

Cita: Carrascón, L. y Boixadós, M. (2025). Efectos de una intervención de neurofeedback α con refuerzo mediante gamificación en el control de la ansiedad estado. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 25(3), 194-210.

Efectos de una intervención de neurofeedback α con refuerzo mediante gamificación en el control de la ansiedad estado

Effects of an α neurofeedback intervention with reinforcement through gamification on the control of state anxiety

Efeitos de uma intervenção de neurofeedback α com reforço através da gamificação no controlo da ansiedade-estado

Carrascón, Lourdes¹, Boixadós, Mercè²

¹Investigadora independiente, España; ²Universitat Oberta de Catalunya, Spain

RESUMEN

La preparación física de un/a deportista es un aspecto fundamental en cualquier disciplina, pero un entrenamiento completo debe incluir también el bienestar psicológico. En este sentido, la ansiedad y el miedo al fallo juegan un papel clave en el rendimiento deportivo. Según Domingos et al. (2021), estudios basados en electroencefalografía (EEG) han demostrado que una reducción de la potencia en la actividad cerebral Alpha se asocia con un aumento del estrés. El presente estudio tiene como objetivo aplicar técnicas de Neurofeedback reforzado con la gamificación, dado que ésta se ha consolidado en los últimos años como una tendencia clave en el sector educativo, integrando tecnologías como realidad virtual y aumentada (Moreno-López et al., 2023). En este contexto, se entrenó a deportistas de tiro con arco en la autorregulación de la actividad cerebral Alpha, fomentando un estado de calma durante los entrenamientos y optimizando su capacidad para afrontar situaciones adversas. Se empleó un diseño cuasiexperimental pre-post con grupo control, en el que solo el grupo experimental recibió instrucciones específicas para incrementar la actividad cerebral Alpha. Participaron 60 arqueros/as de entre 18 y 70 años ($M = 41.92$; $DT = 11.04$), con una distribución equitativa por género. En conclusión, los resultados muestran un aumento significativo en la actividad cerebral Alpha y en los valores de "éxito", aunque no se observaron los cambios esperados en las medidas de ansiedad, lo que sugiere que, su impacto en la reducción de la ansiedad puede requerir enfoques adicionales o ajustes en la intervención.

Palabras clave: Bienestar, ansiedad, Neurofeedback, actividad cerebral Alpha (α - Neurofeedback), gamificación.

ABSTRACT

The physical preparation of an athlete is a fundamental aspect in any discipline, but complete training must also include psychological well-being. In this sense, anxiety and fear of failure play a key role in sports performance. According to Domingos et al. (2021), electroencephalography (EEG)-based studies have shown that a reduction in power in Alpha brain activity is associated with increased stress. The present study aims to apply Neurofeedback techniques reinforced with gamification, given that this has been consolidated in recent years as a key trend in the

educational sector, integrating technologies such as virtual and augmented reality (Moreno-López et al., 2023). In this context, archery athletes were trained in the self-regulation of Alpha brain activity, promoting a state of calm during training and optimizing their ability to face adverse situations. A pre-post quasi-experimental design with a control group was used, in which only the experimental group received specific instructions to increase Alpha brain activity. A total of 60 archers between 18 and 70 years old participated ($M = 41.92$; $SD = 11.04$), with an equal distribution by gender. In conclusion, the results show a significant increase in Alpha brain activity and "success" values, although the expected changes in anxiety measures were not observed, suggesting that its impact on anxiety reduction may require additional approaches or adjustments to the intervention.

Keywords Well-being, Anxiety, Neurofeedback, Alpha brainwave activity (α - Neurofeedback), gamification.

RESUMO

A preparação física de um atleta é um aspeto fundamental em qualquer disciplina, mas o treino completo deve incluir também o bem-estar psicológico. Neste sentido, a ansiedade e o medo do fracasso desempenham um papel fundamental no desempenho desportivo. Segundo Domingos et al. (2021), estudos baseados na eletroencefalografia (EEG) mostraram que uma redução da potência na atividade cerebral Alfa está associada a um aumento do stress. O presente estudo visa aplicar técnicas de Neurofeedback reforçadas com gamificação, visto que esta se consolidou nos últimos anos como uma tendência chave no setor educacional, integrando tecnologias como realidade virtual e aumentada (Moreno-López et al., 2023). Neste contexto, eram treinados atletas de tiro com arco na autorregulação da atividade cerebral Alfa, promovendo um estado de calma durante o treino e otimizando a sua capacidade de enfrentar situações adversas. Foi utilizado um desenho quase experimental pré-pós com grupo controlo, em que apenas o grupo experimental recebeu instruções específicas para aumentar a atividade cerebral Alfa. Participaram 60 arqueiros entre os 18 e os 70 anos ($M = 41,92$; $DP = 11,04$), com distribuição equitativa por género. Em conclusão, os resultados mostram um aumento significativo da atividade cerebral Alfa e dos valores de "sucesso", embora não tenham sido observadas as alterações esperadas nas medidas de ansiedade, sugerindo que o seu impacto na redução da ansiedade pode exigir abordagens ou ajustes adicionais à intervenção.

