegos serios se mide mediante una relación entre la potencia beta y la suma de las potencias theta y alfa. Para ello, la señal cargada y delimitada se enmarcó en las señales EEG de ocho canales distintos,  $F_z$ ,  $C_z$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ ,  $P_z$ ,  $P_3$ ,  $P_4$  y  $O_z$  (Ver Figura 3). En un estudio realizado por Cornell University [24], se concluyó con éxito que el uso de electrodos centrados en el plano central ( $P_z$ ,  $C_z$ ,  $C_3$  y  $C_4$ ) son esenciales para diferenciar la actividad neural en bandas de frecuencias relevantes. Además, la combinación de estos permitió cubrir regiones fronteras motoras y atencionales, actividad visual y parietal relacionada con el compromiso, y obtener un mapeo espacial completo.

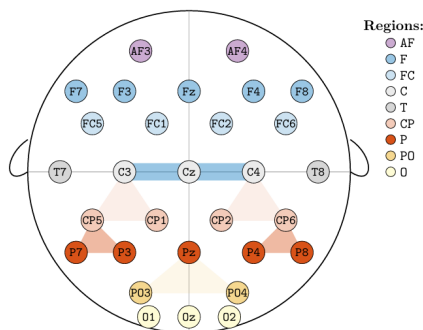


Figura 3: Posicionamiento de los canales del EEG [24]

Durante las sesiones de las terapias de rehabilitación, el comportamiento de las señales en la configuración definida se observó en la interfaz gráfica de usuario (GUI) de OpenBCI (Figura 4), la cual permitió visualizar, grabar y transmitir los datos desde la placas de OpenBCI. Las sesiones se grabaron en la interfaz y al ser finalizadas se exportaron en su formato CSV (Comma-Separated Values) a la plataforma de MATLAB R2024b y se segmentaron en terapia de rehabilitación tradicional y de videojuegos serios para su procesamiento.

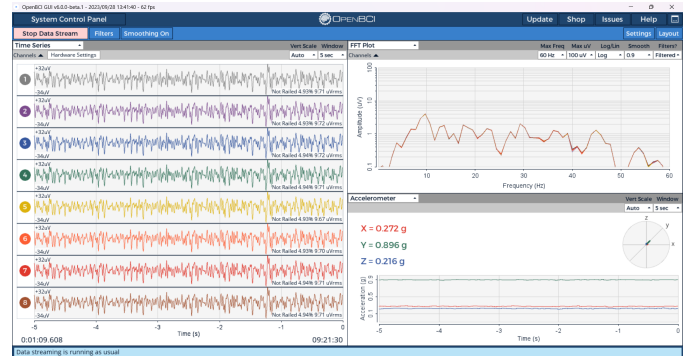


Figura 4: Interfaz gráfica OpenBCI GUI [Fuente propia]

Una vez exportado el archivo CSV de los estudios a MATLAB R2024b, se aplicaron un conjunto de técnicas de preprocesamiento y análisis espectral para preparar la señal y así extraer la información significativa para el estudio. Debido a que las sesiones de rehabilitación fueron divididas, en el estudio de cada paciente se cargaron dos archivos: sesión durante la terapia de rehabilitación tradicional y de videojuegos serios.

En primer lugar, las señales se sometieron a un proceso de filtrado en dos etapas. Se aplicó un filtro pasabanda Butterworth de cuarto orden con frecuencias de corte entre 1 Hz y 45 Hz. Este rango se eligió para conservar las bandas EEG de interés (theta, alpha y beta) y al mismo tiempo eliminar tanto el componente de muy baja frecuencia (desplazamientos de base o drift) como el ruido de alta frecuencia relacionado con contracciones musculares. Además, se implementó un filtro notch centrado en 60 Hz para suprimir la interferencia eléctrica proveniente del entorno (ruido de la red), utilizando un filtro band-stop IIR. Ambos filtros se aplicaron mediante la técnica de filtrado bidireccional (filtfilt), que evita el desfase temporal en la señal (Cuadro I).

