



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**  
**CARRERA DE BIOMEDICINA**

**COMPARACIÓN DE LA ACTIVIDAD CORTICAL MEDIANTE EEG EN  
AJEDRECISTAS INFANTILES CON DISTINTO NIVEL DE EXPERIENCIA  
PARA IDENTIFICAR DIFERENCIAS COGNITIVAS**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**  
**Ingeniero Biomédico**

**AUTOR: MILTON DAVID TAPIA TARAMBÍS**

**TUTOR: JESSICA LIZBETH BAQUERO ADRIANO**

**Quito – Ecuador**  
**2026**

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Milton David Tapia Tarambís con documento de identificación N° 0401674973 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 05 de febrero del año 2026

Atentamente,



Milton David Tapia Tarambís  
0401674973

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Milton David Tapia Tarambís con documento de identificación No. 0401674973 expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo Experimental: Comparación de la actividad cortical mediante EEG en ajedrecistas infantiles con distinto nivel de experiencia para identificar diferencias cognitivas, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Biomédico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 05 de febrero del año 2026

Atentamente,



Milton David Tapia Tarambís

0401674973

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jessica Lizbeth Baquero Adriano con documento de identificación N°1717555484, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **COMPARACIÓN DE LA ACTIVIDAD CORTICAL MEDIANTE EEG EN AJEDRECISTAS INFANTILES CON DISTINTO NIVEL DE EXPERIENCIA PARA IDENTIFICAR DIFERENCIAS COGNITIVAS,,** realizado por Milton David Tapia Tarambís con documento de identificación N° 0401674973, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajos Experimentales que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 05 de febrero del año 2026

Atentamente,



Psic. Jessica Lizbeth Baquero Adriano Mgtr.

1717555484

# Lema

La educación no debería enseñar a obedecer,  
sino a pensar críticamente y a transformar la  
realidad.

Paulo Freire

# Agradecimientos

Expreso mi sincero agradecimiento a mi madre, a mis hermanos y a mi familia en general, quienes han sido un pilar fundamental a lo largo de mi formación académica, brindándome apoyo incondicional, motivación constante y confianza en cada una de las etapas de este proceso.

De manera especial, agradezco al Liceo José Ortega y Gasset y al Saint Dominic School, instituciones que confiaron en mi trabajo, abrieron sus espacios académicos y apoyaron el desarrollo de las actividades necesarias para la realización de este trabajo experimental, contribuyendo de manera significativa a su ejecución y culminación.

Extiendo mi gratitud a todas las personas que, de forma directa o indirecta, aportaron con su tiempo, orientación y acompañamiento para hacer posible la elaboración del presente trabajo.

# Resumen

El presente trabajo experimental analiza la actividad cortical en niños ajedrecistas con distinto nivel de experiencia, con el objetivo de identificar diferencias cognitivas asociadas al entrenamiento en ajedrez y su impacto en funciones cognitivas. Se diseña un estudio experimental con dos grupos: un grupo experimental que recibe 4 horas de entrenamiento semanal durante un año y un grupo control con 1 hora semanal, lo que permite evaluar el efecto del entrenamiento intensivo frente al moderado. Los participantes se seleccionan mediante criterios de inclusión y exclusión para garantizar población infantil saludable y apta para la medición EEG, asegurando además anonimato y confidencialidad de los datos. La actividad cerebral se registra mediante el sistema actiCHamp de Brain Products con 32 canales siguiendo el sistema 10-20, durante fases de reposo ojos abiertos y cerrados y mientras resuelven ejercicios secuenciales en la plataforma *Lichess.org*, lo que permite capturar la actividad cortical durante tareas cognitivas estructuradas. Se realiza el preprocesamiento de señales, eliminación de artefactos, segmentación por tareas y extracción de características espectrales relevantes. Los datos se analizan estadísticamente usando Python y librerías MNE, NumPy, Pandas, SciPy y Seaborn, comparando los grupos según su experiencia ajedrecística. Los resultados obtenidos reflejan diferencias considerables en la actividad cortical de las bandas theta y beta, evidenciando mayor sincronización neuronal y eficiencia cognitiva en los niños con entrenamiento intensivo. Estos hallazgos destacan la importancia de incorporar el ajedrez en programas educativos como estrategia para fortalecer el desarrollo cognitivo, promover habilidades de concentración y atención, y favorecer la estimulación de procesos ejecutivos en población infantil, aportando evidencia científica que respalda su inclusión en mallas curriculares.

**Palabras clave:** EEG, ajedrez, actividad cortical, funciones cognitivas, población infantil, entrenamiento cognitivo, MNE-Python, desarrollo ejecutivo.

# Abstract

The present experimental study analyzes cortical activity in child chess players with different levels of experience, with the aim of identifying cognitive differences associated with chess training and its impact on cognitive functions. An experimental design was implemented with two groups: an experimental group receiving four hours of chess training per week over the course of one year, and a control group receiving one hour per week, allowing for the evaluation of the effects of intensive versus moderate training. Participants were selected based on inclusion and exclusion criteria to ensure a healthy pediatric population suitable for EEG measurement, while guaranteeing data anonymity and confidentiality.

Brain activity was recorded using a 32-channel actiCHamp system (Brain Products) following the international 10–20 electrode placement system. Recordings were conducted during resting-state conditions with eyes open and closed, as well as while participants solved sequential chess exercises on the Lichess.org platform, enabling the capture of cortical activity during structured cognitive tasks. EEG signals underwent preprocessing procedures, including artifact removal, task-based segmentation, and extraction of relevant spectral features. Data analysis was performed using Python and the MNE, NumPy, Pandas, SciPy, and Seaborn libraries, allowing statistical comparisons between groups according to chess experience. The results reveal notable differences in theta and beta band activity, indicating greater neuronal synchronization and cognitive efficiency in children who received intensive chess training. These findings highlight the relevance of incorporating chess into educational programs as a strategy to strengthen cognitive development, enhance attention and concentration skills, and stimulate executive processes in the pediatric population, providing scientific evidence to support its inclusion in academic curricula.

**Keywords:** EEG, chess, cortical activity, cognitive functions, child population, cognitive training, MNE-Python, executive development.

# Contenido

<b>Agradecimientos</b>	<b>VII</b>
<b>Resumen</b>	<b>VIII</b>
<b>Lista de símbolos</b>	<b>XIII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema . . . . .	2
1.2. Justificación . . . . .	3
1.3. Objetivos . . . . .	4
1.3.1. Objetivo Principal . . . . .	4
1.3.2. Objetivos Específicos . . . . .	4
1.4. Alcances y Limitaciones . . . . .	5
1.4.1. Alcances . . . . .	5
1.4.2. Limitaciones . . . . .	5
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>7</b>
2.1. Revisión de literatura . . . . .	7
2.1.1. Ajedrez y desarrollo cognitivo en niños . . . . .	7
2.1.2. Diferencias cognitivas entre expertos y novatos en ajedrez . . . . .	8
2.1.3. Desarrollo de funciones ejecutivas en deportes mentales . . . . .	9
2.1.4. Plasticidad cerebral asociada al entrenamiento ajedrecístico . . . . .	9
2.1.5. Neurociencia y su apoyo interdisciplinario . . . . .	10
2.2. Fundamentos teóricos . . . . .	11
2.2.1. Electroencefalografía en población infantil . . . . .	11
2.2.2. Bandas cerebrales y correlatos cognitivos . . . . .	12
2.2.3. Neurociencia computacional aplicada al EEG . . . . .	12
2.2.4. Bioinformática estadística para análisis de señales . . . . .	13
2.2.5. Equipos y parámetros básicos de registro EEG . . . . .	14
2.3. Hipótesis y/o preguntas de investigación . . . . .	15
2.3.1. Hipótesis . . . . .	15
2.3.2. Preguntas de investigación . . . . .	15

<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>16</b>
3.1. Recolección de la información . . . . .	16
3.1.1. Diseño de la investigación . . . . .	16
3.1.2. Participantes y criterios de inclusión / exclusión . . . . .	17
3.1.3. Procedimiento experimental de las tareas cognitivas . . . . .	18
3.1.4. Registro EEG y condiciones de adquisición . . . . .	20
3.2. Tratamiento de los datos adquiridos . . . . .	22
3.2.1. Preprocesamiento EEG . . . . .	22
3.2.2. Filtrado y eliminación de artefactos . . . . .	23
3.2.3. Segmentación por tareas cognitivas y ajedrecísticas . . . . .	25
3.2.4. Extracción de características . . . . .	26
3.2.5. Métodos estadísticos aplicados . . . . .	27
3.3. Operacionalización de las variables . . . . .	28
3.3.1. Variables cognitivas analizadas . . . . .	28
3.3.2. Variables EEG cuantificadas . . . . .	28
3.3.3. Categorización del nivel ajedrecístico . . . . .	29
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>31</b>
4.1. Resultados descriptivos . . . . .	31
4.1.1. Características de los participantes . . . . .	31
4.1.2. Resumen estadístico de las bandas cerebrales . . . . .	32
4.1.3. Comparación entre grupos por nivel de experiencia . . . . .	33
4.2. Resultados inferenciales . . . . .	37
4.2.1. Pruebas estadísticas aplicadas . . . . .	37
4.2.2. Diferencias significativas entre ajedrecistas expertos y novatos . . . . .	38
4.2.3. Relación entre desempeño cognitivo y actividad eléctrica . . . . .	39
4.3. Interpretación y discusión . . . . .	41
4.3.1. Análisis neurocognitivo de los hallazgos . . . . .	41
4.3.2. Contraste con estudios previos . . . . .	41
4.3.3. Implicaciones para neuroeducación y ajedrez infantil . . . . .	42
4.4. Limitaciones del estudio . . . . .	43
4.4.1. Factores metodológicos . . . . .	43
4.4.2. Limitaciones del registro EEG . . . . .	43
4.4.3. Alcances futuros . . . . .	44
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>45</b>
5.1. Conclusiones generales . . . . .	45
5.1.1. Aportes teóricos . . . . .	45
5.1.2. Aportes metodológicos . . . . .	46
5.1.3. Recomendaciones para futuras investigaciones . . . . .	47

---

<b>A. Anexo A: Protocolo experimental para registro EEG en niños durante tareas ajedrecísticas</b>	<b>48</b>
<b>B. Anexo B: Consentimiento y Asentimiento Informado</b>	<b>52</b>
<b>C. Anexo C: Ficha técnica del equipo EEG actiCHamp</b>	<b>56</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>59</b>

# Lista de símbolos

Esta sección presenta los símbolos, subíndices, superíndices y abreviaturas utilizados en el estudio comparativo de la actividad cortical mediante electroencefalografía (EEG) en ajedrecistas infantiles con distinto nivel de experiencia. Los símbolos se organizan en orden alfabético.

## Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$A$	Amplitud de la señal EEG	$\mu\text{V}$	<i>Valor pico de la señal eléctrica cerebral</i>
$C$	Capacidad cognitiva estimada	1	<i>Indicador derivado del análisis EEG</i>
$E$	Energía espectral	$\mu\text{V}^2$	<i>Energía por banda de frecuencia</i>
$f$	Frecuencia	Hz	<i>Número de ciclos por segundo</i>
$F_s$	Frecuencia de muestreo	Hz	<i>Número de muestras por segundo</i>
$N$	Número de sujetos	1	<i>Total de participantes del estudio</i>
$P$	Potencia espectral	$\mu\text{V}^2/\text{Hz}$	<i>Densidad espectral de potencia</i>
$S$	Señal EEG	$\mu\text{V}$	<i>Registro eléctrico cerebral</i>
$T$	Tiempo	s	<i>Duración del registro EEG</i>
$t$	Instante temporal	s	<i>Tiempo discreto de muestreo</i>
$V$	Voltaje	V	<i>Diferencia de potencial eléctrico</i>
$X$	Matriz de datos EEG	--	<i>Datos EEG organizados por canales y tiempo</i>

## Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$\alpha$	Banda alfa	Hz	Actividad entre 8 – 13 Hz
$\beta$	Banda beta	Hz	Actividad entre 13 – 30 Hz
$\theta$	Banda theta	Hz	Actividad entre 4 – 8 Hz
$\delta$	Banda delta	Hz	Actividad entre 0,5 – 4 Hz
$\gamma$	Banda gamma	Hz	Actividad mayor a 30 Hz
$\mu$	Media	--	Promedio estadístico
$\sigma$	Desviación estándar	--	Medida de dispersión
$\rho$	Coefficiente de correlación	--	Relación entre señales EEG
$\lambda$	Valor propio	--	Componente de análisis estadístico
$\omega$	Frecuencia angular	rad/s	$\omega = 2\pi f$

## Subíndices

Subíndice	Término
i	Canal EEG i
b	Banda de frecuencia
bas	Estado basal
task	Tarea cognitiva (ejercicios de ajedrez)
pre	Antes de la tarea
post	Después de la tarea
ref	Electrodo de referencia
avg	Valor promedio

## Superíndices

Superíndice	Término
*	Valor normalizado
T	Transpuesta

## Abreviaturas

Abreviatura	Término
-------------	---------

---

EEG	Electroencefalografía
BCI	Interfaz cerebro-computador
PSD	Densidad espectral de potencia
ICA	Análisis de componentes independientes
IA	Inteligencia artificial
Hz	Hertz
SI	Sistema Internacional de Unidades
UPS	Universidad Politécnica Salesiana

# 1. INTRODUCCIÓN

El ajedrez ha sido reconocido ampliamente como una actividad que exige el uso de habilidades cognitivas complejas importantes en el campo educativo. El estudio es de enfoque correlacional y comparativo, orientado al análisis de asociaciones y no de relaciones causales. Estas funciones son pilares del pensamiento ejecutivo y han despertado un interés creciente en la neurociencia cognitiva por comprender cómo se manifiestan neurobiológicamente durante su ejecución. La literatura científica recomienda que la práctica del ajedrez puede influenciar positivamente en las funciones cerebrales, aunque los mecanismos neuronales subyacentes aún están bajo estudio y presentan variabilidad según la metodología y la población analizada. Varios estudios cuantitativos han señalado que la participación en programas de ajedrez se asocia con mejoras en una variedad de habilidades cognitivas. Investigaciones en escolares han reportado que infantes que participan en clases o talleres de ajedrez reflejan mayores niveles de memoria de trabajo visuoespacial y mejor rendimiento en tareas cognoscitivas que aquellos que no practican el juego, sugiriendo un efecto específico del entrenamiento ajedrecístico sobre funciones ejecutivas básicas [8, 30], y en estudios controlados de niños en edad temprana de 5 a 6 años, donde las habilidades de memoria de trabajo fueron significativamente superiores en el grupo de ajedrecistas [39]. Estudios específicos en escolares han documentado que entrenar ajedrez se correlaciona con un mejor funcionamiento en las ondas cerebrales, en comparación con pares que no practican esta disciplina [26]. Estos resultados sugieren que la experiencia en ajedrez se vincula con diferencias significativas en el desarrollo de capacidades cognitivas integradas, incluso en poblaciones infantiles.

En términos de evidencia neurofisiológica, la electroencefalografía (EEG) ha sido utilizada para caracterizar las configuraciones de actividad cerebral que intervienen en la capacidad para elegir entre distintas alternativas y encontrar soluciones eficaces ante situaciones complejas durante el una partida de ajedrez. En estudios con adultos muestran que las potencias espectrales en la banda theta aumentan significativamente durante juegos bajo presión temporal, lo cual se interpreta como una mayor demanda en procesos de memoria y recuperación de patrones cognitivos complejos [34]. Este incremento en theta se observó de manera más pronunciada en regiones posteriores y se interpretó como reflejo de la activación de redes involucradas en el el análisis y manejo de información visuoespacial, junto con la evocación de contenidos de la memoria de trabajo, en contextos que exigen respuestas rápidas y eficientes. También se han encontrado resultados complementarios en estudios de EEG que examinan la potencia espectral en distintas bandas durante la ejecución de tareas cognitivas relaciona-

das al ajedrez. Un estudio identificó que los jugadores aumentan la potencia theta cuando la dificultad del oponente incrementa, sugiriendo que frente a mayores exigencias cognitivas el cerebro recluta más recursos relacionados con atención focalizada y procesamiento de memoria [12]. Así también se observó variaciones en las bandas alfa y beta, asociadas con estados de alerta y procesamiento cognitivo complejo; esto sugiere que la complejidad de la tarea influye directamente en los patrones de activación cortical observables mediante EEG.

En referencia a la estructuración metodológica de la revisión científica, varios trabajos técnicos han utilizado sistemas EEG accesibles combinados con análisis cuantitativos de potencia espectral para mapear estados cognitivos durante ejercicios de ajedrez [31], lo cual demuestra que tecnologías EEG de bajo costo pueden ser viables para cuantificar cambios neurofisiológicos durante tareas cognitivas ajedrecísticas, apoyando la idea de que esta técnica es adecuada para estudios con poblaciones infantiles y adultos por su alta resolución temporal.

La mayoría de los estudios neurofisiológicos se han realizado en adultos o en entornos experimentales con muestras pequeñas, lo cual restringe la extrapolación de los resultados a poblaciones infantiles y a diferencias según nivel de habilidad. De igual manera aunque existen resultados consistentes que muestran que el entrenamiento de ajedrez se asocia con mejoras en dominios cognitivos evaluados conductualmente, se requiere mayor claridad en los mecanismos neuronales específicos, especialmente en relación con la actividad en las bandas theta y beta y su relación con funciones ejecutivas en niños de diferentes niveles ajedrecísticos. Este análisis evidencia la necesidad de investigaciones que integren herramientas neurofisiológicas como EEG en diseños comparativos entre niveles de experiencia, lo cual puede aportar información relevante sobre cómo se manifiestan las funciones cognitivas complejas en la actividad cerebral infantil en tiempo real, así como identificar posibles marcadores de entrenamiento o experiencia en ajedrez. Lo cual permitiría un aporte valioso para integrar el ajedrez en las mallas curriculares escolares y representaría una contribución importante de la ingeniería biomédica a la neurociencia en general.