Palavras chave: Bem-estar, ansiedade, neurofeedback, atividade cerebral Alpha (α - Neurofeedback), gamificação.

INTRODUCCIÓN

La planificación física y deportiva, así como el desarrollo de la destreza motora y estratégica son elementos esenciales en el entrenamiento deportivo (Camacho Velázquez et al., 2019). Sin embargo, resulta necesario integrar de manera sistemática el autocontrol y la regulación emocional, aspectos que suelen carecer de planificación específica. La presión competitiva y la exigencia de resultados inmediatos pueden generar descontrol emocional, dificultando la adaptación a situaciones imprevistas y aumentando la ansiedad ante el error o el fracaso. Tal como señalan Pineda-Espejel et al. (2016), la ansiedad en el deporte está estrechamente vinculada con la búsqueda de la perfección, lo que subraya la necesidad de abordarla.

Según Stan Suciú (2022), la ansiedad se define como una respuesta emocional frente a estímulos percibidos como amenazantes, que requiere gestión cuando interfiere en la toma de decisiones y el rendimiento. Por ello, el entrenamiento debería orientarse hacia modelos más completos, donde el deportista no solo optimice su ejecución motora, sino que también desarrolle competencias de autorregulación emocional capaces de sostener su rendimiento en situaciones de alta presión.

La ansiedad, el miedo al fracaso y el estrés pueden abordarse mediante técnicas como el biofeedback y el neurofeedback, incorporando la gamificación para hacer el proceso más atractivo. Diotaiuti et al. (2024) destacan que el entrenamiento de neurofeedback ha surgido como un enfoque prometedor para mejorar las funciones cognitivas y reducir la ansiedad. Navarro et al. (2021) enfatizan la importancia del autoconocimiento y la

Neurofeedback y Gamificación en el deporte

autoevaluación para mejorar el aprendizaje y la toma de decisiones. Prieto (2020) sugiere que la anticipación de la respuesta motora y el desarrollo de estrategias de afrontamiento adecuadas pueden incrementar la motivación y la implicación en el aprendizaje. El neurofeedback, definido por Nawaz et al. (2023) como una técnica de entrenamiento cerebral de circuito cerrado, no invasiva y basada en el condicionamiento operante, permite la regulación voluntaria de la actividad neuronal, particularmente de las ondas alfa. Sus aplicaciones abarcan la mejora del rendimiento deportivo, la memoria, las habilidades espaciales y la regulación emocional. La evidencia empírica (Cheng et al., 2024; Wang et al., 2023; Van Boxtel et al., 2024; Zhou et al., 2024; Farraj y Reiner, 2025) respalda su eficacia, destacando la necesidad de enfoques personalizados y el control de estados mentales óptimos como variables críticas para el rendimiento. En esta misma línea, Tosti et al. (2024) reportan beneficios en disciplinas como golf, atletismo y judo.

Mitsea (2024), considera la respiración como un elemento clave para la salud mental y emocional; puede hacerse voluntariamente con práctica sistemática, pero destaca las tecnologías emergentes, entre ellas el neurofeedback no invasivo, el cual ofrece oportunidades para el entrenamiento respiratorio, aún poco exploradas. Una revisión PRISMA evalúa la sinergia entre estas tecnologías y técnicas de respiración para desarrollar habilidades, con beneficios potenciales en control atencional, regulación emocional, flexibilidad mental, manejo del estrés y autorregulación.

La aplicabilidad del neurofeedback se extiende a diversos contextos deportivos, Merellano-Navarro et al. (2025) subrayan el papel del juego como estrategia para el desarrollo cognitivo y emocional en contextos deportivos. De manera complementaria, otras técnicas han mostrado efectos positivos: la visualización imaginada como afrontamiento en competición (Vives y Costa, 2022); la biorretroalimentación para la mejora de la dureza mental en halteristas (Fernández-Barradas et al., 2023); y la inducción de estados de flow, observada en bailarinas mediante programas de entrenamiento psicológico (Priego, 2023). Además, Soto García y Oliver Coronado (2022) destacan la relevancia del autocontrol, la gestión del error y el diseño de tareas en la toma de decisiones deportivas.

El desarrollo tecnológico ha transformado de manera significativa los procesos de entrenamiento deportivo, incorporando herramientas que refuerzan la autonomía y la autoeficacia del atleta en la toma de decisiones. En este marco, la gamificación —definida por Zeybek y Saygi (2023) como la incorporación de juegos en contextos no lúdicos— ha experimentado un crecimiento notable en el ámbito educativo durante la última década. Su potencial de aplicación en el deporte resulta especialmente relevante, dado que favorece la autorregulación, estimula la motivación intrínseca y facilita procesos de aprendizaje continuo orientados al rendimiento y la adquisición de habilidades cognitivas.