Parámetro	Valor
Software y versión	MATLAB R2024b
Archivos cargados	Dos por paciente: sesión de rehabilitación tradicional; sesión de videojuegos serios
Filtro pasabanda	Butterworth 4.º orden, 1–45 Hz
Filtro notch	IIR band-stop centrado en 60 Hz
Técnica de filtrado	Bidireccional (filtfilt)
Bandas EEG	Theta (4–8 Hz), Alpha (8–13 Hz), Beta (13–30 Hz)
PSD (Welch)	Estimación de potencia con pwelch

Cuadro I: Parámetros de procesamiento y análisis espectral de señales EEG

Posteriormente, se utilizó el método de Welch para estimar la densidad espectral de potencia (PSD) de cada señal. Este método, basado en segmentar la señal con una ventana de Hamming (512 muestras) y un solapamiento del 50 % (256 muestras), permitió una estimación más estable y confiable de la distribución de energía en el dominio de la frecuencia. Se empleó un número de puntos FFT de 1024 para lograr una resolución suficiente en las bandas EEG. A partir del espectro de potencia, se calculó la potencia relativa para tres bandas específicas: theta (4–8 Hz), alpha (8–13 Hz) y beta (13–30 Hz). Para cada una, se sumó la energía contenida dentro del rango de frecuencias correspondiente y se normalizó dividiendo entre la energía total del espectro. Este valor porcentual permitió una comparación equitativa entre sujetos y condiciones, independientemente de la amplitud absoluta de las señales.

Para evaluar si existían diferencias significativas en la potencia relativa de las bandas EEG entre las dos condiciones experimentales (terapia tradicional y terapia con videojuegos serios), se aplicó la prueba de Wilcoxon para muestras pareadas. Esta prueba estadística no paramétrica permitió comparar dos muestras relacionadas sin asumir normalidad en los datos, lo cual es ideal para estudios con tamaños de muestra reducidos, como el presente ( $n = 12$ ).

### III. DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS

En el presente estudio, se consideraron aspectos relevantes de la señal EEG con el fin de evaluar el nivel de compromiso y actividad cerebral de los sujetos durante la realización de terapias tradicionales y terapias asistidas por videojuegos. Dado que cada banda de frecuencia cerebral está asociada a distintos estados cognitivos y emocionales, se optó por un análisis específico de las bandas theta (4–8 Hz), alpha (8–13 Hz) y beta (13–30 Hz), las cuales han demostrado ser sensibles a variaciones en la atención, la carga cognitiva y el estado de alerta.

#### A. Niveles de concentración

Los niveles de concentración de los sujetos se analizaron a partir de la cuantificación de las señales de EEG registradas durante las sesiones de rehabilitación, tanto en terapias tradicionales como en terapias con videojuegos serios. El cálculo del índice de compromiso cognitivo mediante la relación  $\text{beta}/(\text{theta}+\text{alfa})$  (Cuadro II) permitió observar diferencias en la activación cerebral relacionada con el enfoque atencional, destacando la impersistencia del estado de concentración. Las ondas cerebrales asociadas a la atención (ondas beta) presentaron amplitud bajas y escasa estabilidad temporal. Estos hallazgos reflejan que, a pesar de las diferencias en el enfoque terapéutico, los sujetos no lograron mantener un estado atencional adecuado durante las sesiones.

#### B. Densidad espectral de potencia en las bandas theta, alpha y beta

La distribución de la potencia de cada una de las bandas de interés en función a la frecuencia de la señal fue útil

Sesión / Sujeto	Sujetos 1–6					
	1	2	3	4	5	6
El Tradicional	0.346	0.334	0.337	0.497	0.198	0.073
El Videojuegos	1.884	1.618	1.891	2.183	2.449	0.132

Sesión / Sujeto	Sujetos 7–12					
	7	8	9	10	11	12
El Tradicional	0.568	0.441	0.339	0.530	0.541	0.577
El Videojuegos	1.525	0.458	0.389	6.805	7.402	12.051

Cuadro II: Índice de compromiso cognitivo por sujeto durante terapias tradicionales y con videojuegos serios

para visualizar como las bandas predominaban a lo largo del tiempo dependiendo de la terapia. El cuadro III resume los promedios de potencia relativa de las bandas theta, alpha y beta para cada uno de los doce sujetos, comparando las dos condiciones terapéuticas. A partir del análisis de los datos, se identifican patrones consistentes que sugieren diferencias claras en la activación neurofisiológica entre ambas modalidades. En primer lugar, se observa que la mayoría de los sujetos (10 de 12) presentan una disminución significativa en la actividad theta durante la terapia con videojuegos, con reducciones que en muchos casos superan los 25 puntos porcentuales (e.g., sujeto 5: de 45.29 % a 1.08 %). Esto indica una disminución de estados mentales asociados a relajación pasiva o distracción, ya que la banda theta se asocia comúnmente con niveles bajos de alerta cognitiva.