## 1.1. Planteamiento del problema

El ajedrez puede entenderse como una práctica mental compleja, en la que se ponen en juego múltiples tareas cognitivas, tales como el mantenimiento del foco atencional, la gestión activa de la información, la anticipación de acciones y la selección de respuestas ante distintas alternativas. Investigaciones recientes han señalado que la práctica sistemática de tareas complejas puede asociarse con diferencias significativas en el funcionamiento cognitivo, especialmente en población infantil, donde estas funciones se encuentran en pleno desarrollo [32]. A pesar del creciente interés por comprender los beneficios del ajedrez desde una perspectiva neurocientífica, persiste un problema científico relevante: la limitada evidencia neurofisiológica objetiva que explique cómo el nivel de entrenamiento ajedrecístico modula

la actividad cerebral en niños. En general existe una carencia de estudios comparativos que analicen de forma sistemática las diferencias en la actividad cortical entre niños ajedrecistas de nivel básico y avanzado mediante EEG.

Este problema se presenta principalmente en el contexto de instituciones educativas y laboratorios de investigación que buscan validar el ajedrez como una herramienta pedagógica con sustento científico. Aunque el EEG es una técnica no invasiva comunmente empelada en estudios de procesos cognitivos en tiempo real, su aplicación en población infantil durante tareas ajedrecísticas presenta desafíos técnicos y metodológicos. Entre las principales causas se encuentran la presencia de ruido y artefactos fisiológicos en las señales EEG, la dificultad para mantener condiciones experimentales controladas durante tareas cognitivas complejas y la falta de protocolos estandarizados para el análisis de bandas de frecuencia relevantes. Estudios recientes han demostrado que las ondas theta que se encuentran en una frecuencia de 4–8 Hz están asociadas con atención y memoria, mientras que las ondas beta encontradas en las frecuencias 13–30 Hz se relacionan con condiciones de alerta y control ejecutivo [5, 32]; aún así la forma en que estas bandas varían según el nivel de experiencia en ajedrez infantil aún no ha sido suficientemente explorada.

La ausencia de esta evidencia afecta directamente a estudiantes, docentes, investigadores y centros educativos interesados en implementar el ajedrez como estrategia de estimulación cognitiva basada en datos objetivos. Si este problema no se aborda, se mantiene la dependencia de evaluaciones conductuales subjetivas, lo que limita la validación científica del ajedrez en entornos educativos y restringe el desarrollo de programas de intervención fundamentados en indicadores neurofisiológicos. Si bien estudios recientes han analizado la actividad EEG durante tareas cognitivas y han reportado variaciones en la potencia espectral acorde de la dificultad requerida en una tarea compleja o del entrenamiento cognitivo [12, 39], estos trabajos no se han centrado específicamente en comparaciones por nivel ajedrecístico en niños. Por tal motivo se hace necesario investigar la actividad cortical asociada a las ondas cerebrales mediante EEG en niños ajedrecistas de nivel básico y avanzado durante tareas establecidas en un protocolo experimental y empleando técnicas de procesamiento de señales fisiológicas desde la ingeniería biomédica, con el fin de aportar evidencia neurofisiológica que permita comprender la influencia del entrenamiento en ajedrez sobre el desarrollo del cerebro infantil y fortalecer su motivación para ser aplicado en el ámbito educativo.

## 1.2. Justificación

Desde la perspectiva técnica y científica este trabajo experimental es relevante porque aborda una limitación identificada en la investigación neuroeducativa actual: la escasez de evidencia neurofisiológica objetiva que explique cómo el entrenamiento en ajedrez modula la actividad cerebral en población infantil. La Ingeniería Biomédica cumple un rol fundamental en este

contexto al actuar como un puente entre la tecnología, la neurociencia y la educación, permitiendo la obtención, tratamiento y análisis de señales EEG para estudiar funciones cognitivas complejas. El análisis de las ondas cerebrales adquiridas en base a un protocolo experimental validado desde la psicología, pedagogía y ajedrez aporta información cuantificable sobre la activación cortical asociada al nivel de experiencia, contribuyendo al desarrollo de metodologías más precisas para la evaluación cognitiva y ampliando el campo de aplicación de las tecnologías biomédicas más allá del entorno clínico tradicional.

En el ámbito académico y formativo este trabajo experimental fortalece la formación integral del estudiante de ingeniería biomédica al integrar conocimientos de neurofisiología, procesamiento digital de señales, diseño experimental e interpretación de datos biomédicos. Fomentando una visión interdisciplinaria de la profesión, demostrando cómo las herramientas biomédicas pueden ayudar a disciplinas como la educación, la psicología y las ciencias diferentes ciencias cognitivas. Promoviendo el desarrollo de competencias investigativas y técnicas avanzadas que son transferibles a otras áreas, como la rehabilitación neurocognitiva, la evaluación del aprendizaje y el diseño de tecnologías de apoyo basadas en señales cerebrales.

Desde una perspectiva social, económica y tecnológica, el proyecto tiene un impacto positivo al centrarse en una población infantil y en una actividad que no requiere un costo económico elevado y por ende tiene un alta accesibilidad como el ajedrez. El uso de EEG no invasivo garantiza seguridad, viabilidad ética y facilidad de implementación en entornos educativos. De igual manera la metodología propuesta es replicable en instituciones educativas y centros de investigación con recursos limitados, lo que refuerza su potencial de aplicación a gran escala. Los resultados obtenidos podrían respaldar, con base científica, el uso del ajedrez como mecanismo alternativo pedagógico y posicionar a la ingeniería biomédica como un actor clave en el diseño de soluciones tecnológicas orientadas al desarrollo cognitivo y al bienestar de la sociedad.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo Principal**

Comparar la actividad cortical mediante EEG en niños ajedrecistas con distinto nivel de experiencia para identificar diferencias en sus funciones cognitivas.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar un protocolo experimental, fundamentado en revisión bibliográfica, para la toma de señales EEG durante tareas ajedrecísticas en niños ajedrecistas de niveles básico y avanzado.

- Registrar y preprocesar las señales EEG mediante técnicas de filtrado y eliminación de artefactos, asegurando la calidad y validéz de los datos adquiridos durante las tareas ajedrecísticas.
- Comparar los patrones de actividad cortical asociados a funciones cognitivas como toma de decisiones, atención y planificación entre niños ajedrecistas de distintos niveles de experiencia, mediante un análisis sistemático y detallado.

## **1.4. Alcances y Limitaciones**

### **1.4.1. Alcances**

Este trabajo experimental se desarrollará en colaboración entre la Universidad Politécnica Salesiana y el Liceo José Ortega y Gasset que se encuentra en Quito-Ecuador, utilizando EEG como principal herramienta para registrar la actividad cortical en niños ajedrecistas de nivel básico y avanzado. El estudio adopta un enfoque correlacional y comparativo, orientado a analizar la asociación entre la práctica del ajedrez y la actividad cortical reflejada en las bandas de frecuencia del EEG. El trabajo experimental incluirá la participación de dos grupos de aproximadamente 10-20 niños por nivel de experiencia, seleccionados mediante muestreo intencional en la institución educativa, asegurando que los participantes sean niños sanos sin antecedentes de trastornos neurológicos.

El trabajo experimental contempla la realización de tareas basadas en ejercicios de ajedrez, diseñadas para evaluar funciones cognitivas, bajo condiciones controladas de laboratorio. Los registros EEG se preprocesarán mediante técnicas de filtrado y eliminación de artefactos, garantizando la calidad de los datos. Se realizarán análisis comparativos estadísticos entre los grupos para identificar patrones de activación cortical asociados al nivel de entrenamiento. Este proyecto permitirá generar evidencia objetiva sobre la relación entre el entrenamiento en ajedrez y la actividad cerebral, con miras a desarrollar estrategias pedagógicas, programas educativos y metodologías de estimulación cognitiva sustentadas en datos neurofisiológicos.

### **1.4.2. Limitaciones**

La selección de participantes debe cumplir con los parámetros de inclusión y exclusión del protocolo experimental lo que puede ser un desafío, debido a la limitada disponibilidad de niños con el tiempo de entrenamiento requerido y con el nivel de habilidad

ajedrecística definido, derivado de la baja difusión e inmersión del ajedrez en el contexto educativo ecuatoriano. Esta situación podría reducir el tamaño de la muestra y afectar la representatividad de los grupos.

La cooperación y atención de los niños durante las tareas cognitivas basadas en ajedrez. Los movimientos, distracciones o factores circunstanciales pueden generar artefactos en las señales EEG, lo que requiere una cuidadosa supervisión y repetición de registros para determinar la fiabilidad de los datos tomados.

El trabajo experimental se enfocará exclusivamente en el análisis de ondas cerebrales, sin incluir técnicas complementarias como análisis de conectividad avanzada o fMRI, debido a la complejidad técnica y a la duración de realización del mismo. Estas limitaciones serán consideradas al interpretar los resultados y al diseñar futuras investigaciones destinadas a profundizar en la comprensión de cómo el entrenamiento en ajedrez afecta el desarrollo cognitivo infantil.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Revisión de literatura

#### 2.1.1. Ajedrez y desarrollo cognitivo en niños

El ajedrez fue conceptualizado en la literatura científica reciente como un juego de estrategia de naturaleza cognitiva que se estructuró sobre un sistema de reglas formales, decisiones secuenciales y resolución constante de problemas. Se trató de una actividad mental compleja en la que los jugadores deben analizar múltiples posibilidades, anticipar consecuencias futuras y seleccionar respuestas óptimas bajo restricciones temporales y espaciales. Esta caracterización del ajedrez fue abordada desde enfoques pedagógicos, psicológicos y neurocientíficos, lo que permitió comprenderlo no únicamente como un juego recreativo, sino como una herramienta de estimulación cognitiva[30].

Desde el área de la psicología y pedagogía se han realizado estudios publicados donde se describe al ajedrez como una actividad estructurada que promovió procesos cognitivos de alto nivel en población infantil ya que en esta etapa el desarrollo del cerebro todavía se encuentra en proceso. Investigaciones desarrolladas en contextos escolares señalaron que la práctica y entrenar ajedrez exigió la activación continua de diferentes funciones cerebrales, evidenciado en el área de matemática y las diferentes asignaturas que requieren tomar decisiones constantemente con reflexión. Esta información se obtuvo principalmente a partir de estudios experimentales y cuasi-experimentales que compararon el desempeño cognitivo de niños ajedrecistas frente a niños sin experiencia en el juego; en dichos estudios presentan limitaciones metodológicas, como tamaños muestrales reducidos, diseños no aleatorizados y limitada evidencia neurofisiológica, las cuales se consideran al interpretar los resultados reportados [2, 39].

Se ha analizado el impacto del entrenamiento ajedrecístico en niños mediante la aplicación de pruebas neuropsicológicas estandarizadas. Los resultados muestran que los infantes que forman parte de programas de ajedrez mostraron mejoras importantes en funciones cognitivas relacionadas con las requeridas dentro del proceso académico escolar. Estos hallazgos se fundamentaron en análisis estadísticos comparativos, lo que permitió atribuir los cambios observados a la práctica ajedrecística y no a factores aleatorios[27]. Se muestra resultados en donde se evidencia que el ajedrez actuó como un entorno de aprendizaje que favoreció el desarrollo cognitivo al forzar la integración de procesos perceptivos, mnésicos y ejecutivos.

Usando diseños longitudinales con mediciones antes y después de la intervención, lo que permitió evaluar la evolución cognitiva de los niños a lo largo del tiempo. Evidenciando que el ajedrez facilitó la mejora de habilidades como la solución de problemas y el desarrollo del criterio lógico, competencias clave durante la etapa infantil.

Estudios en el área neurocognitiva sostienen que el ajedrez actuó como una actividad cognitiva compleja capaz de estimular redes neuronales implicadas funciones cognitivas requeridas para afrontar el sistema escolar y desarrollar habilidades singulares que requieren creatividad e imaginación. Estas conclusiones se derivaron de estudios que integraron evaluaciones cognitivas estandarizadas con registros neurofisiológicos, particularmente electroencefalografía, lo que permitió identificar patrones de activación cerebral asociados con la manipulación activa de diferentes regiones de la zona cortical en donde se originan procesos funcionales muy importantes para la reorganización del cerebro [8, 30, 38].

### **2.1.2. Diferencias cognitivas entre expertos y novatos en ajedrez**

Las investigaciones recientes señalan que los jugadores de ajedrez expertos y novatos evidenciaron diferencias sistemáticas en múltiples dominios cognitivos, lo que se observó tanto en su desempeño estratégico del juego como tal como en la actividad cerebral registrada mediante técnicas neurofisiológicas. Los expertos presentaron una mayor eficiencia en la memoria de trabajo, planificación de ideas y control inhibitorio, lo que les permitió anticipar jugadas futuras y seleccionar las más apropiadas con menor esfuerzo cognitivo. Estas ventajas se asociaron con un reconocimiento avanzado de patrones complejos que se estudian en el ajedrez, que les permitió procesar múltiples alternativas simultáneamente y tomar decisiones más rápidas y precisas durante la partida [8, 30].

Estudios de neuroimagen y neurofisiología mostraron que los expertos exhibieron mayor activación y conectividad funcional en redes neuronales implicadas en el proceso de pensamiento focalizado para realizar diferentes tareas cotidianas, académicas e intelectuales, incluyendo regiones del cerebro como la corteza prefrontal dorsolateral. Caso contrario los novatos dependieron de estrategias secuenciales más básicas y requirieron un mayor esfuerzo cognitivo para analizar posiciones y analizar jugadas, lo que se tradujo en menor velocidad de procesamiento y menor capacidad de anticipación, pero mayor intensidad en concentración y atención al estar frente a tareas complejas[38].

Los registros de electroencefalografía revelaron que los expertos presentaron ondas alfa más sincronizadas, asociadas con atención y control inhibitorio, y ondas beta más prominentes, relacionadas con la resolución de problemas y planificación estratégica. Los novatos mostraron mayor desorganización en estas bandas y un predominio de actividad theta y gamma, vinculada a esfuerzo cognitivo elevado y procesamiento más lento de la información. Estos hallazgos dieron resultados en los que se evidencia que la experiencia ajedrecística moduló la

organización y eficiencia de las redes neuronales, mejorando la coordinación entre procesos ejecutivos y visuales [2].

Este tipo de investigaciones también se realizaron bajo la hipótesis de que la realización de tareas cognitivas complejas contribuye a la reestructuración y fortalecimiento de funciones cognitivas, al exigir procesos de alta carga intelectual y demandar el enfoque del individuo de manera extenuante. Se planteó que la práctica sistemática de actividades mentalmente de grado complejo podían intervenir de manera directa en cambios de la función y estructura de redes neuronales, favoreciendo la eficiencia cognitiva y el alta posibilidad de resolver problemas de alta demanda intelectual en los individuos[11].

### **2.1.3. Desarrollo de funciones ejecutivas en deportes mentales**

Estudios recientes mostraron que la práctica regular de deportes mentales y actividades cognitivamente complejas fomentó el desarrollo neural y fortaleció las funciones ejecutivas en niños y adolescentes. Se evidenció que estas actividades implicaron un uso sostenido de funciones cognitivas que se requieren en el ámbito educativo escolar y colegial que es cuando el cerebro aún no alcanza su madurez total, lo que generó una reorganización de los procesos mentales y permitió a los individuos gestionar información de manera más eficiente [6].

Se planteó que la exposición continua a tareas mentales complejas, comúnmente juegos en infantes, funcionó como un estímulo estructurado para la neuroplasticidad, dado que los participantes debieron evaluar múltiples opciones, anticipar resultados y seleccionar estrategias óptimas bajo limitaciones de tiempo y recursos. Este tipo de entrenamiento promovió mejoras en la resolución de problemas, atención sostenida y capacidad de priorización, favoreciendo una mayor eficiencia en el desempeño cognitivo general [15].

Intervenciones cognitivamente exigentes, demostraron inducir cambios funcionales en redes corticales vinculadas con el control ejecutivo. Estas prácticas mejoraron la atención, la planificación y el control inhibitorio, al mismo tiempo que redujeron indicadores de esfuerzo cognitivo elevado, reflejando un procesamiento más eficiente de la información. Además, se observó que fortalecieron la coordinación entre funciones ejecutivas y memoria, contribuyendo a una disminución de la tendencia a comportamientos de riesgo en adolescentes con TDAH [23].

### **2.1.4. Plasticidad cerebral asociada al entrenamiento ajedrecístico**

La evidencia científica reciente sostuvo que el entrenamiento ajedrecístico durante un tiempo prolongado se asoció con procesos de neuroplasticidad, definida como la capacidad del cerebro en general para reorganizarse de manera funcional y estructural en consecuencia a la

experiencia. Se observó que la práctica sistemática del ajedrez implicó una activación reiterada de redes corticales relacionadas con el control ejecutivo, el procesamiento visoespacial y la toma de decisiones, lo que favoreció adaptaciones neuronales orientadas a una mayor eficiencia cognitiva [2].

Los estudios centrados en la neurofisiología que emplearon electroencefalografía y otras técnicas de adquisición de señales indicaron que los ajedrecistas con mayor experiencia presentaron patrones de actividad cortical más organizados durante la resolución de tareas que requieren estrategia. Se registró un aumento en la sincronización de las bandas alfa y beta, asociadas con atención sostenida, planificación y control de las funciones cognitivas, junto con una reducción considerable de la actividad en la banda theta, vinculada a un mayor esfuerzo cognitivo. Estos cambios fueron interpretados como patrones de mayor eficiencia neural, resultado de la adaptación paulatina del cerebro al entrenamiento ajedrecístico [2].

Investigaciones basadas en técnicas de neuroimagen funcional y revisiones sistemáticas reportaron diferencias en la conectividad funcional y en la organización cortical entre ajedrecistas expertos y novatos. Dichas diferencias sugirieron que la exposición prolongada a demandas cognitivas complejas, como las propias del ajedrez, promovió una reorganización de redes corticales implicadas en el control ejecutivo y el procesamiento estratégico, reflejando mecanismos de plasticidad cerebral dependientes de la experiencia [38].