En concordancia con lo anterior, Atila (2024), a través de una revisión sistemática, analiza la implementación de la gamificación en protocolos de entrenamiento basados en interfaces cerebro-computadora (BCI) sustentadas en la imaginación motora. Los estudios examinados integran elementos propios del diseño de juegos (puntos, niveles, retroalimentación visual atractiva) en entrenamientos neurotecnológicos, mostrando que la gamificación no solo incrementa la motivación y la adherencia, sino que también enriquece la experiencia del deportista al volverla más inmersiva y atractiva. Estos hallazgos sugieren que la gamificación puede desempeñar un papel clave en la mejora del aprendizaje autorregulado y, particularmente, en el control de la actividad cerebral, aspecto que constituye uno de los ejes centrales de la presente investigación.

A partir de estas consideraciones, el presente estudio propone integrar neurofeedback y gamificación en el entrenamiento de tiro con arco, con el objetivo de fortalecer la autorregulación emocional de los deportistas. Se busca entrenar la identificación y modulación de los patrones de actividad alfa, optimizando la concentración y el control motor en situaciones críticas. De manera específica, se evaluará si los arqueros pueden incrementar voluntariamente, con los ojos abiertos, la amplitud de las ondas alfa asociadas a estados de calma y relajación (Domingos et al., 2021) y si este entrenamiento contribuye a reducir la ansiedad estado en contextos de alta presión competitiva.

Este trabajo contribuye a la literatura científica al explorar los efectos del neurofeedback y la gamificación en el entrenamiento deportivo, proporcionando información sobre la posibilidad de potenciar la actividad cerebral Alpha y mantener su impacto en el tiempo.

La finalidad es diseñar un entrenamiento basado en técnicas de Neurofeedback, dinamizado con la gamificación para facilitar la activación voluntaria de la actividad cerebral Alpha y promover estados de relajación en los arqueros/as. Los objetivos específicos incluyen: 1.- Diseñar un instrumento basado en técnicas de neurofeedback electroencefalográfico, de fácil aplicación y no invasivo, que permita a los arqueros/as visualizar en tiempo real su actividad cerebral Alpha y regularla para alcanzar un estado óptimo de calma y autocontrol. 2.- Evaluar la eficacia del neurofeedback para incrementar de manera voluntaria la amplitud de las ondas Alpha, facilitando la reducción de la ansiedad Estado en situaciones de alta presión competitiva.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño de investigación

Para dar respuesta a nuestros objetivos, se ha utilizado un enfoque de investigación cuantitativo. Concretamente, en este trabajo se lleva a cabo un diseño cuasiexperimental longitudinal de medidas repetidas pre-post con grupo control que permite contrastar los cambios temporales de dos grupos, de forma que el grupo control no recibe instrucciones específicas para incrementar la actividad cerebral Alpha, y el grupo experimental sí recibe estas instrucciones individualizadas (Ato et al., 2013). De ambos grupos se recogen los valores de las lecturas sobre actividad cerebral y los niveles de ansiedad experimentada por los participantes como medidas previas y posteriores a la intervención para poder valorar los posibles cambios de ambas las variables dependientes. Por tanto, se ha trabajado, a nivel de análisis, con un diseño factorial mixto, con una variable intragrupo (las diferentes medidas temporales, PRE intervención (T0), sesión 10 de la intervención (T1), sesión 20 de la intervención (T2) y POST (T3) pasados 3 meses de la última intervención y una variable intergrupo denominada grupo (grupo control vs grupo experimental).

Participantes

En la investigación han participado un total de 60 deportistas de Cataluña que practican la modalidad de tiro con arco de sala. Se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, aplicado con criterios de inclusión y exclusión. La selección de los participantes se llevó a cabo tras solicitar y obtener la autorización de la Federación Catalana, lo que permitió el acceso a los clubes y a los arqueros/as. Una vez concedido el permiso, se informó a los clubes que, durante una tirada social en Tarragona, se realizó una reunión informativa en la que se explicaron los objetivos del estudio y el uso de los datos recogidos. La participación fue voluntaria. Los criterios de inclusión exigían que los participantes fueran deportistas en activo, federados en distintos clubes de la Comunidad Autónoma de Cataluña, con edades comprendidas entre los 18 y los 70 años. Además, debían mostrar compromiso con la asistencia regular a los entrenamientos, participar en competiciones de carácter local, provincial y nacional, y contar con capacidad para comprender y seguir las instrucciones proporcionadas. Se excluyó a aquellas personas fuera del rango de edad establecido (18 a 70 años), en tratamiento médico o psicológico por motivos de salud mental, o que no pudieran seguir adecuadamente las instrucciones del estudio.

Se estimó que un grupo de 60 participantes, 30 por cada uno, era adecuado para analizar los efectos de la intervención. Considerando el tamaño de muestra para investigaciones piloto, se aconseja contar con al menos 30 participantes (García-García, et al. 2013).