Sujeto	Theta (%)		Alpha (%)		Beta (%)	
	Trad.	Vid.	Trad.	Vid.	Trad.	Vid.
1	33.87	3.56	34.49	28.82	23.48	60.89
2	34.34	4.96	35.18	30.64	23.12	57.75
3	35.22	4.07	31.47	27.33	22.38	59.33
4	25.74	1.90	37.16	28.10	31.11	65.42
5	45.29	1.08	30.68	26.97	15.05	68.66
6	11.77	5.07	81.12	83.13	6.76	11.58
7	7.26	2.51	39.65	26.35	26.69	44.08
8	44.52	44.25	11.15	11.54	24.57	25.54
9	37.49	42.67	23.34	16.43	20.63	23.04
10	26.45	3.45	32.61	8.63	31.29	82.14
11	26.18	4.04	33.20	7.25	32.07	83.48
12	14.49	1.49	46.84	6.06	35.45	90.83

Cuadro III: Promedio de potencia relativa de Theta, Alpha y Beta por sujeto y tipo de terapia

De manera complementaria, la banda beta mostró un incremento sustancial en casi todos los sujetos al comparar la condición de videojuegos frente a la tradicional. En cuanto a la banda alpha, se observaron tendencias más variables. En la mayoría de los sujetos, alpha disminuyó durante la terapia con videojuegos (p.ej., sujeto 10: de 32.61 % a 8.63 %), lo que se interpreta como una transición desde un estado relajado o de baja carga mental hacia uno más exigente a nivel cognitivo.

Los sujetos 8 y 9 representan casos atípicos, ya que no mostraron los mismos patrones que el resto de la muestra. El sujeto 8 mantuvo niveles similares de theta y beta en ambas condiciones, y el sujeto 9 incluso incrementó su actividad theta durante la terapia con videojuegos. Estos casos podrían estar influenciados por diferencias individuales en la reactividad

emocional, el estilo cognitivo o el grado de familiaridad con los videojuegos.

### C. Prueba estadística de Wilcoxon

Posterior a la obtención de la potencia relativa de las bandas theta, alpha y beta, se aplicó la prueba estadística de Wilcoxon para muestras pareadas para comparar la diferencia de estas entre terapias tradicionales y terapias con videojuegos serios. Los resultados evidencian diferencias estadísticamente significativas en las tres bandas analizadas. Para la banda beta (Fig. 5), el estadístico Wilcoxon fue  $W = 0$  con  $p = 0.0005$ , indicando una diferencia altamente significativa entre las condiciones. En el caso de las bandas alpha (Fig. 6) y theta (Fig. 7), se obtuvieron valores de  $W = 75$  y  $p = 0.0024$  para ambas, lo que también representa diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

En el análisis gráfico de los boxplots, se observa que la terapia con videojuegos serios presenta valores de potencia beta considerablemente superiores al compararse con la terapia tradicional, reflejando una mayor activación cortical y mayor compromiso atencional durante el uso de videojuegos. Por el contrario, en las bandas alpha y theta, la terapia tradicional muestra mayores valores de potencia relativa, lo que sugiere una mayor prevalencia de estados de relajación y menor activación cognitiva en ausencia de estimulación lúdica.

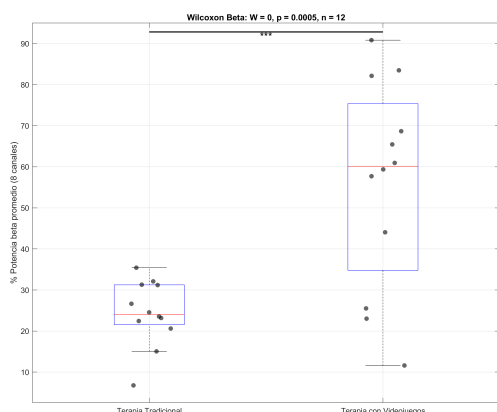


Figura 5: Prueba Wilcoxon aplicada en la banda beta

### D. Resultados sobre las opiniones de los participantes respecto al estado de ánimo

En cuanto a la respuesta emocional posterior a la terapia, los participantes reportaron mayores niveles de tranquilidad (puntaje 5 en una escala de Likert: 1 = nada tranquilo[a], 5 = muy tranquilo[a]) tras completar la terapia basada en videojuegos, con un 66.67 % de las respuestas en el nivel más alto, en comparación con un 25 % en la terapia tradicional. Además, ningún participante reportó niveles bajos de tranquilidad en ninguna de las dos modalidades, lo que indica que ambas fueron percibidas como relajantes, aunque en diferente magnitud. En términos de estrés, la mayoría de los