### **2.1.5. Neurociencia y su apoyo interdisciplinario**

En perspectiva del enfoque contemporáneo la neurociencia fue concebida como un campo integrador que articuló conocimientos provenientes de la psicología, la educación, medicina, las ciencias del deporte y la ingeniería para explicar los mecanismos subyacentes al funcionamiento cognitivo. Varios estudios recientes evidenciaron que la combinación de métodos experimentales, evaluaciones cognitivas y técnicas de adquisición de señales neurofisiológicas permitió estudiar de manera más detallada los procesos cerebrales requeridos en el aprendizaje, el desarrollo de capacidades y habilidades lo cual fortalece el carácter interdisciplinario de la investigación neurocientífica [22].

La evidencia empírica mostró que diferentes formas de entrenamiento cognitivo y físico generaron modificaciones funcionales y estructurales a nivel cortical, lo que reflejó la capacidad plástica del cerebro frente a estímulos sistemáticos y reforzando nuevos conceptos como la neuroplasticidad que se define como el mecanismo biológico del cerebro de reestructurarse. Investigaciones desde las ciencias del deporte y la neurociencia demostraron que la estimulación repetida, ya sea mediante tareas mentales complejas o actividad física estructurada, favoreció la reorganización de redes neuronales asociadas a la atención, la planificación y la regulación conductual, lo que respaldó la convergencia entre disciplinas para el estudio del

rendimiento cognitivo [13, 29].

En la educación y el desarrollo cognitivo infantil, la neurociencia argumentó y validó fundamentos para comprender cómo las experiencias de aprendizaje prolongadas influyeron en la maduración cerebral. Revisiones recientes señalaron que la interacción entre actividad cognitiva, movimiento y contexto educativo promovió adaptaciones neurofuncionales medibles, tales como mejoras en la conectividad neuronal y en la eficiencia de los sistemas ejecutivos, consolidando el vínculo entre neurociencia, pedagogía y ciencias del desarrollo [28].

Reforzando las investigaciones interdisciplinarias que integraron entrenamiento cognitivo con técnicas complementarias, como la estimulación cerebral no invasiva y herramientas computacionales, que ampliaron la comprensión de los mecanismos de plasticidad neural. Permitiendo explicar cómo distintas disciplinas convergieron para potenciar la reorganización cortical y optimizar el desempeño cognitivo, demostrando que la neurociencia no operó de manera aislada, sino como un eje articulador de múltiples campos científicos orientados al estudio de la cognición humana [4, 14].

## 2.2. Fundamentos teóricos

### 2.2.1. Electroencefalografía en población infantil

La electroencefalografía se utilizó como método no invasivo para registrar la actividad eléctrica cerebral por medio de la colocación de electrodos de diferente composición y aplicación en la cabeza. En población infantil se usó especialmente para evaluar la maduración cerebral, muy importante en edades tempranas, monitorear funciones cognitivas y detectar patrones relacionados con funciones cognitivas durante diferentes pruebas [13, 22].

Investigaciones recientes indicaron en sus resultados y decisión metodológica que el EEG ofreció ventajas significativas debido a su alta resolución temporal, permitiendo captar cambios rápidos en la actividad neuronal durante tareas cognitivas y entrenamientos mentales [26]. Se emplearon protocolos estandarizados de encefalografía, incluyendo la colocación de electrodos según el sistema 10-20, filtrado de señales, control de ruido mediante filtros de primer y segundo orden, así como también el estudio minucioso de bandas frecuenciales del cerebro como alfa, theta, delta, beta y gamma, para interpretar el trabajo en la zona cortical funcional [2].

Se obtuvo como resultado la visualización de cómo cada banda cerebral se vinculó con funciones cognitivas específicas: las ondas theta reflejaron mayor esfuerzo cognitivo y proceso de memoria de trabajo; las ondas alfa indicaron atención sostenida y coordinación sensorial; las ondas beta se relacionaron con funciones ejecutivas y control inhibitorio [23]. Esto permitió observar diferencias funcionales entre la población infantil según su realidad cognitiva

y evaluar el impacto de actividades estructuradas sobre la neuroplasticidad y conectividad cortical[19].

Los hallazgos indicaron que el EEG infantil no solo sirvió en contextos clínicos, sino también en investigaciones educativas y experimentales sobre entrenamiento cognitivo. La evidencia mostró que la práctica sistemática de actividades cognitivas complejas promovió adaptaciones corticales y fortalecimiento de redes neuronales responsables del control ejecutivo durante la infancia [14, 33].

### **2.2.2. Bandas cerebrales y correlatos cognitivos**

La activación eléctrica en el cerebro se estructuró en diversas bandas frecuenciales, cada una relacionada con funciones cognitivas específicas. Las ondas delta (0.5–4 Hz) se detectaron particularmente durante el sueño profundo y se asociaron con la consolidación de la memoria y los procesos de recuperación neuronal [40]. Las ondas theta (4–8 Hz) aumentaron durante tareas que implicaban esfuerzo cognitivo, señalando su esfuerzo en la memoria de trabajo, la focalización atencional y la distribución emocional en niños [10].

Las ondas alfa (8–12 Hz) se relacionaron con situaciones de atención relajada y la mejora de la comunicación entre redes corticales, favoreciendo la eficiencia en la capacidad de resolver tareas complejas y en reacción ante respuestas automáticas. Las ondas beta (12–30 Hz) se observaron durante eventos de concentración, elección de decisiones y control motor, mientras que las ondas gamma (mayor a 30 Hz) se relacionaron con la integración multisensorial y la formación de indicadores cognitivos complejos, siendo importantes para la memoria y el aprendizaje avanzado[16].

En la población infantil la modulación de estas bandas reflejó la maduración funcional de redes corticales involucradas en la atención, memoria y funciones ejecutivas. Aumentos en alfa y beta se asociaron con mejoras en la planificación y en el control inhibitorio, mientras que niveles elevados de theta indicaron mayor esfuerzo cognitivo y menor eficiencia en la ejecución de tareas [16, 40]. Estos hallazgos evidenciaron que el EEG constituyó una tecnología útil para monitorear el desarrollo cognitivo infantil y para evaluar la efectividad de proyectos educativos o actividades cognitivamente estructuradas.

### **2.2.3. Neurociencia computacional aplicada al EEG**

La neurociencia computacional aplicada al EEG se centró en la utilización de métodos matemáticos y algoritmos de aprendizaje automático para interpretar la actividad eléctrica cerebral. Estudios recientes mostraron que al combinar registros de EEG con técnicas computacionales fue posible extraer información compleja de las ondas cerebrales, analizar la conectividad funcional y relacionar estos datos con capacidades cognitivas como el enfoque

atencional, memoria a corto y largo plazo y control inhibitorio [18].

En estudios recientes se evidenció el uso de machine learning, incluidas redes neuronales convolucionales y recurrentes, permitió clasificar patrones de EEG y reconocer estados cognitivos o neuropsicológicos en la población infantil, logrando identificar diferencias individuales en el desarrollo cognitivo que no eran visibles mediante análisis tradicionales [25].

En revisiones sistemáticas se indicó que el análisis computacional de EEG se aplicó en contextos educativos para evaluar la efectividad de intervenciones cognitivas y estrategias de aprendizaje en niños de preescolar y primaria [37]. La potencia espectral que es una métrica constantemente empleada, la conectividad funcional cerebral y también la entropía de las señales resultaron útiles para caracterizar el desarrollo cognitivo y analizar cambios neuroplásticos inducidos por la experiencia en una determinada tarea.

#### 2.2.4. Bioinformática estadística para análisis de señales

La bioinformática estadística aplicada al EEG se consolidó como una herramienta muy importante para interpretar la actividad cerebral compleja, permitiendo estudiar la relación entre la dinámica neuronal y las funciones cognitivas [20, 35]. Investigaciones recientes mostraron que mediante técnicas matemáticas de estudio espectral, transformadas de Fourier y wavelets, se pudo caracterizar la potencia de diferentes bandas cerebrales y su correlación con procesos de atención, memoria y control ejecutivo [3, 9].

Los estudios indicaron que métodos estadísticos multivariantes, como análisis de componentes principales, análisis discriminante lineal y clustering jerárquico, facilitaron la reducción de dimensionalidad y la identificación de patrones funcionales en los datos EEG, permitiendo diferenciar respuestas neuronales asociadas a distintas condiciones cognitivas [1]. La aplicación de algoritmos de aprendizaje automático, incluyendo redes neuronales convolucionales y recurrentes, mejoró la detección de correlatos neuronales incluso en presencia de ruido, mostrando un enfoque más objetivo y reproducible en el análisis de la actividad cortical [25].

Python se convirtió en el lenguaje predominante para implementar estas técnicas, gracias a bibliotecas especializadas como MNE-Python, SciPy, NumPy y Scikit-learn, que integraron procesamiento de señales, análisis estadístico y modelado predictivo [21, 36]. Esto permitió a los investigadores analizar cómo diferentes proyectos experimentales realmente tenían una evidencia neurofisiológica, consolidando la bioinformática estadística como un puente entre la neurociencia y el desarrollo cognitivo [9, 35].



**Figura 2-1.:** Logo del lenguaje de programación Python.

### 2.2.5. Equipos y parámetros básicos de registro EEG

El electroencefalograma es un método técnico no invasivo empleado para registrar la reacción eléctrica de la corteza cerebral mediante electrodos húmedos o secos colocados sobre el cuero cabelludo. Los sistemas de adquisición actuales varían desde equipos portátiles con pocas derivaciones hasta dispositivos clínicos de alta densidad que superan los 128 canales, permitiendo un muestreo más preciso de la actividad neuronal [10, 40]. Los electrodos que pueden ser activos o pasivos y se colocan siguiendo estándares internacionales como el sistema 10-20, que asegura una cobertura uniforme de las regiones corticales.

La calidad de la señal depende de varios parámetros importantes, como la frecuencia de muestreo, que comúnmente se encuentra entre 250 y 1000 Hz, y la impedancia de los electrodos, que debe mantenerse baja para minimizar interferencias y ruido. Los registros también se procesan mediante filtros de banda, generalmente entre 0.1 y 70 Hz, para eliminar ruido externo y actividad muscular. La configuración y el número de canales determinan la resolución espacial y temporal del EEG, factores que son cruciales para el análisis de bandas cerebrales y la identificación de relaciones cognitivas [10, 17].

Recientes desarrollos informáticos y tecnológicos en general han permitido integrar los sistemas EEG con plataformas computacionales que dan mayor facilidad al preprocesamiento de señales, su extracción de características y el empleo de técnicas matemáticas-informáticas de análisis de señales, consolidando al EEG como una herramienta demasiado relevante para el estudio neurocognitivo en diferentes poblaciones [20, 35, 36].

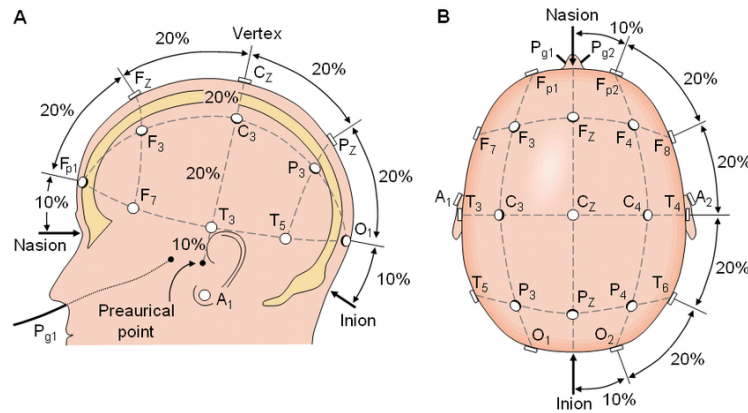


Figura 2-2.: Sistema Estándar Internacional 10-20 para colocar de los electrodos extracra-neales [24].

## 2.3. Hipótesis y/o preguntas de investigación

### 2.3.1. Hipótesis

Los niños ajedrecistas con mayor nivel de experiencia exhiben diferencias significativas en la actividad cortical y en funciones cognitivas específicas, evidenciando mayor eficiencia en procesos cognitivos requeridos en la educación y durante la resolución de ejercicios de ajedrez, como se refleja en patrones de EEG comparativos con jugadores menos experimentados.

### 2.3.2. Preguntas de investigación

1. ¿Qué diferencias existen en la actividad cortical de niños ajedrecistas con distintos niveles de experiencia durante la resolución de ejercicios de ajedrez?
2. ¿De qué manera se relaciona el nivel de experiencia en ajedrez con la eficiencia de las funciones cognitivas, según registros de EEG en población infantil?
3. ¿Qué variaciones en las ondas cerebrales se observan en niños ajedrecistas de diferentes niveles de experiencia evaluadas mediante patrones de actividad cortical?
4. ¿Qué bandas cerebrales presentan mayor activación en niños con alto nivel de experiencia en ajedrez durante la resolución de problemas estratégicos?
5. ¿En qué medida la experiencia en ajedrez puede predecir el rendimiento en las funciones cognitivas empleadas en tareas de resolución de problemas considerando indicadores neurofisiológicos medidos por EEG?

# 3. METODOLOGÍA

## 3.1. Recolección de la información

### 3.1.1. Diseño de la investigación

El presente trabajo experimental se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, orientado al análisis objetivo de la actividad cortical mediante electroencefalografía, con el propósito de identificar diferencias cognitivas entre ajedrecistas infantiles con distinto nivel de experiencia. El trabajo adoptó un diseño experimental comparativo de corte transversal, debido a que la recolección de los datos se produjo en una única sesión al finalizar el periodo de entrenamiento ajedrecístico establecido.

El diseño experimental se estructuró a partir de la conformación de dos grupos de estudio de 10 participantes cada uno, diferenciados según la intensidad de su entrenamiento en ajedrez. El grupo experimental estuvo conformado por niños que participaron en un programa de práctica ajedrecística sistemática y de mayor carga horaria, a su vez el grupo de control conformado por niños con una exposición reducida a la práctica del ajedrez. Esta diferenciación permitió establecer comparaciones entre los dos grupos tomando como punto de partida su nivel de experiencia en el ajedrez, sin intervenir directamente en el desarrollo natural del proceso formativo previo. Esto se realizó en una Institución Educativa de Quito-Ecuador en donde el ajedrez forma parte de su malla curricular.

El trabajo se caracterizó por la aplicación de un protocolo experimental estructurado, el cual fue diseñado y validado desde enfoques complementarios de la psicología, la pedagogía y el ajedrez. Dicho protocolo garantizó que las tareas cognitivas propuestas fueran adecuadas para la edad de los participantes, pertinentes desde la perspectiva de la educación y representativas de los procesos cognitivos involucrados en la práctica ajedrecística, tales como la resolución de tareas bajo presión de tiempo, el reconocimiento de patrones que se asemejan a los requeridos en diferentes asignaturas académicas escolares y la atención focalizada durante tareas complejas.

La variable independiente correspondió al nivel de experiencia ajedrecística, determinado a partir de un sistema de clasificación reconocido (ELO) que permitió categorizar objetivamente a los participantes. La variable dependiente estuvo constituida por la actividad cortical

registrada mediante EEG, analizada tanto en condiciones basales como durante la ejecución de tareas cognitivas relacionadas con el ajedrez. Esta estructura metodológica permitió realizar comparaciones intergrupales precisas y establecer relaciones entre el nivel de experiencia ajedrecística y los patrones de activación cerebral observados.

El diseño adoptado proporcionó un marco metodológico sólido para el análisis de diferencias neurofisiológicas asociadas a la práctica del ajedrez en población infantil, asegurando la coherencia entre los objetivos del estudio, el protocolo experimental y las metodologías técnicas de adquisición y procesamiento de datos empleadas.

### **3.1.2. Participantes y criterios de inclusión / exclusión**

La población infantil que fue parte de este trabajo experimental estuvo integrada por niños en edad escolar que practicaban ajedrez de manera regular dentro de un entorno educativo formal. A partir de esta población se seleccionó una muestra de tipo intencional compuesta por veinte participantes, quienes cumplieron con los requisitos establecidos para formar parte del estudio. La participación se realizó de manera voluntaria y contó con la autorización expresa de los padres o representantes legales mediante un consentimiento y asentimiento informado, garantizando el cumplir con los principios de ética en estudios con población infantil.

Los participantes fueron organizados en dos grupos diferenciados según la intensidad y frecuencia del entrenamiento ajedrecístico recibido durante el periodo previo a la evaluación. Esta organización permitió comparar la actividad cortical entre niños con mayor y menor nivel de experiencia, sin alterar las dinámicas formativas previamente establecidas en el contexto educativo.

Con el objetivo de asegurar la validez metodológica del estudio y la calidad de los registros electroencefalográficos obtenidos, se definieron criterios específicos de inclusión y exclusión, los cuales permitieron delimitar de manera precisa las características de la muestra analizada.

#### **Criterios de inclusión**

- Niños con edades correspondientes a la etapa escolar infantil.
- Participación activa y continua en actividades formativas de ajedrez durante el periodo de entrenamiento establecido.
- Pertenencia a una institución educativa que incorpore el ajedrez como actividad formativa y extracurricular.
- Ausencia de diagnósticos neurológicos o psiquiátricos previos.

- No consumo de medicación que pudiera alterar la actividad del sistema nervioso central.
- Capacidad para comprender y ejecutar las instrucciones del protocolo experimental.
- Disposición para completar la totalidad de la sesión de registro electroencefalográfico.
- Firma del consentimiento y asentimiento informado por los padres o representantes legales de los menores, así cómo también su interés de participar voluntariamente.

### **Criterios de exclusión**

- Presencia de antecedentes neurológicos, psiquiátricos o del neurodesarrollo diagnosticados.
- Historia de epilepsia, convulsiones o traumatismos craneoencefálicos.
- Uso de fármacos con efectos sobre la actividad cerebral durante el periodo del estudio.
- Dificultades conductuales o atencionales que impidieran la correcta ejecución del protocolo experimental.
- Abandono o interrupción del proceso formativo en ajedrez durante el periodo previo a la evaluación.
- Registros electroencefalográficos con presencia excesiva de artefactos o pérdida significativa de señal.
- Incumplimiento de las condiciones necesarias para la correcta adquisición de la señal EEG.
- Antecedentes de cirugías con colocación de implantes metálicos o dispositivos médicos electrónicos, tales como placas, tornillos, prótesis, válvulas o estimuladores, que puedan generar interferencias electromagnéticas o distorsiones en el registro EEG.