La Tabla 1 presenta el detalle de los participantes, distribuidos en los grupos control y experimental, con un equilibrio en cuanto al género y la edad.

Neurofeedback y Gamificación en el deporte

Tabla 1

Variables sociodemográficas de los participantes

GRUPO	EDAD		GÉNERO		NIVEL DE ESTUDIOS		
	N	M (DT)	% hombres	% mujeres	% ESO	% Bachillerato	% Universidad
GE	30	42.87 (10.81)	50%	50%	0%	56.70%	43.30%
GC	30	40.97 (11.37)	50%	50%	3.30%	66.70%	30%
Total	60	41.92 (11.04)	50%	50%	1.70%	61.70%	36.7%

Nota: GE= Grupo experimental; GC= Grupo control; M= Media; DT=Desviación típica.

Instrumentos

Se desarrolló una aplicación destinada a registrar y procesar la actividad cerebral mediante sensores, transformándola en datos cuantitativos almacenados en una base de datos para su posterior análisis. El diseño de la aplicación se llevó a cabo bajo nuestra supervisión, estableciendo las directrices necesarias sobre el contenido y la organización de la interfaz. Para la captación de la señal cerebral se utilizó una biblioteca de código abierto, configurada para detectar la actividad alfa (8–13 Hz), expresada en hercios. La información obtenida se procesó, convirtiéndose en una frecuencia promedio antes de ser almacenada. Paralelamente, se construyó un prototipo experimental a partir de un coche comercial de sencillo montaje, al que se integró una placa Arduino conectada a una diadema con sensores, permitiendo asociar los registros cerebrales con el control del dispositivo. Con esta finalidad, se emplearon los siguientes recursos y materiales:

- *Diadema Myndflex* (NeuroSky, s.f.), que actúa como sensor capaz de captar la actividad cerebral, permitiendo la monitorización de dicha actividad en tiempo real.
- *Programa informático*, desarrollado expresamente por esta investigación, que permite la lectura de las ondas emitidas por la diadema con función electroencefalografía (EEG), y que vierte los valores en una hoja Excel para su recopilación final.
- *Software paquete de Office Windows*, que dispone de las hojas Excel en las que quedan registradas las lecturas.
- *Ordenador personal* que permite la aplicación del programa.

Por otra parte, para poder valorar el impacto que el entrenamiento en el control de la actividad cerebral puede tener en los niveles de ansiedad de los y las deportistas participantes, se empleó el instrumento:

- *State-Trait Anxiety Inventory* (STAI, Guillén-Riquelme, A. y Buela-Casal, G. 2011). Instrumento ampliamente utilizado para evaluar la ansiedad. En este caso, no se adaptó el cuestionario dado que la comprensión entre los participantes era correcta, se han administrado únicamente los 20 ítems que permiten evaluar la ansiedad Estado, con formato de respuesta tipo Likert de 0 (nada) a 3 (mucho), lo que permite obtener una puntuación total a partir de la suma de las puntuaciones de cada uno de los ítems. Se optó por la utilización de la subescala de “estado” del *State-Trait Anxiety Inventory* (STAI), debido a que esta dimensión evalúa la ansiedad transitoria y susceptible de modificación mediante una intervención adecuada. Se descartó la subescala de “rasgo”, por estar asociada a características estables de la personalidad, y no constituía un objetivo en la presente investigación. El STAI se caracteriza por su sensibilidad a las variaciones en los niveles de ansiedad y a los factores estresores que influyen en ella, lo que lo convierte en una herramienta idónea para medir la ansiedad en contextos deportivos. Respecto a sus propiedades psicométricas, presenta una alta fiabilidad. En la subescala de ansiedad Estado, la media de los coeficientes alfa de Cronbach reportados en distintos estudios es de 0.90, llegando hasta 0.94 tanto en población general como en muestras clínicas (Guillén-Riquelme y Buela-Casal, 2011).

Carrascón y Boixadós

Procedimiento

El estudio se realizó conforme a la Declaración de Helsinki (WMA, 2024). Se obtuvo la autorización de la Federación Catalana de tiro con arco y el consentimiento informado de los participantes, quienes fueron informados sobre los objetivos y fines del estudio. Asimismo, el estudio se ajustó a lo dispuesto en la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. El procedimiento fue valorado positivamente por el Comité de Ética de la Universidad (UOC).

Se trabajó con dos grupos naturales: los participantes de la zona de Tarragona fueron asignados al grupo experimental y los de otras provincias formaron parte del grupo control. Esta decisión se tomó para evitar que los participantes de una determinada localidad comentaran entre ellos las dinámicas de las sesiones y se pudiera producir alguna interferencia en el desarrollo de la investigación si los arqueros/as se daban cuenta de que estaban siguiendo procedimientos distintos. Los datos de todo el proceso se recogieron en sesiones de fin de semana en Tarragona, Caldes de Montbui y Barcelona, sin interferir en los entrenamientos, en horario diurno de 09:00 a 14:00 h.