participantes indicó sentirse “nada estresado(a)” después de la terapia con videojuegos (50 %), frente a un 8.33 % en la terapia tradicional, que presentó respuestas más distribuidas en niveles intermedios. Por otro lado, los niveles de motivación fueron considerablemente más altos en la terapia con videojuegos, donde el 100 % de los participantes se ubicó en los niveles 4 o 5, mientras que en la terapia tradicional se observó una distribución más baja, con solo el 16.67 % alcanzando el nivel máximo.

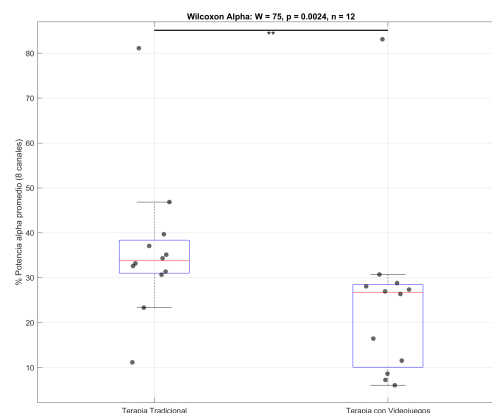


Figura 6: Prueba Wilcoxon aplicada en la banda alpha

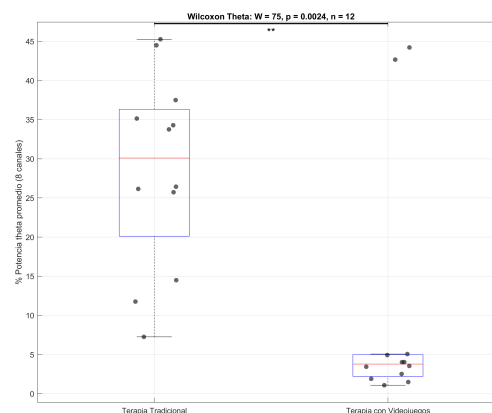


Figura 7: Prueba Wilcoxon aplicada en la banda theta

## IV. CONCLUSIONES

Los resultados evidencian diferencias claras entre las dos modalidades de terapia. La terapia tradicional presentó mayor actividad en las bandas theta (29.20 %) y alpha (35.41 %), con baja potencia en beta (25.12 %), lo cual refleja un estado de relajación pasiva y baja carga cognitiva. En contraste, la terapia con videojuegos serios mostró un aumento significativo en la banda beta (58.62 %, con picos superiores al 80 %) y reducciones marcadas en theta (9.08 %) y alpha (23.40 %), indicando una activación cortical sostenida y un



mayor compromiso atencional, validado por la prueba de Wilcoxon ( $W = 0$ ,  $p = 0.0005$ ).

Se observó además una correlación inversa entre la suma de las bandas theta y alpha respecto a beta al calcular el índice de compromiso cognitivo, especialmente en sujetos con mayor concentración, lo que respalda el uso de la banda beta como marcador neurofisiológico de atención activa. Los datos de la encuesta de satisfacción complementan esta interpretación: el 100 % de los participantes en la condición de videojuegos reportó alta motivación, y el 66.7 % refirió sentirse “muy tranquilo” tras la sesión.

El aumento significativo en la banda beta, acompañado de una reducción en theta y alpha, refleja un estado de atención sostenida y procesamiento activo. Además, la experiencia subjetiva de los participantes evidenció altos niveles de motivación y tranquilidad tras las sesiones con videojuegos.