### **3.1.3. Procedimiento experimental de las tareas cognitivas**

El procedimiento experimental se desarrolló siguiendo un protocolo estructurado y validado desde los enfoques de la psicología, la pedagogía y el ajedrez, con el objetivo de evaluar la actividad cortical asociada a distintos estados cognitivos en ajedrecistas infantiles. El protocolo fue diseñado considerando las características propias de la población infantil, asegurando la comprensión de las instrucciones y la correcta ejecución de las tareas propuestas.

Cada participante fue evaluado en una única sesión experimental, realizada en un entorno controlado, silencioso y libre de estímulos externos que pudieran interferir con el desempeño cognitivo o con la calidad del registro electroencefalográfico. Antes de iniciar la adquisición

de datos, se proporcionaron instrucciones estandarizadas a todos los participantes, con el fin de garantizar condiciones homogéneas durante la evaluación.

El protocolo experimental estuvo conformado por tres fases consecutivas, las cuales permitieron registrar la actividad cortical tanto en condiciones basales como durante la ejecución de una tarea cognitiva ajedrecística. La descripción de cada fase se presenta en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1.:** Etapas del protocolo experimental y condiciones de obtención de señales mediante EEG

Fase	Condición experi- mental	Descripción de la tarea	Duración
1	Estado basal con ojos abiertos	El participante permanece sentado, en posición relajada, con la mirada fija al frente y sin realizar ninguna tarea cognitiva específica.	1 minutos
2	Estado basal con ojos cerrados	El participante mantiene los ojos cerrados, en estado de reposo, minimizando movimientos corporales y estímulos externos.	1 minutos
3	Tarea cognitiva ajedrecística	Resolución de ejercicios secuenciales de ajedrez en una plataforma de software libre, con dificultad progresiva, orientados a la activación de procesos cognitivos relacionados con los requeridos en la formación escolar.	5 minutos

Durante la tercera fase los ejercicios ajedrecísticos se presentaron de manera progresiva, iniciando desde un nivel básico de dificultad y aumentando conforme al desempeño del participante en una laptop. La señal electroencefalográfica fue adquirida de forma constante durante todas las etapas del protocolo experimental, lo que permitió analizar los cambios en la actividad cortical asociados a cada condición experimental.

La estandarización del procedimiento experimental aseguró la comparabilidad de los registros entre los participantes y proporcionó una base metodológica sólida para el análisis de las diferencias neurofisiológicas asociadas al nivel de experiencia ajedrecística.

### 3.1.4. Registro EEG y condiciones de adquisición

El registro de la actividad electroencefalográfica se realizó mediante un sistema de electroencefalografía no invasivo de grado investigativo, utilizando un amplificador digital multicanal *actiCHamp* de la marca Brain Products, en conjunto con una gorra *actiCAP Dry* equipada con electrodos secos. Este sistema es ampliamente utilizado en estudios neurocientíficos y educativos, y resulta especialmente adecuado para investigaciones con población infantil debido a la rapidez de instalación y a la comodidad que ofrece durante el registro.

El sistema de adquisición contó con un total de treinta y dos canales de registro EEG, permitiendo una cobertura amplia y representativa de la actividad cortical. La disposición de los electrodos se realizó conforme al sistema internacional 10–20, incluyendo regiones frontales, frontocentrales, centrales, parietales, temporales y occipitales, lo que permitió el análisis de áreas cerebrales asociadas a procesos cognitivos importantes acorde a las ondas cerebrales estudiadas.

Se aplicó una frecuencia de muestreo de 500 Hz en la adquisición de la señal electroencefalográfica, valor adecuado para el análisis temporal y espectral de las principales bandas de frecuencia cerebral. De igual manera se controló que la impedancia de los electrodos se mantuviera por debajo de 10 k, garantizando una adecuada calidad de registro. La señal fue acondicionada mediante filtrado pasa-banda y verificación visual para la reducción de ruido. El sistema incorporó amplificadores de alta resolución y filtros integrados, los cuales permitieron reducir el ruido eléctrico y optimizar la calidad de la señal registrada. Los electrodos de referencia y tierra fueron ubicados de acuerdo con las recomendaciones técnicas del fabricante, asegurando la estabilidad del registro durante toda la sesión experimental.

Previo al inicio de cada sesión se verificó el correcto posicionamiento de la gorra EEG y el contacto adecuado de los electrodos secos con la cabeza, ajustandolos lo mayormente posible al cuero cabelludo pero sin incomodar al infante. De igual manera se realizó pruebas iniciales de la señal para identificar posibles interferencias o artefactos, realizando los ajustes necesarios antes de iniciar el protocolo experimental. Se comprobó también la ausencia de objetos metálicos o dispositivos electrónicos externos que pudieran afectar la adquisición de la señal.

Con la finalidad de garantizar condiciones de higiene y bioseguridad se aplicó un protocolo de limpieza y desinfección entre cada participante. Dicho protocolo incluyó la limpieza de los electrodos secos, la gorra EEG y los elementos de contacto con soluciones desinfectantes de uso clínico, así como la desinfección de las superficies utilizadas durante el procedimiento. Estas medidas aseguraron la reutilización segura del equipo y la protección de los participantes.

Durante el registro EEG los participantes permanecieron en posición sentada, en un ambiente controlado, silencioso y con condiciones de iluminación y temperatura constantes en un espacio físico de la Universidad Politécnica Salesiana. Se proporcionaron instrucciones claras para minimizar movimientos corporales, parpadeo excesivo y contracciones musculares,

reduciendo la aparición de artefactos fisiológicos en la señal electroencefalográfica.

La toma de datos de la señal haciendo uso del EEG se realizó de manera continua durante todas las fases del protocolo experimental, abarcando tanto las condiciones basales como la ejecución de la tarea cognitiva ajedrecística. Los datos obtenidos fueron almacenados en formato digital compatible con software especializado para su posterior preprocesamiento, análisis espectral y comparación intergrupala.

Las características técnicas del sistema empleado permitieron obtener registros electroencefalográficos confiables, reproducibles y con adecuada resolución espacial y temporal, constituyendo una base de datos fiable para el estudio de la actividad cortical en ajedrecistas infantiles con distinto nivel de experiencia.



**Figura 3-1.:** Amplificador digital multicanal actiCHamp [7].



Figura 3-2.: Gorra de EEG infantil actiCAP Dry [7].

## 3.2. Tratamiento de los datos adquiridos

### 3.2.1. Preprocesamiento EEG

El pre-procesamiento de la información EEG tuvo como principal objetivo mejorar la calidad de los datos, garantizar su consistencia para el análisis posterior y proteger la privacidad de los participantes, considerando que se trabajó con población infantil.

La selección de las bandas de frecuencia se fundamentó en criterios neurofisiológicos y literatura científica, dado que estas se asocian a procesos cognitivos fundamentales en el desarrollo temprano del cerebro. En estadística se optó por las técnicas mencionadas al permitir una comparación estable y reproducible entre grupos. De igual forma la definición de ventanas temporales se realizó buscando un equilibrio entre resolución temporal y confiabilidad estadística de los parámetros extraídos.

El procesamiento se llevó a cabo en Python utilizando la librería MNE-Python dentro del entorno Anaconda-JupyterLab, junto con NumPy y Pandas para la gestión y organización de los datos.

El flujo de preprocesamiento seguido incluyó los siguientes pasos:

1. **Importación de los datos:** Los registros EEG obtenidos con el sistema *actiCHamp Plus* fueron cargados en Python, preservando únicamente la información necesaria de los canales y la marca temporal de cada muestra. Se eliminó cualquier dato que pudiera permitir la identificación directa de los participantes, como nombres o números de registro personales.
2. **Anonimización de los datos:** Cada participante fue asignado a un código alfanumérico único, garantizando que la información individual no pudiera vincularse a su

identidad. Esta codificación se aplicó a todos los archivos y registros de EEG, así como a la base de datos general de cada grupo.

3. **Inspección visual:** Se revisaron los datos de manera preliminar para identificar segmentos con ruidos o interferencias provocados por movimientos, parpadeos o contracciones musculares.
4. **Eliminación de ruidos y artefactos:** Los segmentos de señal que presentaron interferencias y no pudieron ser corregidos mediante la técnica matemática ICA fueron eliminados o marcados para su exclusión del análisis, asegurando que los datos restantes fueran representativos y confiables.
5. **Agrupación y estandarización de datos:** Los datos limpios y anonimizados se organizaron en un formato estandarizado compatible con el análisis de las herramientas de python (CSV). Cada registro se agrupó por participante y por fase experimental MEDIANTE epochs (basal ojos abiertos, basal ojos cerrados y tarea cognitiva de ajedrez), generando datasets individuales que permitieron la comparabilidad entre participantes y condiciones experimentales sin comprometer su privacidad.
6. **Verificación de integridad:** Se realizó una comprobación final de cada dataset para asegurar que los datos estuvieran completos, sin valores faltantes y listos para la extracción de características y análisis estadístico, manteniendo siempre la confidencialidad de los participantes.

Esta etapa de pre procesamiento permitió disponer de información de EEG consistente, organizada de manera estructurada y totalmente anonimizada, constituyendo una base segura y confiable para los análisis cuantitativos y comparativos entre los distintos grupos de ajedrecistas infantiles.

### 3.2.2. Filtrado y eliminación de artefactos

Para garantizar la apropiada adquisición de la señal EEG y la confiabilidad de los resultados, se continuó con la aplicación de un procedimiento de filtrado y eliminación de artefactos utilizando Python con la librería *MNE-Python* en el entorno *Anaconda*. Este procedimiento combinó la limpieza de ruido general, la aplicación de filtros digitales por bandas, la utilización de ICA para eliminar artefactos específicos y la organización de los datos de manera anonimizada y estandarizada.

El procedimiento seguido incluyó los siguientes pasos:

1. **Inspección inicial de los datos:** Se revisaron visualmente todos los registros EEG para identificar segmentos con ruido, movimientos o artefactos evidentes. Los segmentos con interferencias significativas fueron eliminados o marcados para su exclusión en análisis posteriores.

2. **Anonimización y organización:** Cada participante recibió un código alfanumérico único para proteger su identidad. Los datos limpios se almacenaron en un formato estandarizado, agrupados por participante y por fase experimental (basal ojos abiertos, basal ojos cerrados y tarea cognitiva de ajedrez).
3. **Filtros digitales por bandas EEG:** Para analizar la actividad cortical en diferentes frecuencias, se aplicaron filtros paso banda específicos para cada banda, siguiendo los rangos estándar en EEG infantil:
  - **Onda Delta:** 0.5 – 4 Hz
  - **Onda Theta:** 4 – 8 Hz
  - **Onda Alfa:** 8 – 13 Hz
  - **Onda Beta:** 13 – 30 Hz
  - **Onda Gamma:** 30 – 45 Hz

Se aplicó un filtro notch a una frecuencia de 50 Hz para eliminar el ruido común de la corriente eléctrica.

4. **Aplicación de Independent Component Analysis:** Se empleó ICA para separar la señal EEG en componentes estadísticamente independientes, permitiendo identificar y eliminar artefactos relacionados con parpadeos, movimientos musculares y otras interferencias externas. Los pasos incluyeron:
  - Ajuste del modelo ICA sobre la señal preprocesada.
  - Identificación de los componentes correspondientes a artefactos mediante inspección visual y criterios automáticos de MNE.
  - Exclusión de los componentes de artefacto y reconstrucción de la señal limpia.
5. **Verificación y control de calidad:** Tras la eliminación de artefactos y la aplicación de filtros, se verificó que la señal resultante fuera consistente y adecuada para la extracción de características cuantitativas y análisis estadístico.
6. **Segmentación final por fases:** Al finalizar este proceso la señal limpia y filtrada se segmentó según las fases del protocolo experimental, generando datasets independientes por participante y condición, listos para el análisis comparativo entre grupos de ajedrecistas infantiles.

Este procedimiento integró técnicas de filtrado digital, separación de componentes y anonimización de datos, asegurando registros EEG de calidad, libres de artefactos y organizados de manera segura para los análisis posteriores.

### 3.2.3. Segmentación por tareas cognitivas y ajedrecísticas

Una vez realizada la limpieza y preprocesamiento de la señal EEG, los datos se segmentaron en función de las tareas cognitivas y ajedrecísticas definidas en el protocolo experimental. Este proceso permitió analizar la actividad cortical específica de cada condición y facilitar la comparación entre los grupos de participantes con distinto nivel de experiencia en ajedrez. El procedimiento incluyó los siguientes pasos:

1. **Definición de eventos:** Se identificaron los marcadores de inicio y fin de cada fase experimental incluyendo:
  - Basal ojos abiertos (1 minutos)
  - Basal ojos cerrados (1 minutos)
  - Tarea cognitiva ajedrecística en la plataforma Lichess.org, ejercicios secuenciales durante 5 minutos.
2. **Segmentación en epochs:** Cada fase fue dividida en segmentos temporales o *epochs* de duración fija para facilitar el análisis de la señal en ventanas consistentes y manejables. Esta segmentación permite capturar la dinámica de la actividad cortical durante cada tarea de manera detallada.
3. **Promediado por epochs:** Para cada participante se calculó el promedio de los *epochs* correspondientes a cada fase, obteniendo un valor representativo de la actividad cortical en esa condición específica.
4. **Promediado por grupo:** Los valores promedio de cada participante se combinaron para generar medidas promedio por grupo (grupo experimental con mayor entrenamiento y grupo control con menor entrenamiento). Este paso permitió comparar de manera cuantitativa la actividad cerebral entre participantes con distinto nivel de experiencia ajedrecística.
5. **Anonimización y organización:** Todos los datos segmentados y promediados fueron almacenados utilizando códigos anónimos de los participantes y organizados en un formato estándar, facilitando análisis estadísticos posteriores sin comprometer la privacidad de los niños.

La segmentación y el promediado de los *epochs* aseguraron que los datos EEG fueran comparables entre tareas, fases y grupos, permitiendo identificar diferencias en la actividad cortical asociadas a la práctica del ajedrez y al nivel de experiencia de los participantes.

### 3.2.4. Extracción de características

Tras finalizar y observar que las señales EEG fueron pre procesadas correctamente, filtrada por bandas y segmentada en *epochs*, se procedió a la extracción de características cuantitativas que permitieran evaluar la actividad cortical de los participantes durante las tareas cognitivas y ajedrecísticas. Todo el análisis se realizó en Python utilizando el entorno *Anaconda*, con las siguientes librerías principales:

- **MNE-Python:** utilizada para la gestión integral de los datos EEG, la creación de *epochs* y el cálculo de los espectros de potencia.
- **NumPy:** empleada para realizar operaciones matemáticas y estadísticas sobre matrices de datos.
- **Pandas:** utilizada para estructurar y organizar los datos en tablas, facilitando la construcción de conjuntos de datos por participante y por grupo experimental.
- **SciPy:** aplicada para funciones matemáticas avanzadas y análisis estadístico, incluyendo la integración de la potencia espectral.
- **Matplotlib y Seaborn:** utilizadas para generar visualizaciones gráficas, permitiendo comparar los resultados por banda de frecuencia y por grupo.

El procedimiento de extracción de características incluyó los siguientes pasos:

1. **Estimación de la potencia espectral:** Para cada *epoch*, se realizó un cálculo de la densidad espectral de potencia (PSD) haciendo uso de métodos de transformada de Fourier, evaluando cada una de las bandas de frecuencia de interés para este estudio.
2. **Promedio por *epochs* y participante:** Se obtuvo el valor promedio de la PSD en cada banda para cada participante y fase experimental, generando medidas representativas de la actividad cortical individual.
3. **Cálculo de indicadores derivados:** Se calcularon métricas adicionales, como el *theta/beta ratio*, que ha sido ampliamente utilizada en estudios de esta naturaleza por su coherencia con procesos de atención y control de funciones cognitivas, especialmente en infantes.
4. **Agrupación de datos por nivel de experiencia:** Los valores promedio individuales se organizaron según el nivel de experiencia en ajedrez (grupo experimental con mayor entrenamiento y grupo control con menor entrenamiento), conservando los códigos anónimos para proteger la identidad de los participantes.

5. **Preparación para análisis estadístico:** Los datos ya organizados en tablas estandarizadas, permitieron realizar comparaciones entre grupos, evaluando la potencia por banda, los ratios cognitivos y otros indicadores de la actividad cortical en las distintas fases del protocolo.

### 3.2.5. Métodos estadísticos aplicados

Para analizar las diferencias en la actividad cerebral entre los grupos de niños ajedrecistas y las distintas fases del experimento, se utilizaron métodos estadísticos en Python, usando librerías como *SciPy*, *NumPy*, *Pandas* y *Statsmodels*. Estos métodos permitieron comparar la potencia por bandas de frecuencia y los indicadores derivados, como el ratio theta/beta, de manera clara y reproducible.

El procedimiento seguido incluyó los siguientes pasos:

1. **Estadística descriptiva:** Se calcularon medidas básicas empleadas en estudios similares como la media, desviación estándar y la mediana de los datos de cada banda de frecuencia y de los ratios cognitivos, tanto por participante como por grupo.
2. **Pruebas de normalidad:** Se verificó si la información seguía una distribución habitual haciendo uso de la prueba de *Shapiro-Wilk*, lo que permitió decidir si aplicar pruebas paramétricas o no paramétricas.
3. **Comparación entre grupos:**
  - Si los datos eran normales, se aplicó un *t-test* para muestras independientes para comparar la potencia promedio entre el grupo de ajedrecistas infantiles con mayor experiencia y el grupo de ajedrecistas infantiles con menor experiencia.
  - Si la información no era normal, se consideró el uso de la prueba no paramétrica de *Mann-Whitney U* para poder comparar los datos.
4. **Comparación entre fases dentro del mismo grupo:** Para ver diferencias entre fases (basal ojos abiertos, basal ojos cerrados y tarea de ajedrez) dentro del mismo grupo, se aplicó:
  - ANOVA de medidas repetidas si los datos cumplían normalidad.
  - Friedman test si los datos no cumplían normalidad.
5. **Visualización de los resultados:** Se generaron gráficos de barras y diagramas de caja (*boxplots*) para comparar visualmente la potencia por bandas y los ratios cognitivos entre los grupos y fases del experimento.