Se disponía de una sala, equipada con una mesa, silla e iluminación suficiente para trabajar. En primer lugar, se obtuvieron los datos sociodemográficos y las medidas de pretest. Se dio unos minutos para resolver dudas que hubiesen surgido de la explicación general del procedimiento. Posteriormente, se realizaba la medida de la actividad cerebral Alpha.

Para ambos grupos, experimental y control, las 20 sesiones de Neurofeedback consistían en la obtención de las lecturas de la actividad cerebral que generaban los arqueros durante 20 minutos, 1 sesión por semana de forma individual. Desde la primera sesión, ya se les familiarizó con la diadema. En ambos grupos, el trabajo se realizó con los ojos abiertos y se dejó un tiempo de 30 segundos para captar la señal y la lectura y, a partir de ese momento, se empezaron a grabar los valores. Por tanto, los datos que se analizaron fueron las lecturas desde el segundo 30 hasta el minuto 2 y 30 segundos. Como se ha comentado, los arqueros/as tienen un tiempo máximo de tirada de las flechas y es en ese momento en que necesitan controlar la situación. En ambos casos, el objetivo consistía en mantener los valores por encima del umbral de 60, definido como indicador de éxito según NeuroSky (2014). Por este motivo, los resultados que se querían potenciar se encuentran al inicio, que coincide con el momento en que están en la línea de tiro, y es necesario obtenerlos de forma rápida. Aunque pueden realizar pausas (entre flechas o rondas), nos interesaba saber si tenían la capacidad de obtener de forma rápida estos valores y mantener la sensación de calma. El resto del tiempo hasta el minuto 20 sirvió para entrenar los valores. La retroalimentación (feedback) debe ser directa, clara y simple del valor que los arqueros están obteniendo y que pueden ver en la pantalla del ordenador, por cada segundo, con el valor que va obteniendo. Además, se observó la influencia de factores externos, como los comentarios de entrenadores o compañeros y el tipo de música escuchada, sobre la actividad cerebral de los deportistas, en línea con las teorías de Corbetta y Shulman (2002) sobre la relación entre cognición y atención.

La recogida de datos se realizó durante un periodo de 4 meses, en este tiempo se estableció la fase de recogida de datos preintervención (T0) así como los registros intermedios en la sesión 10 (T1) y en la sesión 20 (T2). Posteriormente, tras un periodo de tres meses sin intervención, se llevó a cabo la evaluación postintervención (T3).

Intervención

La principal diferencia entre los grupos radicó en la incorporación de elementos de gamificación y de instrucciones específicas en el grupo experimental. A partir de la sesión 10, se implementó una herramienta de gamificación mediante la cual, cuando los arqueros lograban mantener niveles de actividad cerebral Alpha superiores a 60, un coche acoplado a un sistema Arduino comenzaba a desplazarse en círculos, constituyendo así una recompensa inmediata por el desempeño adecuado. En esta fase, los participantes no podían observar los resultados en pantalla, lo que les exigía aplicar la sensación de bienestar asociada al entrenamiento y recuperar lo aprendido previamente. Adicionalmente, se proporcionaron instrucciones específicas sobre estrategias potencialmente efectivas para incrementar la actividad cerebral, tales como visualizaciones positivas (ej.: un bosque o una playa), uso de palabras clave (ej.: calma, venga, bien), o gestos asociados a la acción de disparo (ej.: mirar o tocar la cuerda del arco). La

Neurofeedback y Gamificación en el deporte

selección de la estrategia se dejó a criterio de cada arquero/a, sin imposición por parte del equipo investigador. En contraste, el grupo control se limitó a trabajar con el objetivo de superar el umbral de 60, sin recibir instrucciones específicas ni acceder al uso de la herramienta de gamificación.

Análisis estadístico

Se han analizado los datos utilizando el Modelo Lineal General de Medidas Repetidas. Para controlar la tasa de error en las comparaciones múltiples, se ha aplicado la corrección de Bonferroni. (IBM SPSS, versión 22). Las tablas presentan los intervalos de confianza al 95% de las diferencias de medias y los valores de los estadísticos de contraste. Los tamaños del efecto se calcularon mediante la eta cuadrado parcial (η^2p).

RESULTADOS

Se presentan los resultados del análisis comparativo pre-post intervención de las variables, actividad cerebral, número de éxitos y ansiedad de las medidas previas y posteriores a la intervención.

Análisis de las ondas Alpha

Se resumen en las Tablas 2 y 3 los estadísticos descriptivos y de contrastes de las diferentes medidas de las ondas Alpha en el grupo experimental y grupo control antes, durante y después de la intervención. Así como todas las posibles comparaciones entre grupos y momentos de la medida PRE (T0), sesión 10 de la intervención (T1), sesión 20 de la intervención (T2) y POST (T3) pasados 3 meses de la última intervención.

Por otra parte, en la Figura 1 se puede observar gráficamente la evolución de las medidas en ambos grupos a lo largo de la intervención dirigida a incrementar las ondas Alpha.