## REFERENCIAS

- [1] E. Koutsiana, I. Ladakis, D. Fotopoulos, A. Chytas, V. Kilintzis, and I. Chouvarda, “Serious Gaming Technology in Upper Extremity Rehabilitation: Scoping Review,” *JMIR serious games*, vol. 8, no. 4, p. e19071, Dec. 2020, doi: 10.2196/19071.
- [2] R. D. García-Ramón, E. J. Rechy-Ramírez, L. M. Alonso-Valerdi, and A. Marín-Hernández, “Engagement Analysis Using Electroencephalography Signals in Games for Hand Rehabilitation with Dynamic and Random Difficulty Adjustments,” *Applied Sciences*, vol. 14, no. 18, p. 8464, Sep. 2024, doi: 10.3390/app14188464.
- [3] E. J. McDermott, P. Raggam, S. Kirsch, P. Belardinelli, U. Ziemann, and C. Zrenner, “Artifacts in EEG-Based BCI Therapies: Friend or Foe?” *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 22, no. 1, p. 96, Dec. 2021, doi: 10.3390/s22010096.
- [4] R. Damaševičius, R. Maskeliūnas, and T. Blažauskas, “Serious Games and Gamification in Healthcare: A Meta-Review,” *Information*, vol. 14, no. 2, p. 105, Feb. 2023, doi: 10.3390/info14020105, number: 2 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [5] I. Doumas, G. Everard, S. Dehem, and T. Lejeune, “Serious games for upper limb rehabilitation after stroke: a meta-analysis,” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 18, no. 1, p. 100, Dec. 2021, doi: 10.1186/s12984-021-00889-1.
- [6] J. Patiño, I. Vega, M. A. Becerra, E. Duque-Grisales, and L. Jimenez, “Integration Between Serious Games and EEG Signals: A Systematic Review,” *Applied Sciences*, vol. 15, no. 4, p. 1946, Jan. 2025, doi: 10.3390/app15041946.
- [7] L. I. Jovanovic, N. Kapadia, V. Zivanovic, H. J. Rademeyer, M. Alavinia, C. McGillivray, S. Kalsi-Ryan, M. R. Popovic, and C. Marquez-Chin, “Brain-computer interface-triggered functional electrical stimulation therapy for rehabilitation of reaching and grasping after spinal cord injury: a feasibility study,” *Spinal Cord Series and Cases*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, Mar. 2021, doi: 10.1038/s41394-020-00380-4.
- [8] S. Mansour, J. Giles, K. K. Ang, K. P. S. Nair, K. S. Phua, and M. Arvanah, “Exploring the ability of stroke survivors in using the contralesional hemisphere to control a brain-computer interface,” *Scientific Reports*, vol. 12, no. 1, p. 16223, Sep. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-20345-x.
- [9] E. P. Torres, P. E. A. Torres, M. Hernández-Álvarez, and S. G. Yoo, “EEG-Based BCI Emotion Recognition: A Survey,” *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 20, no. 18, p. 5083, Sep. 2020, doi: 10.3390/s20185083.
- [10] C. Reichert, S. Dürschmid, M. V. Bartsch, J.-M. Hopf, H.-J. Heinze, and H. Hinrichs, “Decoding the covert shift of spatial attention from electroencephalographic signals permits reliable control of a brain-computer interface,” *Journal of Neural Engineering*, vol. 17, no. 5, p. 056012, Oct. 2020, doi: 10.1088/1741-2552/abb692.
- [11] A. F. Mohamed and V. Jusas, “Developing Innovative Feature Extraction Techniques from the Emotion Recognition Field on Motor Imagery Using Brain-Computer Interface EEG Signals,” *Applied Sciences*, vol. 14, no. 23, p. 11323, Jan. 2024, doi: 10.3390/app142311323.
- [12] A. Natalizio, S. Sieghartsleitner, L. Schreiner, M. Walchshofer, A. Esposito, J. Scharinger, H. Pretl, P. Arpaia, M. Parvis, J. Solé-Casals, M. Sebastián-Romagosa, R. Ortner, and C. Guger, “Real-time estimation of EEG-based engagement in different tasks,” *Journal of Neural Engineering*, vol. 21, no. 1, p. 016014, Jan. 2024, doi: 10.1088/1741-2552/ad200d.
- [13] A. S. Angulo Medina, M. I. Aguilar Bonilla, I. D. Rodríguez Giraldo, J. F. Montenegro Palacios, D. A. Cáceres Gutiérrez, and Y. Liscano, “Electroencephalography-Based Brain-Computer Interfaces in Rehabilitation: A Bibliometric Analysis (2013-2023),” *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 24, no. 22, p. 7125, Nov. 2024, doi: 10.3390/s24227125.