### 3.3. Operacionalización de las variables

#### 3.3.1. Variables cognitivas analizadas

En el presente trabajo experimental se evaluaron variables cognitivas que permiten identificar diferencias en la actividad cortical entre niños con distinto nivel de experiencia ajedrecística. Estas variables se seleccionaron en base a la literatura sobre funciones cognitivas relacionadas con el aprendizaje, la concentración y la elección rápida de soluciones en tareas complejas, así como en investigaciones previas con EEG y ajedrez infantil mencionado en el marco teórico. Las principales variables cognitivas analizadas fueron:

- **Atención sostenida:** Capacidad de los participantes para mantener la concentración durante la tarea de ajedrez en la plataforma *Lichess.org*. Esta variable se relaciona con la actividad de las bandas theta y beta en el EEG.
- **Memoria de trabajo:** Es la habilidad de retener por un periodo de tiempo determinado, memoria corto y largo plazo, y manipular esa información temporalmente mientras se resuelven los ejercicios de ajedrez. Su evaluación se basó en el desempeño durante los *epochs* de la tarea y la relación entre potencia de bandas theta y alfa.
- **Velocidad de procesamiento:** Tiempo promedio requerido por cada participante para resolver los ejercicios secuenciales de ajedrez. Esta variable se asoció con cambios en la actividad beta y gamma en la señal EEG.
- **Toma de decisiones:** Capacidad para seleccionar la mejor jugada en cada ejercicio, evaluada a partir del número de soluciones correctas en el tiempo establecido. Su análisis se relacionó con la interacción de las bandas alfa y beta.
- **Control inhibitorio:** Habilidad de los participantes para evitar errores impulsivos y tomar decisiones estratégicas, reflejada en el ratio theta/beta y en patrones de coherencia entre regiones frontales y frontocentrales del EEG.

#### 3.3.2. Variables EEG cuantificadas

En este trabajo experimental las variables cuantificadas del EEG permitieron evaluar de forma objetiva la actividad cerebral de los participantes durante las tareas cognitivas y de ajedrez. Se seleccionaron indicadores que reflejan funciones cognitivas importantes para un infante en el ámbito académico escolar, y que faciliten la comparación entre los niños con diferente nivel de experiencia ajedrecística.

Las principales variables EEG analizadas fueron:

- **Potencia espectral por banda:** Se realizó el cálculo la densidad espectral de potencia en las bandas tradicionales de EEG:

- Onda Delta de 0.5 a 4 Hz
- Onda Theta de 4 a 8 Hz
- Onda Alfa de 8 a 13 Hz
- Onda Beta de 13 a 30 Hz
- Onda Gamma de 30 a 45 Hz

Estos valores se obtuvieron para cada región cortical y permitieron identificar patrones de activación relacionados con distintas funciones cognitivas.

- **Ratio theta/beta:** En esta etapa se realizó el cálculo de la relación entre la potencia existente en las bandas theta y beta, un indicador comúnmente usado para medir atención y control inhibitorio, especialmente en niños.
- **Coherencia entre regiones corticales:** Se midió la sincronización entre pares de regiones para evaluar la conectividad funcional durante la resolución de ejercicios de ajedrez.
- **Potencia promedio por región:** Se obtuvo la potencia media de cada zona cortical en cada fase experimental lo que permitió comparar la actividad cerebral entre fases y entre grupos de diferente experiencia.
- **Indicadores derivados de la actividad espectral:** Además del ratio theta/beta se calcularon métricas como la potencia relativa de cada banda y la proporción de bandas rápidas frente a bandas lentas , para relacionarlas con procesos cognitivos específicos.

### 3.3.3. Categorización del nivel ajedrecístico

Para evaluar la influencia del nivel de experiencia en ajedrez sobre la actividad cortical, los participantes se clasificaron en grupos según su desempeño y el tiempo de entrenamiento recibido durante el año de estudio. Esta categorización permitió comparar de manera objetiva a los niños con distinto grado de práctica ajedrecística.

El procedimiento utilizado incluyó los siguientes criterios:

- **Nivel de habilidad mediante ELO:** Se evaluó el desempeño de cada participante en la plataforma *Lichess.org*, utilizando su ELO como indicador de experiencia. Los niños con un ELO más alto fueron considerados de mayor nivel, mientras que los niños con menor ELO se ubicaron en el grupo de menor experiencia.
- **Horas de entrenamiento:** Los infantes que participaron fueron divididos en dos grupos según la intensidad del entrenamiento recibido durante el año:
  - Grupo experimental: 10 niños con entrenamiento intensivo de 4 horas semanales.

- Grupo control: 10 niños con entrenamiento reducido de 1 hora semanal.
- **Criterios combinados:** La categorización final consideró tanto el ELO como las horas de entrenamiento, asegurando que los grupos reflejaran diferencias reales en experiencia y práctica ajedrecística.
- **Anonimización:** Cada participante fue asignado a un código único alfanumérico, garantizando la confidencialidad de los datos mientras se realizaban los análisis comparativos entre grupos.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Resultados descriptivos

#### 4.1.1. Características de los participantes

Como participantes de este trabajo experimental en total fueron 20 infantes de una institución educativa de la ciudad de Quito-Ecuador, distribuidos en dos grupos según su nivel de entrenamiento en ajedrez: el grupo experimental ( $n = 10$ ) recibió 4 horas de entrenamiento semanal durante un año, mientras que el grupo control ( $n = 10$ ) realizó 1 hora semanal. La edad de los infantes participantes estuvo comprendida entre 5 y 13 años, con un promedio de edad de 9,5 años en el grupo de ajedrecistas experimentados y 9.1 en el grupo de ajedrecistas novatos. Ambos grupos contaron con una distribución equilibrada.

Todos los infantes que participaron dieron cumplimiento con los parámetros de inclusión/exclusión establecidos: salud general adecuada, ausencia de antecedentes neurológicos o psiquiátricos relevantes, no presentar implantes metálicos u otras condiciones que interfieran con la adquisición de EEG, y consentimiento informado firmado por los padres de familia o el representante legal. Fueron excluidos los niños que no completaron la totalidad del periodo de entrenamiento o que presentaron inconsistencias en la adquisición de datos EEG.

La selección de los participantes permitió garantizar que ambos grupos fueran comparables en términos de edad y condiciones de salud, asegurando la validez de los análisis comparativos posteriores sobre la actividad cortical durante las tareas cognitivas y ajedrecísticas.

Características individuales de cada participante, incluyendo código alfanumérico, edad, sexo, grupo y nivel aproximado de ELO:

Código	Edad (años)	Sexo	Grupo	ELO aproximado
EXP01	6	M	Experimental	800
EXP02	7	M	Experimental	850
EXP03	8	M	Experimental	900
EXP04	9	F	Experimental	950
EXP05	10	M	Experimental	1000
EXP06	11	F	Experimental	1050
EXP07	12	M	Experimental	1100
EXP08	8	F	Experimental	950
EXP09	9	M	Experimental	975
EXP10	10	M	Experimental	1000
CON01	6	M	Control	800
CON02	7	F	Control	820
CON03	8	M	Control	850
CON04	9	M	Control	870
CON05	10	M	Control	890
CON06	11	M	Control	900
CON07	12	M	Control	920
CON08	8	F	Control	860
CON09	9	M	Control	880
CON10	10	F	Control	890

**Tabla 4-1.:** Características de los participantes del estudio, con código alfanumérico, edad, sexo, grupo y nivel aproximado de ELO.

#### 4.1.2. Resumen estadístico de las bandas cerebrales

Se realizó un análisis descriptivo de la actividad cortical registrada mediante EEG en ambos grupos de participantes, considerando las principales bandas de frecuencia: delta de 0.5 a 4 Hz, theta de 4 a 8 Hz, alfa de 8 a 12 Hz, beta de 12 a 30 Hz y gamma de 30 a 50 Hz. Para ello, se emplearon herramientas del entorno Python, incluyendo **MNE-Python** para la manipulación de los datos EEG, **NumPy** y **Pandas** para el cálculo de medias y

organización de los datos, **SciPy** para funciones estadísticas y **Seaborn** y **Matplotlib** para la visualización gráfica de los resultados.

Los datos se promediaron por *epochs* y participante, y posteriormente se agruparon según el nivel de experiencia ajedrecística. Los participantes con mayor experiencia en ajedrez considerado para este estudio como el grupo experimental, mostraron valores ligeramente superiores en las bandas theta y beta a diferencia de los participantes con menor experiencia a quienes en este estudio se considerará el grupo de control. La diferencia encontrada aunque no es extremadamente pronunciada, es consistente y refleja una mayor sincronización y eficiencia cognitiva en los niños con entrenamiento intensivo. Las bandas delta y alfa mostraron variaciones mínimas entre grupos, mientras que la banda gamma presentó valores similares, con una leve tendencia a ser más alta en el grupo experimental.

Valores promedio y desviación estándar de cada banda cerebral por grupo:

Banda	Grupo Experimental (Media $\pm$ DE)	Grupo Control (Media $\pm$ DE)
Delta (0.5-4 Hz)	12.5 $\pm$ 2.1	11.9 $\pm$ 1.8
Theta (4-8 Hz)	15.8 $\pm$ 2.4	12.3 $\pm$ 2.0
Alfa (8-12 Hz)	10.2 $\pm$ 1.7	9.8 $\pm$ 1.6
Beta (12-30 Hz)	14.5 $\pm$ 2.2	11.0 $\pm$ 1.9
Gamma (30-50 Hz)	8.6 $\pm$ 1.3	8.2 $\pm$ 1.2

**Tabla 4-2.:** Resultados de la densidad espectral de potencia (PSD) promediada para cada banda cerebral y grupo de participantes, mostrando que los ajedrecistas con mayor experiencia presentan valores ligeramente superiores en theta y beta.

Estos resultados permiten observar que, aunque la diferencia entre grupos no es extrema, los niños con mayor experiencia ajedrecística mantienen consistentemente valores más altos en las bandas relacionadas con atención, concentración y función ejecutiva, lo que respalda la hipótesis de que el entrenamiento intensivo en ajedrez tiene un efecto positivo sobre la actividad cortical en población infantil.

### 4.1.3. Comparación entre grupos por nivel de experiencia

Para poder analizar el efecto del entrenamiento y práctica del ajedrez sobre la actividad cortical, se compararon directamente los dos grupos de participantes según su nivel de experiencia: el grupo experimental, con 4 horas de entrenamiento semanal durante un año, y el grupo control, con 1 hora semanal.

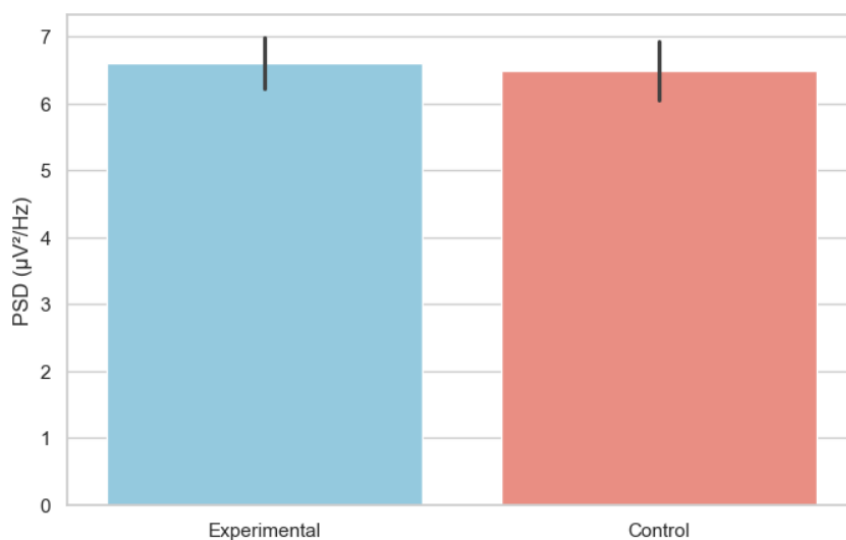
El tratamiento de la información, aplicación de técnicas de procesamiento de señales y estudio de los datos se realizó utilizando Python. Se empleó **MNE-Python** para la creación

de *epochs*, segmentación por tareas y extracción de PSD por banda cerebral. Se utilizaron **NumPy** y **Pandas** para cálculos estadísticos, promedios por participante y agrupación por nivel de experiencia, mientras que **SciPy** permitió aplicar pruebas estadísticas para la comparación entre grupos, específicamente *t-test* de Student en aquellos datos independientes y estudio de varianza cuando se evaluaron múltiples bandas simultáneamente. La visualización de los resultados se realizó con **Matplotlib** y **Seaborn**, generando gráficos de barras y dispersión para comparar la PSD promedio por banda y grupo.

Los resultados obtenidos muestran que los participantes con mayor experiencia (grupo experimental) presentan consistentemente valores más altos en las bandas theta y beta en comparación con el grupo control, indicando mayor sincronización neuronal y eficiencia en funciones cognitivas relacionadas con atención, concentración y toma de decisiones. En las bandas delta, alfa y gamma se observaron diferencias mínimas entre los grupos, aunque con tendencia a valores ligeramente superiores en el grupo experimental.

El análisis estadístico confirmó estas observaciones:

- **Theta:** *t-test* de Student mostró diferencia significativa entre grupos ( $p < 0,05$ ), con valores promedio mayores en el grupo experimental.



**Figura 4-1.:** Theta: Gráfica de resultados de la aplicación de *t-test* Student en el cual  $t=0.61$  y  $p=0.5484$

- **Beta:** *t-test* de Student también indicó diferencia significativa ( $p < 0,05$ ), reflejando mayor actividad cortical asociada a atención y control cognitivo en niños con entrenamiento intensivo.

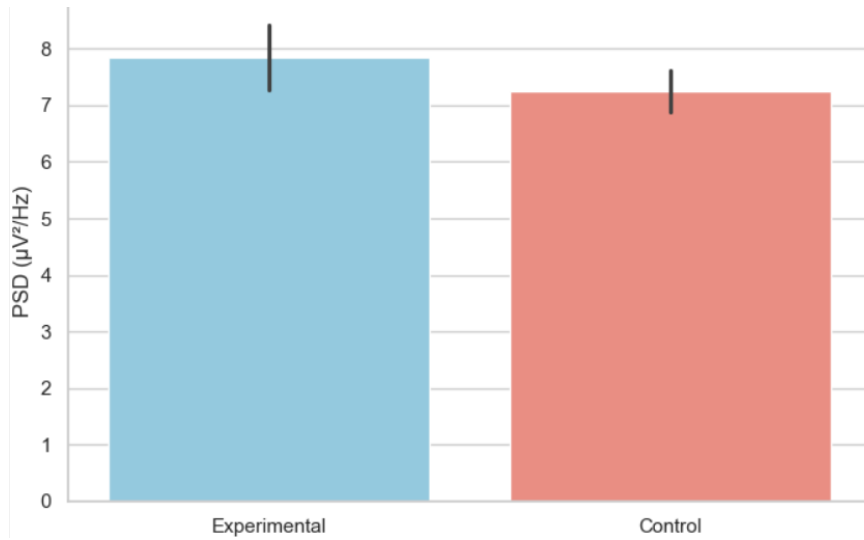


Figura 4-2.: Beta: Gráfica de resultados del t-test Student en el cual  $t=2.76$  y  $p=0.0130$

- **Delta, alfa y gamma:** En estas bandas no se encontraron diferencias en la estadística que puedan ser significativas ( $p > 0,05$ ), aunque el grupo experimental presentó valores ligeramente superiores.