Tabla 2

Comparación de medias de las ondas Alpha entre la medida PRE (T0), las sesiones de intervención T1, T2 y la medida POST (T3) en función del grupo

	PRE	SESIONES DE INTERVENCIÓN		POST (3 meses)	
GRUPO	T0 <i>M (DT)</i>	T1 <i>M (DT)</i>	T2 <i>M (DT)</i>	T3 <i>M (DT)</i>	VALORES <i>F</i> <i>p</i> y η^2p
GC N=30	47.1 (6.07)	48 (5.21)	53.24 (1.67)	53.20 (1.70)	$F_{\text{sesión*grupo}} (1.7,98.44) = 12.06$ $p < .001$; $\eta^2p = .17$
GE N=30	49.04 (6.71)	51.81 (5.70)	61.90 (3.10)	61.88 (1.32)	$F_{\text{sesión}} (1.7,98.44) = 105.16$ $p < .001$; $\eta^2p = .65$ $F_{\text{grupo}} (1,58) = 55.80$ $p < .001$; $\eta^2p = .49$
Dif. EX-GC (EE)	2.03 (1.65)	3.81* (1.41)	8.66* (.64)	8.68* (.39)	
IC (95%)	(-1.27 ÷ 5.34)	(.99 ÷ 6.63)	(7.37 ÷ 9.95)	(7.90 ÷ 9.47)	

Nota: GE= Grupo experimental; GC= Grupo control; M = Media; DT =Desviación típica; p = grado de significación; η^2p = eta cuadrado parcial; Dif. = diferencia de medias; EE = Error estándar; IC (95%) = Intervalo de confianza del 95%; *Diferencias significativas < al 5%.

Carrascón y Boixadós

Tal y como se observa en la Tabla 2, existe un efecto significativo de la interacción entre los diferentes momentos temporales de la medida (T0, T1, T2 y T3) y los grupos ($F_{\text{sesión} \times \text{grupo}(1.7, 98.44)} = 12.06$; $p < .001$), por lo que puede considerarse que el efecto de la intervención para incrementar las ondas Alpha fue superior al grupo experimental respecto al grupo control. Se observó que el grupo experimental presentaba una media significativamente más alta en ondas Alpha que el grupo control en las T1 y T2, mientras que en la medida previa a la intervención ambos grupos no diferían significativamente, ya que, como muestra la Figura 1, ambos partían de medias muy similares (49.04 y 47.01 puntos respectivamente). A la medida T3, el grupo experimental también puntuó significativamente más alto que el grupo control, con diferencias que se situaron entre los 7.90 y los 9.47 puntos (ver IC de la dif 95% entre sesiones).

Tabla 3

Contrastes intra e inter: Diferencias de medias de las ondas Alpha entre la medida PRE (T0), las diferentes sesiones de intervención T1, T2 y la medida POST (T3) dentro de cada grupo y entre grupos control y experimental

GRUPO	Dif. T1-T0 (EE) IC (95%)	Dif. T2-T0 (EE) IC (95%)	Dif. T2-T1 (EE) IC (95%)	Dif. T3-T0 (EE) IC (95%)	Dif. T3-T1 (EE) IC (95%)	Dif. T3-T2 (EE) IC (95%)
GC N=30	.99 (.63) (-.79÷2.78)	6.23* (1.03) (3.3÷9.16)	5.23* (.91) (2.67÷7.8)	6.19* (1.03) (3.28÷9.11)	5.2* (.9) (2.66÷7.73)	-.04 (.03) (-.13÷.06)
GE N=30	2.77*(0.84) (.39÷5.16)	12.86* (1.45) (8.74÷16.97)	10.08* (1.31) (6.37÷13.80)	12.84* (1.21) (9.42÷16.26)	10.07* (.96) (7.35÷12.78)	-.02 (.65) (-1.85÷1.82)
Dif. GE- GC(EE) IC (95%)	1.77(1.05) (-.33÷3.88)	6.63* (1.78) (3.06÷10.20)	4.85* (1.59) (1.66÷8.04)	6.65* (1.59) (3.47÷9.82)	4.87* (1.31) (2.24÷7.50)	.02 (.65) (-1.31÷1.35)

Nota: GE= Grupo experimental; GC= Grupo control; Dif. = diferencia de medias; EE = Error estándar; IC (95%) = Intervalo de confianza del 95%; *Diferencias significativas < al 5%.