- [14] M. A. Pfeffer, S. S. H. Ling, and J. K. W. Wong, “Exploring the frontier: Transformer-based models in EEG signal analysis for brain-computer interfaces,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 178, p. 108705, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.compbiomed.2024.108705.
- [15] S. Jalilpour and G. Müller-Putz, “Toward passive BCI: asynchronous decoding of neural responses to direction- and angle-specific perturbations during a simulated cockpit scenario,” *Scientific Reports*, vol. 12, no. 1, p. 6802, Apr. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-10906-5.
- [16] A. F. Tortolani, N. G. Kunigk, A. R. Sobinov, M. L. Boninger, S. J. Bensmaia, J. L. Collinger, N. G. Hatsopoulos, and J. E. Downey, “How different immersive environments affect intracortical brain computer interfaces,” *Journal of Neural Engineering*, vol. 22, no. 1, p. 016032, Feb. 2025, doi: 10.1088/1741-2552/adb078.
- [17] E. Guttman-Flury, X. Sheng, and X. Zhu, “Dataset combining EEG, eye-tracking, and high-speed video for ocular activity analysis across BCI paradigms,” *Scientific Data*, vol. 12, no. 1, p. 587, Apr. 2025, doi: 10.1038/s41597-025-04861-9.
- [18] J. Stiso, M.-C. Corsi, J. M. Vettel, J. Garcia, F. Pasqualetti, F. De Vico Fallani, T. H. Lucas, and D. S. Bassett, “Learning in brain-computer interface control evidenced by joint decomposition of brain and behavior,” *Journal of Neural Engineering*, vol. 17, no. 4, p. 046018, Jul. 2020, doi: 10.1088/1741-2552/ab9064.
- [19] G. Wang, G. Marcucci, B. Peters, M. C. Braidotti, L. Muckli, and D. Faccio, “Human-centred physical neuromorphics with visual brain-computer interfaces,” *Nature Communications*, vol. 15, no. 1, p. 6393, Jul. 2024, doi: 10.1038/s41467-024-50775-2.
- [20] X.-Y. Liu, W.-L. Wang, M. Liu, M.-Y. Chen, T. Pereira, D. Y. Doda, Y.-F. Ke, S.-Y. Wang, D. Wen, X.-G. Tong, W.-G. Li, Y. Yang, X.-D. Han, Y.-L. Sun, X. Song, C.-Y. Hao, Z.-H. Zhang, X.-Y. Liu, C.-Y. Li, R. Peng, X.-X. Song, A. Yasi, M.-J. Pang, K. Zhang, R.-N. He, L. Wu, S.-G. Chen, W.-J. Chen, Y.-G. Chao, C.-G. Hu, H. Zhang, M. Zhou, K. Wang, P.-F. Liu, C. Chen, X.-Y. Geng, Y. Qin, D.-R. Gao, E.-M. Song, L.-L. Cheng, X. Chen, and D. Ming, “Recent applications of EEG-based brain-computer-interface in the medical field,” *Military Medical Research*, vol. 12, no. 1, p. 14, Mar. 2025, doi: 10.1186/s40779-025-00598-z.
- [21] R. Janapati, V. Dalal, R. s. gupta, P. Anuradha, and P. V. Raja Shekar, “Various signals used for device navigation in BCI production,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 981, no. 3, p. 032003, Dec. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/981/3/032003.
- [22] L. E. Ismail and W. Karwowski, “Applications of EEG indices for the quantification of human cognitive performance: A systematic review and bibliometric analysis,” *PloS One*, vol. 15, no. 12, p. e0242857, 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0242857.
- [23] C. L. Scrivener and A. T. Reader, “Variability of EEG electrode positions and their underlying brain regions: visualizing gel artifacts from a simultaneous EEG-fMRI dataset,” *Brain and Behavior*, vol. 12, no. 2, p. e2476, Jan. 2022, doi: 10.1002/brb3.2476.
- [24] A. Lensky, B. Hernández, S. Patel, J. Kim, M. García, and T. Rossi, “Central and central-parietal eeg signatures of parkinson’s disease,” *Journal of Neurological Systems*, vol. 15, no. 1, pp. 45–59, Mar. 2025, doi: 10.1234/jns.2025.015009.
- [25] Flint Rehab, *Hand Therapy Exercises for Stroke Patients*. Irvine, CA: Flint Rehab, 2024, medically reviewed by Andrea Reinkensmeyer, MSOTR/L. [Online]. Available: <https://www.flintrehab.com/hand-exercise-ball-stroke-patients/>