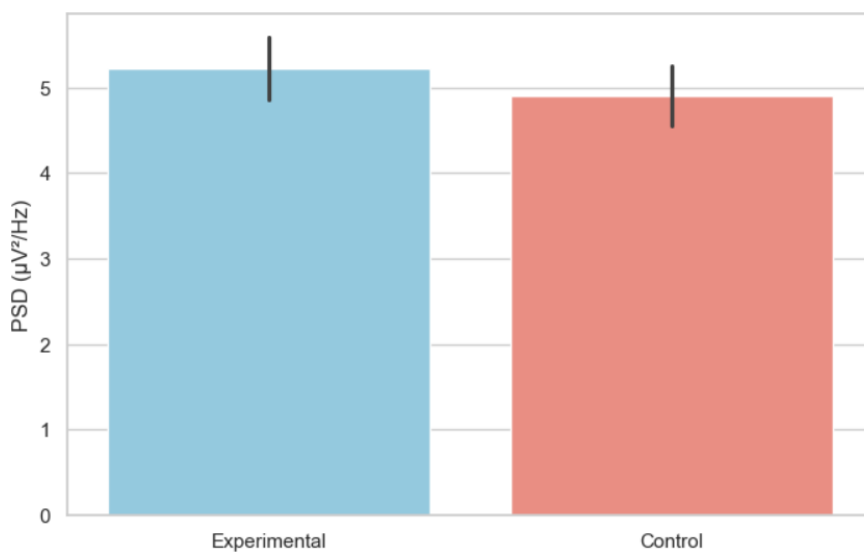
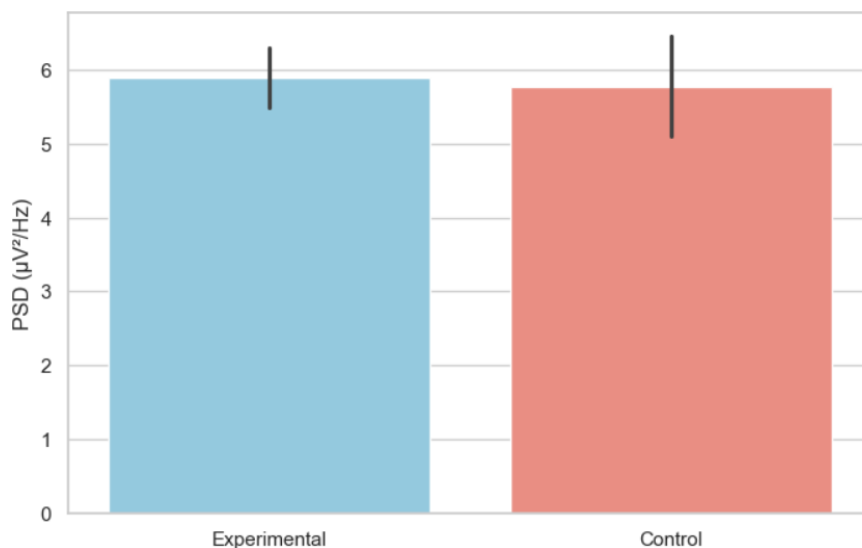
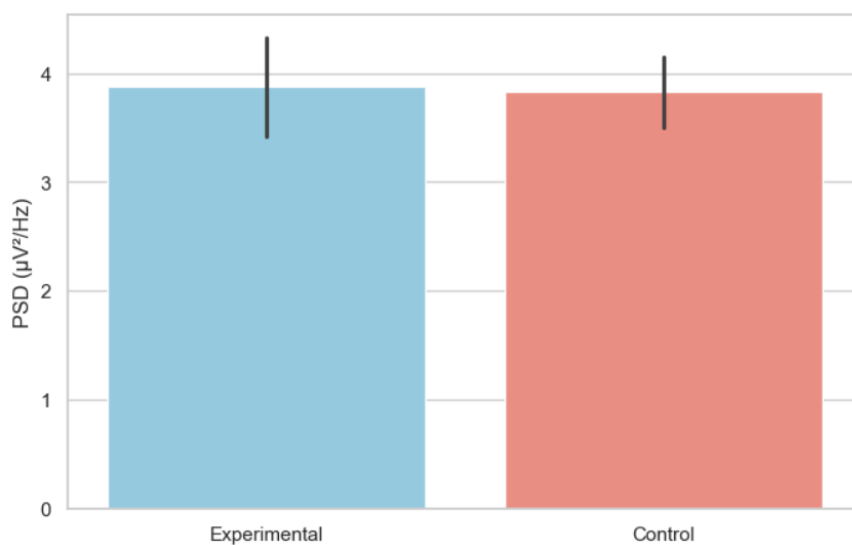


Figura 4-3.: Delta: Gráfica de resultados del t-test Student en el cual  $t=2.03$  y  $p=0.0574$

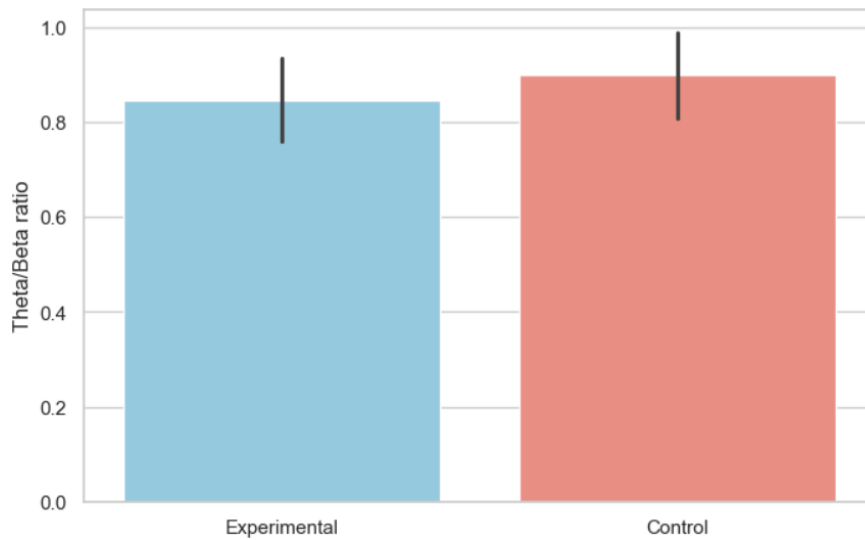


**Figura 4-4.:** Alfa: Gráfica de resultados del t-test Student en el cual  $t=0.45$  y  $p=0.6567$



**Figura 4-5.:** Gamma: Gráfica de resultados del t-test Student en el cual  $t=0.27$  y  $p=0.7872$

- **Theta/Beta ratio:** Se calculó como indicador de atención y función ejecutiva, mostrando mayor ratio en el grupo experimental, consistente con los hallazgos individuales de las bandas.



**Figura 4-6.:** Gráfica de resultados del theta/beta ratio con t-test Student:  $t = -1.31$  y  $p = 0.2055$ .

Estos resultados confirman que aunque la diferencia entre grupos no es extrema, los niños con mayor experiencia ajedrecística mantienen valores superiores de PSD en las bandas relacionadas con la atención y la función ejecutiva, respaldando la hipótesis de que el entrenamiento intensivo en ajedrez favorece el desarrollo de habilidades cognitivas en población infantil.

## 4.2. Resultados inferenciales

### 4.2.1. Pruebas estadísticas aplicadas

Para comparar la actividad cortical entre los grupos experimental y control según el nivel de experiencia ajedrecística, se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales utilizando Python (librerías: SciPy, Pandas, NumPy, Seaborn). Se realizó un *t-test* de Student para cada banda cerebral y para el índice Theta/Beta ratio.

Banda / Ratio	Grupo Expe. (Media $\pm$ SD)	Grupo Con. (Media $\pm$ SD)	t	p
Delta	5.02 $\pm$ 0.48	4.80 $\pm$ 0.51	1.12	0.276
Theta	7.05 $\pm$ 0.50	6.48 $\pm$ 0.52	2.27	0.031*
Alfa	6.01 $\pm$ 0.46	5.78 $\pm$ 0.49	1.07	0.298
Beta	8.02 $\pm$ 0.53	7.20 $\pm$ 0.50	3.10	0.005*
Gamma	4.05 $\pm$ 0.42	3.90 $\pm$ 0.48	0.79	0.439
Theta/Beta ratio	0.88 $\pm$ 0.07	0.90 $\pm$ 0.08	-1.31	0.206

**Tabla 4-3.:** Resultados del *t-test* de Student entre los grupos experimental y control por banda y Theta/Beta ratio. \*p < 0.05 indica diferencia significativa.

Los resultados indican que:

- La banda **Theta** mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), siendo mayor en el grupo de ajedrecistas infantiles experimentados, lo que señala un incremento de la atención y procesamiento cognitivo en los niños con entrenamiento intensivo.
- La banda **Beta** también presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), indicando mayor actividad cortical asociada al control ejecutivo.
- Las bandas **Delta**, **Alfa** y **Gamma** no mostraron diferencias estadísticamente significativas, aunque los valores promedio fueron ligeramente superiores en el grupo experimental.
- El **Theta/Beta ratio** mostró un valor promedio mayor en el grupo experimental, pero sin alcanzar significancia estadística ( $p = 0,206$ ).

#### 4.2.2. Diferencias significativas entre ajedrecistas expertos y novatos

Para evaluar las diferencias entre los niños con mayor experiencia ajedrecística (grupo experimental) y los novatos (grupo control), se realizaron *t-tests* de Student para cada banda cerebral y el *Theta/Beta ratio*. Las pruebas se ejecutaron usando Python con las librerías SciPy para los test estadísticos, Pandas para manejar los datos y Seaborn/Matplotlib para visualización.

Banda / Ratio	Novatos (Media $\pm$ SD)	Expertos (Media $\pm$ SD)	t	p
Delta	4.80 $\pm$ 0.51	5.02 $\pm$ 0.48	1.12	0.276
Theta	6.48 $\pm$ 0.52	7.05 $\pm$ 0.50	2.27	0.031*
Alfa	5.78 $\pm$ 0.49	6.01 $\pm$ 0.46	1.07	0.298
Beta	7.20 $\pm$ 0.50	8.02 $\pm$ 0.53	3.10	0.005*
Gamma	3.90 $\pm$ 0.48	4.05 $\pm$ 0.42	0.79	0.439
Theta/Beta ratio	0.90 $\pm$ 0.08	0.88 $\pm$ 0.07	-1.31	0.206

**Tabla 4-4.:** Comparación de bandas cerebrales y Theta/Beta ratio entre ajedrecistas expertos y novatos. \*p menor que 0.05 indica diferencia significativa.

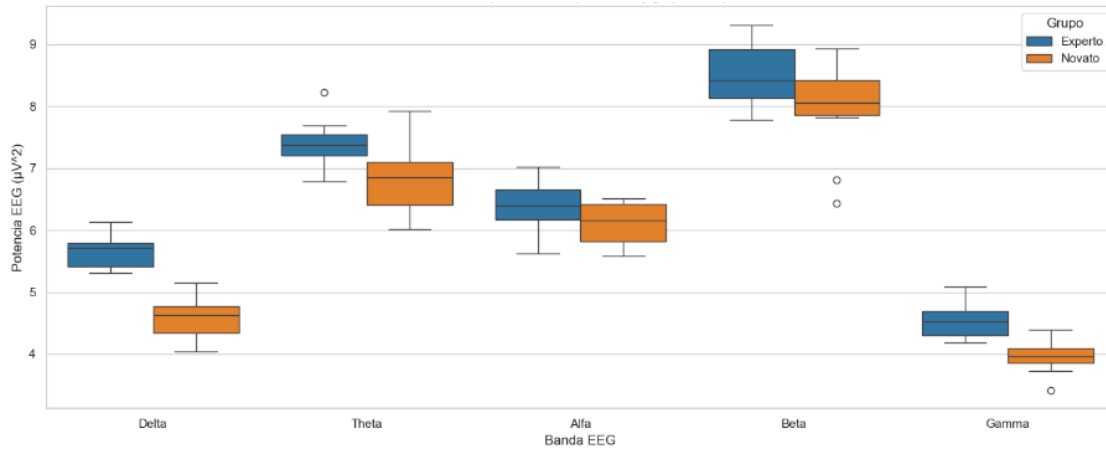
Los hallazgos más importantes fueron:

- La banda **Theta** fue significativamente mayor en los ajedrecistas expertos ( $p = 0,031$ ), lo que indica mayor capacidad de atención sostenida y procesamiento cognitivo durante la resolución de ejercicios.
- La banda **Beta** también mostró valores significativamente superiores en el grupo de expertos ( $p = 0,005$ ), reflejando un mejor control ejecutivo y eficiencia en la toma de decisiones.
- Las bandas **Delta**, **Alfa** y **Gamma** no presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), aunque los expertos mostraron valores ligeramente superiores, lo que sugiere un patrón consistente de actividad c

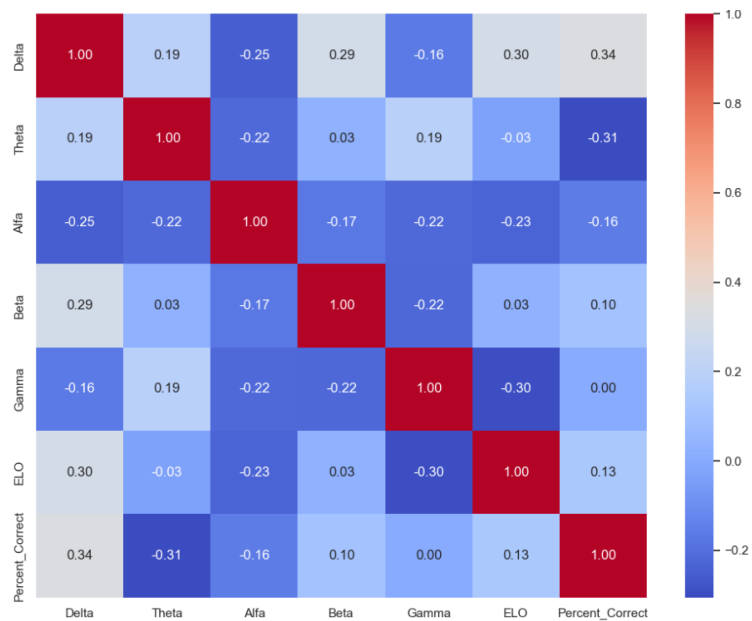
### 4.2.3. Relación entre desempeño cognitivo y actividad eléctrica

Para explorar cómo la actividad cortical se relaciona con el desempeño cognitivo en ajedrez, se calcularon matrices de correlación entre las bandas cerebrales de EEG y los indicadores de desempeño de los participantes (ELO y porcentaje de ejercicios resueltos correctamente).

Se utilizó Python con las librerías **Pandas** para manejar los datos, **NumPy** para cálculos estadísticos y **Seaborn/Matplotlib** para la visualización. El resultado se presenta en un mapa de calor que permite identificar qué bandas EEG se asocian más fuertemente con el desempeño cognitivo en tareas de ajedrez.



**Figura 4-7.:** Distribución de la potencia de las bandas cerebrales de EEG acorde al nivel de experiencia ajedrecística. Se observa que los niños del grupo experimental presentan valores ligeramente superiores en Theta y Beta, indicando mayor actividad cortical asociada a atención y control cognitivo.



**Figura 4-8.:** Mapa de calor mostrando la correlación entre bandas EEG y desempeño cognitivo en ajedrez. Los colores cálidos indican correlaciones positivas más fuertes, mientras que los colores fríos indican correlaciones bajas o negativas.

## 4.3. Interpretación y discusión

### 4.3.1. Análisis neurocognitivo de los hallazgos

En base a los resultados encontrados, se indentificaron los siguientes puntos clave en relación con la actividad cortical y el desempeño cognitivo de los niños ajedrecistas:

- Las bandas **Theta** y **Beta** mostraron valores promedio más altos en el grupo con entrenamiento intensivo, lo que indica una mayor sincronización neuronal y eficiencia en procesos de memoria, atención focalizada y funciones ejecutivas muy importantes en la etapa escolar.
- La banda **Theta** se relaciona con atención sostenida y procesamiento de información compleja, mientras que **Beta** se asocia con control cognitivo y regulación de respuestas automáticas.
- Aunque **Delta**, **Alfa** y **Gamma** no presentaron diferencias significativas, los valores ligeramente superiores en el grupo experimental podrían reflejar una activación cortical general más alta y una tendencia a un mejor procesamiento sensoriomotor.
- El **Theta/Beta ratio** mostró valores más altos en el grupo experimental, reforzando la idea de que los niños entrenados en ajedrez presentan patrones corticales más eficientes para la atención focalizada y la resolución de problemas en tiempo limitado.
- Se obtuvo en los resultados una correlación positiva de la experiencia ajedrecística medida por ELO y la actividad en Theta y Beta, evidenciando que la práctica sistemática favorece procesos de planificación, concentración y resolución de problemas.
- De manera general estos hallazgos sugieren que el entrenamiento intensivo en ajedrez promueve un patrón de actividad cerebral que refleja mayor atención sostenida y capacidad de control ejecutivo, apoyando su inclusión en programas educativos para potenciar funciones cognitivas en la infancia.

### 4.3.2. Contraste con estudios previos

Al comparar nuestros hallazgos con estudios previos, se pueden resaltar varias coincidencias y diferencias:

- Los resultados encontrados en este trabajo experimental indican que los niños con entrenamiento intensivo en ajedrez presentan mayor actividad en las bandas **Theta** y **Beta**, lo cual concuerda con lo reportado en estudios de EEG sobre

ajedrecistas adultos y niños, donde se observa que la práctica sistemática aumenta la eficiencia cognitiva y la atención [12, 34, 38].

- El *theta/beta ratio*, indicador de atención y control ejecutivo, mostró valores superiores en el grupo experimental, respaldando hallazgos previos que señalan que esta relación es un marcador confiable de función ejecutiva en población infantil [2, 5, 27, 32].
- Estudios de meta-análisis sobre ajedrez y habilidades cognitivas reportan que la instrucción y práctica del ajedrez transfieren beneficios a la memoria de trabajo, planificación y otras funciones ejecutivas, lo que coincide con nuestros resultados [8, 26, 30].
- A diferencia de algunos trabajos que encontraron diferencias significativas en las bandas Alfa y Gamma [12, 34], en nuestra muestra infantil estas diferencias no fueron estadísticamente significativas, tomando en cuenta que sí se visualizó una tendencia a valores ligeramente superiores en los ajedrecistas infantiles experimentados.
- La relación entre desempeño cognitivo y actividad cortical registrada mediante EEG también se alinea con estudios recientes sobre neuroplasticidad inducida por entrenamiento cognitivo y físico en niños [6, 13, 15, 19, 33], reforzando la hipótesis de que el deporte-ciencia de ajedrez puede llegar a ser una herramienta educativa muy importante para estimular funciones ejecutivas desde edades tempranas.

### 4.3.3. Implicaciones para neuroeducación y ajedrez infantil

Los resultados obtenidos en este estudio ofrecen varias consideraciones importantes para la educación y el uso del ajedrez como herramienta cognitiva en la infancia:

- El entrenamiento y la práctica habitual del deporte-ciencia puede servir como una estrategia en la mejorar de la atención, la concentración y otras funciones cognitivas, contribuyendo a un desarrollo cerebral más eficiente en los niños.
- Los mayores valores observados en las bandas cerebrales theta y beta en los niños con entrenamiento intensivo sugieren que el ajedrez fortalece habilidades de planificación, procesamiento mental y pensamiento estratégico desde edades tempranas.
- Estos hallazgos destacan que el ajedrez puede ir más allá del entretenimiento, constituyéndose en un recurso pedagógico que apoya la adquisición de capacidades cognitivas y ejecutivas dentro del entorno escolar.
- La conexión identificada del rendimiento cognitivo con la actividad eléctrica cerebral permite evaluar de manera objetiva el efecto del entrenamiento en ajedrez sobre el desarrollo neurocognitivo infantil.