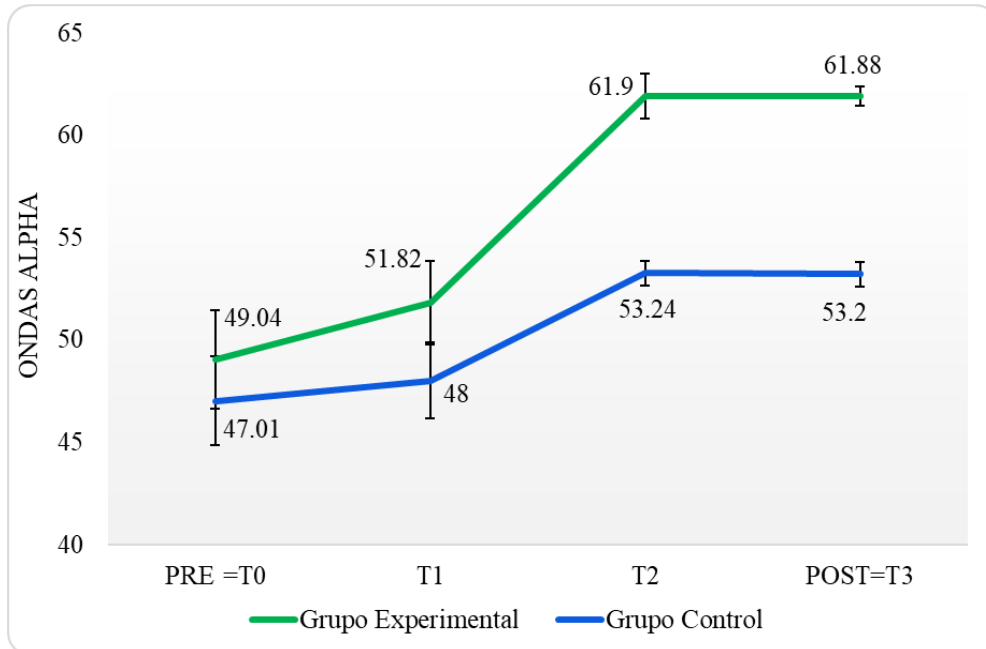
En la Tabla 3 se presentan las comparaciones entre las medias de las distintas medidas temporales de las ondas Alpha obtenidas dentro de cada grupo. Los datos indican que los sujetos del grupo experimental presentaron incrementos significativos entre la T0, T1 y T2. En cambio, los del grupo control incrementaron significativamente el valor de las ondas Alpha a partir de la T2 respecto a la T1 y la T0, pero no en el primer salto entre T0 y T1 de la intervención. Así pues, tanto los sujetos del grupo control como los del grupo experimental presentaron medias de ondas Alpha más altas en la T2 que en la T1 y en la T0, pero en el caso del grupo experimental la magnitud de estas diferencias fue superior: concretamente, en la comparación de la T2 con la T1, las diferencias tomaron valores entre los 6.37 y los 13.80 puntos y en la comparación de la T2-T0, las diferencias se incrementaron, quedando situadas entre los 8.74 y los 16.97 puntos (ver IC de la dif 95% entre sesiones). En cambio, en el caso del grupo control, estas diferencias entre T1, T2 y T0 no superaron los 10 puntos. Al comparar las diferencias entre grupos, control y experimental (ver última fila de la Tabla 3) se puede considerar que el incremento entre sesiones fue superior al grupo experimental de forma significativa respecto al grupo control entre 1.66 y 8.04 puntos al salto entre T1-T2, y entre 3.06 y 10.20 puntos al salto entre T0-T2 (ver IC de la dif del 95% entre GE-GC).

Al comparar con la medida POST (T3), los resultados mostraron una mejora sostenida en el grupo experimental incluso tres meses después de finalizada la intervención, ambos grupos presentaban una media estadísticamente similar con la obtenida en T2.

Neurofeedback y Gamificación en el deporte

Figura 1

Medias y IC 95% de las ondas Alpha del grupo control y el grupo experimental en las medidas PRE (T0), sesiones de intervención (T1 y T2) y en POST (T3)



Análisis del número de éxitos

En las Tablas 4 y 5 se resumen los estadísticos descriptivos del número de éxitos (valores de lectura de las ondas Alpha iguales o superiores a 60 puntos) obtenidos a lo largo de las diferentes medidas de las ondas Alpha realizadas en el grupo control y en el grupo experimental durante la intervención y en las medidas PRE y POST intervención, así como todas las posibles comparaciones entre grupos y sesiones. Y la Figura 2 representa gráficamente la evolución de las medias de los éxitos en ambos grupos a lo largo de la intervención dirigida a incrementar las ondas Alpha.

Tal y como se observa en la Tabla 4, existe un efecto significativo de la interacción entre las sesiones y los grupos ($F_{\text{sesión}*\text{grupo}(1.77, 102.48)} = 33.87; p < .001$), por lo que se observó que la intervención para incrementar las ondas Alpha tuvo un impacto, en relación con el número de éxitos alcanzados por los participantes, superior al grupo experimental respecto al grupo control. De hecho, el grupo experimental presentó una media de éxitos conseguidos significativamente más alta que el grupo control, tanto en T1 como en T2 y en la medida de POST (T3), de modo que ambos grupos solo presentaron medias equivalentes a la medida previa a la intervención PRE (T0), donde la diferencia aproximada de 3.30 éxitos no fue estadísticamente significativa. La Figura 2 muestra cómo las diferencias en el número de éxitos alcanzados por ambos grupos se ensanchaban a lo largo de las sesiones a favor del grupo experimental. Si atendemos a los intervalos de confianza al 95% (Tabla 4), las diferencias entre ambos grupos se situaron entre los 1.81 y los 9.82 puntos en medio de la intervención (T1) y entre los 15.50 y los 20.37 puntos al final de la intervención (T2). Estas diferencias se mantuvieron bastante estables en la medida POST (T3) pasados 3 meses, donde quedarían ubicadas entre los 17.57 y los 21.30 puntos.