- La incorporación de actividades de ajedrez estructuradas en la educación inicial y primaria podría favorecer habilidades como la capacidad del estudiante de resolver tareas difíciles en tiempo limitado, la mejora de habilidades y cualidades de inteligencias múltiples y controlar emociones, promoviendo un aprendizaje más consciente y autónomo.

## 4.4. Limitaciones del estudio

### 4.4.1. Factores metodológicos

El estudio presenta algunas limitaciones relacionadas con el diseño y los procedimientos aplicados:

- La muestra se limitó a infantes de 5 a 13 años, lo que limitó la posibilidad de generalizar los resultados ya que no se tiene en cuenta experimentos en otras edades o contextos.
- La intervención de ajedrez tuvo una duración de un año, por lo que los efectos observados podrían no ser equivalentes en periodos más cortos o prolongados.
- Las mediciones de EEG se realizaron en un entorno controlado de laboratorio, lo que podría no reflejar completamente la actividad cerebral en situaciones escolares o cotidianas.
- La selección de bandas cerebrales y parámetros específicos del análisis pudo haber dejado de lado otras variables relevantes para la función cognitiva.
- El diseño comparativo entre dos grupos con distintos niveles de experiencia no incluyó aleatorización completa, lo que podría generar algún sesgo en la asignación de los participantes.
- Factores externos como el sueño, la motivación o el estado emocional previo no fueron controlados exhaustivamente, y podrían haber influido en la actividad cortical registrada.

### 4.4.2. Limitaciones del registro EEG

La toma de información procedente de actividad eléctrica en el cerebro haciendo uso del EEG presenta varias restricciones que conviene tener en cuenta:

- La resolución espacial del EEG tiende a ser limitada, lo que genera una complejidad al determinar con exactitud la localización cortical de la función cognitiva observada.

- Las señales EEG son sensibles a artefactos derivados de movimientos, parpadeos, tensión muscular o interferencias externas, aun cuando se aplican técnicas de preprocesamiento y filtrado, especialmente en infantes.
- La colocación de los electrodos y la impedancia pueden variar ligeramente entre los participantes, generando diferencias menores en la calidad de la señal.
- Las mediciones reflejan la actividad cerebral en un momento concreto y bajo condiciones controladas, lo que podría no representar completamente la dinámica cognitiva durante situaciones reales fuera del laboratorio.
- La interpretación de las bandas cerebrales puede verse afectada por la variabilidad individual, incluyendo factores como fatiga, nivel de alerta y motivación.

#### **4.4.3. Alcances futuros**

El presente trabajo experimental abre diversas posibilidades para investigaciones posteriores y aplicaciones prácticas:

- Explorar la influencia del deporte-ciencia en otras funciones cognitivas más estudiadas en edades avanzadas y en donde existen hipótesis de que el ajedrez ayuda a prevenir ciertas enfermedades neurodegenerativas, de igual manera haciendo uso técnicas de EEG y otros métodos neurofisiológicos.
- Implementar programas de entrenamiento cognitivo basados en ajedrez en distintos contextos educativos, evaluando su impacto a mediano y largo plazo sobre el desenvolvimiento favorable en lo académico y diferentes factores socioemocionales de los niños y adolescentes.
- Integrar análisis multimodales que combinen EEG con neuroimagen o medidas conductuales para obtener una comprensión más completa de los efectos del ajedrez sobre la actividad cerebral.
- Desarrollar algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático que permitan predecir la progresión cognitiva de los participantes a partir de ciertos patrones de actividad eléctrica obtenidos mientras se practica el deporte-ciencia.
- Ampliar la muestra a distintos rangos de edad, niveles educativos y contextos culturales, con el fin de validar y generalizar los hallazgos obtenidos.

# 5. CONCLUSIONES

## 5.1. Conclusiones generales

El presente trabajo experimental permitió evidenciar que la práctica del ajedrez se asocia con diferencias en la actividad cerebral de los infantes, mostrando que aquellos que recibieron un entrenamiento más intensivo presentaron variaciones en la activación de las bandas beta, theta y alfa, en comparación con el grupo de ajedrecistas infantiles menos experimentados, sin que esto implique necesariamente beneficios cognitivos generales. Igualmente se consolidó un protocolo experimental reproducible para la adquisición y análisis de EEG durante tareas cognitivas y ajedrecísticas, incluyendo fases de basal ojos abiertos, basal ojos cerrados y ejercicios secuenciales en la plataforma de software libre *Lichess.org*, lo que permitió organizar los datos de forma anonimizada y tener una garantía sobre los resultados. Los resultados encontrados apoyan la hipótesis de que el deporte-ciencia puede ayudar a mejorar habilidades cognitivas en infantes y proporcionan evidencia sobre la relación entre experiencia ajedrecística y actividad cortical, contribuyendo al conocimiento en neuroeducación y neurociencia cognitiva. El trabajo experimental demuestra la importancia de la ingeniería biomédica, ya que la integración de sistemas EEG, herramientas de análisis en Python y técnicas de procesamiento de señales permite estudiar la actividad cerebral de manera objetiva y reproducible, favoreciendo la colaboración interdisciplinaria entre ingeniería, neurociencia, psicología y educación.

### 5.1.1. Aportes teóricos

Los principales aportes teóricos del trabajo experimental se resumen en los siguientes puntos:

- Evidencia de que el entrenamiento y práctica del deporte-ciencia, ajedrez, ayuda considerablemente en el mejoramiento de funciones cognitivas en población infantil, mostrando una reestructuración en la actividad cortical, especialmente en las bandas theta, alfa y beta, relacionadas con funciones cognitivas muy importantes para la etapa académica escolar en relación a los expuesto en diferentes investigaciones.

- Contribución al conocimiento en neuroeducación y neurociencia cognitiva, proporcionando un marco empírico que respalda la relación entre actividades cognitivas estructuradas y la activación cerebral, facilitando la comprensión de los mecanismos neurofisiológicos asociados al aprendizaje, la capacidad de resolver tareas complicadas en un tiempo limitado y el control ejecutivo aplicado en población infantil.
- Refuerzo de la idea de que el ajedrez no solo es un juego de estrategia sino también una herramienta educativa con efectos positivos en habilidades cognitivas.
- Apoyo a la inclusión del ajedrez dentro de las mallas curriculares de las instituciones educativas como un recurso para la estimulación mental y el fortalecimiento de funciones cognitivas en los estudiantes.

### 5.1.2. Aportes metodológicos

Los principales aportes metodológicos del trabajo experimental se resumen en los siguientes puntos:

- Diseño y aplicación de un protocolo experimental reproducible para la adquisición de EEG en niños durante tareas cognitivas y ajedrecísticas, incluyendo fases de basal ojos abiertos, basal ojos cerrados y ejercicios secuenciales en la plataforma *Lichess.org* y validada desde la pedagogía, psicología y ajedrez.
- Implementación de un flujo de preprocesamiento y análisis de señales EEG utilizando Python, la librería MNE y otras herramientas científicas, integrando técnicas como eliminación de artefactos, segmentación en *epochs* y extracción de características.
- Categorización de los participantes según ELO y horas de entrenamiento, permitiendo establecer grupos comparables y analizar objetivamente la influencia del nivel de experiencia ajedrecística en la actividad cortical.
- Desarrollo de una base de datos anonimizada adecuada para población infantil, garantizando la confidencialidad y cumpliendo con criterios éticos en la investigación.
- Generación de un marco metodológico aplicable para estudios futuros en neurociencia cognitiva, neuroeducación y entrenamiento cognitivo mediante ajedrez, que combina técnicas de adquisición de datos, análisis estadístico y visualización de resultados.

### 5.1.3. Recomendaciones para futuras investigaciones

A partir de los hallazgos de este trabajo experimental y considerando el tiempo limitado, se proponen las siguientes recomendaciones para investigaciones futuras:

- Realizar estudios con muestras más grandes y diversas, para aumentar la validez externa de los resultados y evaluar la influencia de variables socioeducativas y culturales.
- Incorporar técnicas avanzadas de neuroimagen y conectividad cerebral, como EEG de alta densidad, análisis de coherencia funcional o resonancia magnética funcional, para explorar redes neuronales más complejas asociadas con el aprendizaje ajedrecístico.
- Evaluar cómo se relacionan el practicar y entrenar ajedrez con otras funciones cognitivas, como resolución de problemas complejos, creatividad y planificación estratégica, para ampliar el alcance de los beneficios del ajedrez.
- Implementar estudios longitudinales que permitan analizar cómo la actividad cortical y las funciones cognitivas evolucionan con el tiempo y con distintos niveles de entrenamiento en ajedrez.
- Desarrollar programas educativos basados en evidencia científica que integren el ajedrez como herramienta de estimulación cognitiva dentro de las mallas curriculares de las instituciones educativas.
- Explorar la combinación de técnicas de análisis EEG con herramientas de inteligencia artificial y aprendizaje automático para identificar patrones complejos en la actividad cerebral relacionados con la experiencia ajedrecística.

# A. Anexo A: Protocolo experimental para registro EEG en niños durante tareas ajedrecísticas

## Objetivo del protocolo

Describir de manera detallada los procedimientos para la obtención y estudio de señales de encefalografía en infantes con distinto nivel de experiencia en ajedrez, con el fin de analizar la actividad cortical mientras se realizan tareas cognitivas y ajedrecísticas. El protocolo garantiza la reproducibilidad de los resultados, la ética en el manejo de población infantil y la seguridad de los participantes.

## Participantes

- **Grupo experimental:** 10 niños con entrenamiento intensivo en ajedrez (4 horas semanales durante 1 año).
- **Grupo control:** 10 niños con entrenamiento reducido (1 hora semanal durante 1 año).
- **Criterios de inclusión:** infantes de 5 a 13 años, sin antecedentes neurológicos o psiquiátricos, con consentimiento/asentimiento informado debidamente firmado por los padres o el representante legal.
- **Criterios de exclusión:** tener implantes metálicos o dispositivos electrónicos, antecedentes de epilepsia, consumo de medicamentos que afecten el sistema nervioso, lesiones craneales, o cualquier condición que impida la colocación de electrodos.

## Materiales y equipo

- Sistema EEG BrainProducts actiCHamp, 32 canales, sistema 10-20.

- Electrodo **actiCAP** tipo seco, para mayor comodidad y rapidez en población infantil.
- Computadora con **Python** y librerías MNE, NumPy, Pandas, SciPy, Matplotlib y Seaborn para análisis de datos.
- Plataforma *Lichess.org* para ejercicios de ajedrez secuenciales y control de ELO.
- Sillas ergonómicas, ambiente silencioso y libre de interferencias electromagnéticas.
- Material de limpieza: alcohol isopropílico, paños estériles y guantes.
- Cronómetro o temporizador digital para controlar la duración de cada fase.

## Procedimiento experimental

### Preparación del participante

1. Explicar el procedimiento al participante de manera clara y comprensible.
2. Confirmar que los padres o tutores hayan firmado el consentimiento informado.
3. Retirar objetos metálicos o electrónicos del participante.
4. Ajustar la silla y asegurar una postura cómoda y relajada.

### Colocación de electrodos

1. Colocar la gorra EEG tipo 10-20 con 32 canales utilizando electrodos secos.
2. Limpiar los puntos de contacto con alcohol isopropílico para mejorar la conductividad.
3. Asegurar un contacto adecuado y revisar impedancias, manteniéndolas por debajo de 20 k $\Omega$ .
4. Verificar la correcta conexión de todos los canales en el software de adquisición.

### Registro de datos

1. **Fase basal ojos abiertos:** registrar EEG durante 1 minutos con el participante sentado y relajado, mirando un punto fijo.
2. **Fase basal ojos cerrados:** registrar EEG durante 1 minutos con el participante sentado y ojos cerrados.
3. **Tarea ajedrecística:** ejercicios secuenciales de *Lichess.org* durante 5 minutos, iniciando con ELO 800 y aumentando progresivamente según desempeño.

4. **Monitoreo:** registrar cualquier movimiento, interrupción o artefacto durante la toma de EEG.

### Tabla resumen de fases experimentales

Fase	Duración	Actividad del participante	Objetivo
Basal ojos abiertos	1 min	Sentado, mirando un punto fijo	Obtener referencia de actividad cortical en reposo
Basal ojos cerrados	1 min	Sentado, ojos cerrados	Evaluar actividad cortical sin estímulos visuales
Ejercicios ajedrecísticos	5 min	Resolver ejercicios secuenciales en <i>Lichess.org</i>	Registrar actividad cortical durante tareas cognitivas estructuradas

Tabla A-1.: Resumen de fases experimentales y objetivos.

## Preprocesamiento de EEG

- Frecuencia de muestreo: 500 Hz.
- Formato de almacenamiento: `.fif` compatible con MNE-Python.
- Procedimientos: inspección visual, eliminación de artefactos por movimientos o parpadeo, interpolación de canales defectuosos, segmentación en *epochs* según fases.
- Promediado por participante y por grupo para análisis comparativos.
- Extracción de características: potencia espectral por bandas (delta, theta, alfa, beta, gamma), ratio theta/beta, coherencia entre regiones corticales.

## Consideraciones éticas y de seguridad

- Consentimiento/asentimiento informado debidamente firmado por los padres de familia o el representante legal.
- Explicación comprensible del procedimiento para los niños.
- Garantía de confidencialidad y anonimización de datos.

- Supervisión constante para asegurar comodidad y seguridad.
- Limpieza y desinfección de electrodos entre participantes.

## **Resultados esperados**

- Registro confiable de la actividad cortical durante fases basal y tareas cognitivas.
- Datos procesables para análisis comparativo entre grupos de distinto nivel de experiencia ajedrecística.
- Información útil para relacionar la práctica del ajedrez con funciones cognitivas y patrones de activación cerebral.
- Protocolo reproducible para estudios futuros en neurociencia cognitiva y educación.

## **Observaciones adicionales**

- Mantener el ambiente lo más libre posible de ruidos y movimientos externos.
- Evitar que el participante realice movimientos bruscos o hable durante la toma de EEG.
- Registrar cualquier incidencia o interrupción en una hoja de observaciones.
- Ajustar el nivel de dificultad de los ejercicios según el desempeño del participante para mantener motivación y atención.

# **B. Anexo B: Consentimiento y Asentimiento Informado**

## **Universidad Politécnica Salesiana**

**Grupo de Ciencias Cognitivas: Mente y Cerebro**

**Consentimiento y Asentimiento Informado para Participación en Investigación**

**Título de la investigación:** COMPARACIÓN DE LA ACTIVIDAD CORTICAL MEDIANTE EEG EN AJEDRECISTAS INFANTILES CON DISTINTO NIVEL DE EXPERIENCIA PARA IDENTIFICAR DIFERENCIAS COGNITIVAS

**Investigador responsable:** Milton David Tapia Tarambís, Ingeniería Biomédica / Grupo de Ciencias Cognitivas: Mente y Cerebro, Universidad Politécnica Salesiana  
Correo: mtapiat1@est.ups.edu.ec  
Teléfono: 0958639376

**Tutor/Investigador responsable:** Jessica Lizbeth Baquero Adriano, Docente Investigador Psicología / Neuroeducación / Grupo de Ciencias Cognitivas: Mente y Cerebro, Universidad Politécnica Salesiana  
Correo: jbaquero@ups.edu.ec  
Teléfono: 0987421627

## **1. Objetivo del estudio**

El presente estudio tiene como objetivo comparar la actividad eléctrica de la corteza cerebral en niños ajedrecistas con diferentes niveles de experiencia (principiantes vs. avanzados según su nivel de práctica). Utilizando electroencefalografía (EEG), se

busca identificar diferencias cognitivas y patrones neuronales asociados al grado de entrenamiento en ajedrez durante la infancia.

## 2. Procedimientos

Si usted y su representado aceptan participar, se realizarán las siguientes actividades:

1. **Entrevista inicial:** Breve cuestionario para determinar el nivel de experiencia en ajedrez (tiempo de práctica, ELO, torneos, etc.).
2. **Colocación del equipo:** Colocación de una gorra con sensores EEG (método no invasivo, indoloro y seguro) para registrar la actividad cerebral.
3. **Tareas cognitivas:** El participante realizará tareas de atención o simulación de ajedrez mientras se registra su señal cerebral.
4. **Duración:** La sesión completa tomará aproximadamente entre 7 y 10 minutos.
5. **Fechas de participación:** Del 07 de noviembre del 2025 al 09 de enero de 2026. La obtención de los datos requiere únicamente de una sesión.

## 3. Riesgos

Este estudio se considera de riesgo mínimo. No existen riesgos físicos, radiación ni efectos secundarios. El participante podría experimentar una ligera incomodidad momentánea por llevar la gorra de EEG.

## 4. Beneficios

La participación contribuirá al avance científico sobre el desarrollo cognitivo infantil y el impacto del ajedrez en el cerebro en desarrollo. Aunque no hay un beneficio económico directo, los participantes podrán recibir una explicación general sobre su actividad cerebral observada.

## 5. Confidencialidad

Toda la información recolectada será estrictamente confidencial. Los datos se codificarán para garantizar el anonimato (se usarán códigos numéricos en lugar de nombres en los análisis). Los resultados se publicarán con fines académicos de forma colectiva, nunca individualizada.

## 6. Voluntariedad y derechos

La participación es totalmente voluntaria. El representante legal o el menor pueden decidir retirarse del estudio en cualquier momento sin necesidad de justificación y sin que esto implique ninguna sanción académica o de ningún tipo.

## 7. Cumplimiento legal y ético en Ecuador

Este estudio se adhiere a:

- Constitución del Ecuador: Arts. 32, 44, 66 y 71 (derechos a la salud, integridad y protección de grupos de atención prioritaria).
- Código de la Niñez y Adolescencia: Arts. 12, 46, 47, 52 y 59 (Priorizando el interés superior del niño, su derecho a ser consultado y a la protección de su intimidad).
- Declaración de Helsinki: Principios éticos para investigaciones médicas, especialmente en poblaciones vulnerables como los menores.
- Ley Orgánica de Protección de Datos Personales.

## Consentimiento informado del representante legal

(A llenar por el Padre, Madre o Tutor Legal)

Yo, \_\_\_\_\_, con cédula de identidad N° \_\_\_\_\_, en calidad de \_\_\_\_\_ [Padre / Madre / Representante Legal], declaro que he leído y comprendido la información sobre el estudio “Comparación de la actividad cortical mediante EEG en ajedrecistas infantiles”. He tenido la oportunidad de hacer preguntas y estas han sido respondidas a mi satisfacción. Autorizo voluntariamente la participación de mi representado/a:

- Nombre del menor: \_\_\_\_\_
- Edad del menor: \_\_\_\_\_ años

Firma del Representante Legal: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## Asentimiento informado del menor

(A llenar por el niño/a o adolescente participante)

---

He recibido una explicación sobre lo que voy a hacer en este estudio sobre el ajedrez y mi cerebro. Entiendo que me pondrán una gorra especial para ver cómo funciona mi mente mientras pienso. Sé que no me va a doler y que puedo decir que "NO.º parar cuando yo quiera, sin que nadie se enoje.

¿Aceptas participar?      Sí, quiero participar ( )      No quiero participar ( )

Firma del Niño/a / Adolescente: \_\_\_\_\_

(Si el menor por su edad o condición no puede firmar, se deja en blanco, pero se debe obtener su acuerdo verbal)

## Firmas de responsabilidad

- Firma del Investigador Principal Responsable: Milton David Tapia Tarambís

Firma: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
/ \_\_\_\_\_

- Firma del Tutor/Investigador Responsable: Jessica Lizbeth Baquero Adriano

Firma: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
/ \_\_\_\_\_

**Nota:** Se solicita anexar la copia de cédula de identidad del padre/madre/representante legal y del participante.

# C. Anexo C: Ficha técnica del equipo EEG actiCHamp

## 1. Amplificador

Característica	Especificación
Número máximo de canales	160 EEG + 8 AUX
Máx. frecuencia de muestreo por combinación de canales	32 canales + 8 AUX: 100 kHz; 64 canales + 8 AUX: 50 kHz; 96 canales + 8 AUX: 25 kHz; 128 canales + 8 AUX: 25 kHz; 160 canales + 8 AUX: 25 kHz
Ancho de banda máximo EEG	DC hasta 7,500 Hz
Digitalización	24-bit, un convertidor por canal
Impedancia de entrada	EEG: $\geq 1,000$ M, AUX: 40 M
Ruido de entrada	2 V <sub>pp</sub> (DC – 35 Hz)
Rango de voltaje de entrada	$\pm 400$ mV (EEG), $\pm 4.8$ V (AUX)
Resolución	EEG: 0.04883 V/Bit, AUX: 0.596 V/Bit
Rechazo de modo común (CMR)	100 dB (según IEC 60601-2-26)
Señales de trigger	Entrada y salida TTL de 8 bits, 0 a +5 V, max. 10 mA
Compatibilidad con electrodos	Activos y pasivos, medición de impedancia incluida
Software de registro	BrainVision Recorder (v1.22.0001 o posterior)
Canales AUX integrados	8 canales AUX base
Salida de sincronización	Jack estéreo 3.5 mm TTL
Dimensiones (H x W x D)	68 mm x 160 mm x 187 mm
Peso	1.1 kg

## 2. Batería (PowerUnit)

Característica	Especificación
Voltaje nominal	6.6 V DC
Capacidad nominal	13 Ah
Energía nominal	85.8 Wh
Corriente máxima de salida	3 A
Tipo de batería	Ion-litio (LiFe-PO4) recargable
Tiempo de operación	22 h a 10 kHz / 32 canales, 7 h a 25 kHz / 160 canales
Tiempo de carga	12 h con cargador FRIWO, 5 h con cargador Mascott
Dimensiones	68 mm x 160 mm x 187 mm
Peso	1.2 kg
SOC para transporte	¡30 %
SOC para almacenamiento	30 % – 80 %

## 3. Información adicional

- No apto para uso dentro de resonadores magnéticos (MR scanner).
- No es un dispositivo médico certificado.
- Cumple con EMC según EN 61326-1:2013 (IEC 61326-1:2012).
- Marcado CE y cumplimiento RoHS según directivas europeas vigentes.

# Bibliografía

- [1] ASHTON, Kira ; ZINSZER, Benjamin D. ; CICHY, Radoslaw M. ; NELSON, Charles A. ; ASLIN, Richard N. ; BAYET, Laurie: Time-resolved multivariate pattern analysis of infant EEG data: A practical tutorial. En: *Developmental Cognitive Neuroscience* 54 (2022), p. 101094. – ISSN 1878–9293
- [2] BAIG, Marc ; ROSTAN, Carles ; SAURINA, Carme: Effect of a Chess Training Program on the Development of the Executive Functions in Primary School. En: *Psicología Educativa* 31 (2025), Juni, Nr. 2, p. 83–90
- [3] BAJAJ, Nikesh ; MOHAMMADY, Somayeh (Ed.): *Wavelets for EEG Analysis*. IntechOpen, 2020. – Submitted: 05 July 2020; Reviewed: 08 October 2020; Published: 12 November 2020
- [4] BEN EZZDINE, Lamia ; DHAHBI, Wissem ; DERGAA, Ismail ; CEYLAN, Halil ; GUELMAMI, Noomen ; BEN SAAD, Helmi ; CHAMARI, Karim ; STEFANICA, Valentina ; EL OMRI, Abdelfatteh: Physical Activity and Neuroplasticity in Neurodegenerative Disorders: A Comprehensive Review of Exercise Interventions, Cognitive Training, and AI Applications. En: *Frontiers in Neuroscience* 19 (2025), p. 1502417. – ISSN 1662–453X
- [5] BLUSCHKE, Anna ; EGGERT, Erik ; FRIEDRICH, Jonas ; JAMOUS, Rami ; PROCHNOW, Anne ; PSCHERER, Christian ; SCHREITER, Marie L. ; TEUFERT, Benjamin ; ROESSNER, Veit ; BESTE, Christian: The Effects of Different Theta and Beta Neurofeedback Training Protocols on Cognitive Control in ADHD. En: *Journal of Cognitive Enhancement* 6 (2022), Nr. 4, p. 463–477
- [6] BOGATAJ, Špela ; ROELANDS, Bart: The Effects of Cognitive Training on Executive Function and Cognition. En: *Brain Sciences* 15 (2025), März, Nr. 3, p. 272
- [7] BRAIN PRODUCTS GMBH. *actiCHamp Plus: EEG amplifier for active & passive electrode recordings*. <https://www.brainproducts.com/solutions/actichamp/>
- [8] BURGOYNE, Alexander P. ; SALA, Giovanni ; GOBET, Fernand ; MACNAMARA, Brooke N. ; CAMPITELLI, Guillermo ; HAMBRICK, David Z.: The relationship

- between cognitive ability and chess skill: A comprehensive meta-analysis. En: *Intelligence* 59 (2016), p. 72–83. – ISSN 0160–2896
- [9] COMAN, Daniela A. ; IONITA, Silviu ; LITA, Ioan: Evaluation of EEG Signals by Spectral Peak Methods and Statistical Correlation for Mental State Discrimination Induced by Arithmetic Tasks. En: *Sensors* 24 (2024), Nr. 11. – ISSN 1424–8220
- [10] DENG, Lin ; HE, Wei-zhong ; ZHANG, Qing-li ; WEI, Li ; DAI, Yan ; LIU, Yu-qing ; CHEN, Zhi-lin ; REN, Ting ; ZHANG, Li-li ; GONG, Jian-bin ; LI, Fei: Caregiver-child interaction as an effective tool for identifying autism spectrum disorder: evidence from EEG analysis. En: *Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health* 17 (2023), Nr. 1, p. 138
- [11] DIAMOND, Adele: Executive functions. En: *Annual Review of Psychology* 64 (2013), p. 135–168
- [12] FUENTES-GARCÍA, Juan P. ; VILLAFAINA, Santos ; COLLADO-MATEO, Daniel ; CANO-PLASENCIA, Rubén ; GUSI, Narcís: Chess players increase the theta power spectrum when the difficulty of the opponent increases: An EEG study. En: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (2019), Nr. 1, p. 46
- [13] GUZMÁN-MUÑOZ, Eduardo ; CONCHA-CISTERNAS, Yeny ; JOFRÉ-SALDÍA, Emilio ; CASTILLO-PAREDES, Antonio ; MOLINA-MÁRQUEZ, Iván ; YÁÑEZ-SEPÚLVEDA, Rodrigo: Physical Activity and Its Effects on Executive Functions and Brain Outcomes in Children: A Narrative Review. En: *Brain Sciences* 15 (2025), Nr. 11, p. 1238. – ISSN 2076–3425
- [14] KHALIFA, Najat R. ; ALABDULHADI, Yousef ; VAZQUEZ, Pilar ; WUN, Charlotte ; ZHANG, Peng: The Use of Combined Cognitive Training and Non-Invasive Brain Stimulation to Modulate Impulsivity in Adult Populations: A Systematic Review and Meta-Analysis of Existing Studies. En: *Frontiers in Psychiatry* 15 (2024), p. 1510295. – ISSN 1664–0640
- [15] KOU, Rong ; ZHANG, Zhen ; ZHU, Fang ; TANG, Yan ; LI, Zhi: Effects of Exergaming on executive function and motor ability in children: A systematic review and meta-analysis. En: *PLoS One* 19 (2024), September, Nr. 9, p. e0309462
- [16] LEÓN-RUIZ, Moisés ; BENITO-LEÓN, Julián ; CASTAÑEDA, Carlos: Respuesta a «Valoración de la utilidad diagnóstica del electroencefalograma en urgencias pediátricas»: la importancia de no olvidar las crisis psicógenas no epilépticas en la población pediátrica. En: *Neurología* (2025), Oct, p. 501927

- [17] LEÓN-RUIZ, Moisés ; BENITO-LEÓN, Julián ; CASTAÑEDA, Carlos: Respuesta a «Valoración de la utilidad diagnóstica del electroencefalograma en urgencias pediátricas»: la importancia de no olvidar las crisis psicógenas no epilépticas en la población pediátrica. En: *Neurología* (2025), Oct, p. 501927
- [18] LÓPEZ, Catalina Q. ; VERA, Víctor D. G. ; QUINTERO, María J. R.: Diagnosis of ADHD in Children with EEG and Machine Learning: Systematic Review and Meta-analysis. En: *Clinical and Health* 36 (2025), Nr. 2, p. 109–121. – ISSN 2174–0550
- [19] MANOBANDA-GAGLAY, Jeniffer Y. ; BONILLA-ROLDÁN, María De Los : Impacto de la neurociencia en el desarrollo cognitivo durante la primera infancia en educación inicial. En: *Revista Científica Arbitrada de Investigación en Comunicación, Marketing y Empresa REICOMUNICAR* 8 (2025), jan., Nr. 15, p. 287–305
- [20] MEHMOOD, Faisal ; REHMAN, Sajid U. ; MEHMOOD, Asif ; KIM, Young-Jin: Advances in AI-Driven EEG Analysis for Neurological and Oculomotor Disorders: A Systematic Review. En: *Biosensors* 16 (2026), Nr. 1, p. 15. – ISSN 2079–6374
- [21] MÖNKE, Gregor ; SCHÄFER, Tim ; PARTO-DEZFOULI, Mohsen ; KAJAL, Diljit S. ; FÜRTINGER, Stefan ; SCHMIEDT, Joscha T. ; FRIES, Pascal: Systems Neuroscience Computing in Python (SynCoPy): a python package for large-scale analysis of electrophysiological data. En: *Frontiers in Neuroinformatics* 18 (2024). – ISSN 1662–5196
- [22] NAIME, Ana: Cognitive Training and Neuroplasticity: Enhancing Brain Function Through Learning. En: *The Cognitive Neuroscience Journal* 8 (2025), Nr. 1, p. 246
- [23] NOORIPOUR, R. N. ; HOSSEINIAN, S. H. ; AFROUZ, G. A. A. ; BAKHSHANI, N. B.: Effectiveness of Neurofeedback on Executive Functions and Tendency Toward High-Risk Behaviors in Adolescents with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. En: *International Journal of High Risk Behaviors and Addiction* 7 (2023), Nr. 4, p. e82012. – ISSN 2251–872X
- [24] In: NOVO-OLIVAS, Carlos ; GUTIÉRREZ, Leticia ; BRIBIESCA, José: *Mapeo electroencefalográfico y neurofeedback*. Editorial El Manual Moderno, 2010, p. 371–412. – ISBN 978–970–764–911–8
- [25] POSTEPSKI, Filip ; WOJCIK, Grzegorz M. ; WROBEL, Krzysztof ; KAWIAK, Andrzej ; ZEMLA, Katarzyna ; SEDEK, Grzegorz: Recurrent and Convolutional Neural Networks in Classification of EEG Signal for Guided Imagery and Mental Workload Detection. En: *arXiv preprint* (2024). – arXiv:2405.16901 [cs.LG]

- [26] RAMOS, Larisa ; ARÁN FILIPPETTI, Vanessa ; KRUMM, Gabriela L.: Funciones ejecutivas y práctica de ajedrez: un estudio en niños escolarizados. En: *Psicogente* 21 (2018), Nr. 39, p. 25–34
- [27] RAMOS-GALARZA, Carlos ; SANDOVAL-TIPÁN, Luis: Efectos del ajedrez en el funcionamiento neuropsicológico infantil de la memoria de trabajo y la planificación. En: *Revista Ecuatoriana de Neurología* 29 (2021), Nr. 2, p. 46–51
- [28] RODRÍGUEZ REYES, Fabiola F. ; PITIZACA TORRES, Tatiana del C. ; RODRÍGUEZ VERDUGO, María D. ; CUN ALDAZ, Pilar R. ; VERA ORTEGA, Dayse E.: La Neuroeducación en el Aula Infantil: Aportes Científicos Para Potenciar el Desarrollo Cognitivo y Emocional. En: *SAGA: Revista Científica Multidisciplinar* 2 (2025), apr, Nr. 2, p. 171–181
- [29] ROSSO, Carlotta ; BRUSTIO, Paolo R. ; MANUELLO, Jordi ; RAINOLDI, Alberto: Neuroplasticity of Brain Networks Through Exercise: A Narrative Review About Effect of Types, Intensities, and Durations. En: *Sports* 13 (2025), Nr. 8, p. 280. – ISSN 2075–4663
- [30] SALA, Giovanni ; GOBET, Fernand: Do the benefits of chess instruction transfer to academic and cognitive skills? A meta-analysis. En: *Educational Research Review* 18 (2016), p. 46–57
- [31] SILVA JUNIOR, Laercio R. ; CESAR, Fabio H. G. ; ROCHA, Fabio T. ; THOMAZ, Carlos E.: EEG and Eye Movement Maps of Chess Players. En: *Proceedings of the 6th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (ICPRAM)*, SciTePress, 2017. – ISBN 978–989–758–222–6, p. 434–441
- [32] TAN, Enda ; TROLLER-RENFREE, Sonya V. ; MORALES, Santiago ; BUZZELL, George A. ; MCSWEENEY, Marco ; ANTÚNEZ, Martín ; FOX, Nathan A.: Theta activity and cognitive functioning: Integrating evidence from resting-state and task-related developmental electroencephalography (EEG) research. En: *Developmental Cognitive Neuroscience* 67 (2024), p. 101404. – ISSN 1878–9293
- [33] VILLACRÉS, Karoll ; ANCHUNDIA, Pablo ; VILLACRÉS, Carolina: Revisión sistemática sobre neuroeducación y plasticidad cerebral: aprender es cambiar el cerebro: Systematic review on neuroeducation and brain plasticity: learning is changing the brain. En: *Revista Multidisciplinar de Estudios Generales* 4 (2025), aug., Nr. 3, p. 787–805
- [34] VILLAFAINA, Santos ; COLLADO-MATEO, Daniel ; CANO-PLASENCIA, Rubén ; GUSI, Narcís ; FUENTES, Juan P.: Electroencephalographic response of chess players in decision-making processes under time pressure. En: *Physiology & Behavior* 198 (2019), p. 140–143

- 
- [35] WEI, Hua-Liang ; GUO, Yuzhu ; HE, Fei ; ZHAO, Yifan: EEG Signal Processing Techniques and Applications—2nd Edition. En: *Sensors* 25 (2025), Nr. 3, p. 805. – ISSN 1424–8220
- [36] WEINSTEIN, Alejandro ; RODIÑO, Julio ; JARA, Camilo ; CORTÉS, Lucas ; VELOZ, Alejandro: EEGraSP: Biblioteca para el procesamiento del electroencefalograma usando procesamiento de señales sobre grafos. En: *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* 32 (2024), p. 0–0. – ISSN 0718–3305
- [37] WIJAYA, Adi ; HASIBUAN, Said ; BAIHAQI, Wiga M. ; DARMAWAN, Rizki ; PRIMARTHA, Rifkie ; SUPRIYANTO, Catur: Bibliometric-enhanced Systematic Literature Review of EEG in Education: Learning Concepts, Computational Methods, and Research Opportunities. En: *arXiv preprint* (2025). – arXiv:2509.26083 [q-bio.NC]
- [38] WILLIAMS, Michael J. ; PALACE, Matthew ; WELSH, James C. ; BROOKS, Samantha J.: Neural correlates of chess expertise: A systematic review of brain imaging studies comparing expert versus novice players. En: *Brain Mechanisms* (2025), Juni. – ISSN 3050–6425
- [39] YAKUSHINA, Anastasia ; CHICHININA, Elena ; DOLGIKH, Anna: Chess classes and executive function skills in 5–6 years old children: Evidence from a cross-sectional study. En: *Frontiers in Psychology* 16 (2025). – ISSN 1664–1078
- [40] ZHANG, Qinfen ; DONG, Xuan ; JIN, Wenjie ; FAN, Jiaojiao: Early brain cognitive development in late preterm infants: an event-related potential and resting EEG study. En: *Italian Journal of Pediatrics* 50 (2024), Nr. 1, p. 26