Carrascón y Boixadós

Tabla 4

Comparación de medias del número de éxitos entre la medida PRE (T0), las sesiones de intervención T1, T2 y la medida POST (T3) en función del grupo

GRUPO	PRE	SESIONES DE INTERVENCIÓN		POST (3 meses)	VALORES F p y $\eta^2 p$
	T0 M (DT)	T1 M (DT)	T2 M (DT)	T3 M (DT)	
GC N=30	12.72 (8.33)	13.77 (7.06)	17.87 (3.87)	13.63 (7.06)	$F_{\text{sesión} \times \text{grupo}} (1.77, 102.48) = 33.87$ $p < .001$; $\eta^2 p = .37$
GE N=30	16.02 (8.77)	19.58 (8.39)	35.80 (5.42)	33.07 (4.14)	$F_{\text{sesión}} (1.77, 102.48) = 66.69$ $p < .001$; $\eta^2 p = .54$ $F_{\text{grupo}} (1, 58) = 103.69$ $p < .001$; $\eta^2 p = .64$
Dif. GE-GC (EE) IC (95%)	3.30 (2.21) (-1.12 ÷ 7.72)	5.82* (2.00) (1.81 ÷ 9.82)	17.93* (1.22) (15.5 ÷ 20.37)	19.44* (.93) (17.57 ÷ 21.3)	

Nota: GE= Grupo experimental; GC= Grupo control; M = Media; DT =Desviación típica; p = grado de significación; $\eta^2 p$ = eta cuadrado parcial; Dif. = diferencia de medias; EE = Error estándar; IC (95%)= Intervalo de confianza del 95%; *Diferencias significativas < al 5%.

Tabla 5

Contrastes intra e inter: Diferencias de medias del número de éxitos entre la medida PRE (T0), las diferentes sesiones de intervención T1, T2 y la medida POST (T3) dentro de cada grupo y entre grupos control experimental

GRUPO	Dif. T1-T0 (EE) IC (95%)	Dif. T2-T0 (EE) IC (95%)	Dif. T2-T1 (EE) IC (95%)	Dif. T3-T0 (EE) IC (95%)	Dif. T3-T1 (EE) IC (95%)	Dif. T3-T2 (EE) IC (95%)
GC N=30	1.05 (1.15) (-.30 ÷ 3.40)	5.15* (1.37) (2.34 ÷ 7.96)	4.10* (1.13) (1.78 ÷ 6.42)	.92 (1.39) (-1.94 ÷ 3.77)	-.13 (6.29) (-2.48 ÷ 2.22)	-4.24* (.45) (-5.16 ÷ -3.31)
GE N=30	3.57* (1.24) (1.04 ÷ 6.09)	19.78* (1.98) (15.74 ÷ 23.84)	16.22* (1.96) (12.21 ÷ 20.23)	17.05* (1.84) (13.29 ÷ 20.81)	13.49* (1.79) (9.83 ÷ 17.14)	-2.73* (.49) (-3.73 ÷ -1.74)
Dif. GE-GC(EE) IC al 95%	2.52 (1.69) (.86 ÷ 5.90)	14.64* (2.41) (9.81 ÷ 19.46)	12.12* (2.36) (7.58 ÷ 16.65)	16.13* (2.31) (11.51 ÷ 20.78)	13.62* (2.12) (9.35 ÷ 17.88)	1.50* (.66) (.17 ÷ 2.83)

Nota: GE= Grupo experimental; GC= Grupo control; Dif. = diferencia de medias; EE = Error estándar; IC (95%) = Intervalo de confianza del 95%; *Diferencias significativas < al 5%.

En la Tabla 5, se presentan las comparaciones entre las medias del número de éxitos alcanzados en las diferentes medidas dentro de cada grupo. En cuanto a las comparaciones entre la medida PRE (T0) y las sesiones de intervención (T1 y T2), el patrón de resultados fue idéntico al obtenido en el análisis de las ondas Alpha: los sujetos del grupo experimental presentaron incrementos significativos entre T0, la T1 y la T2, en cambio, los sujetos del grupo control solamente incrementaron el número de éxitos alcanzados a partir de T2 respecto a T1 y la T0, pero no en el primer salto entre T0-T1. Por tanto, ambos grupos mostraron medias del número de éxitos alcanzados más altas en T2 que en T1 y T0, pero en el caso del grupo experimental, la magnitud de estas diferencias fue superior;

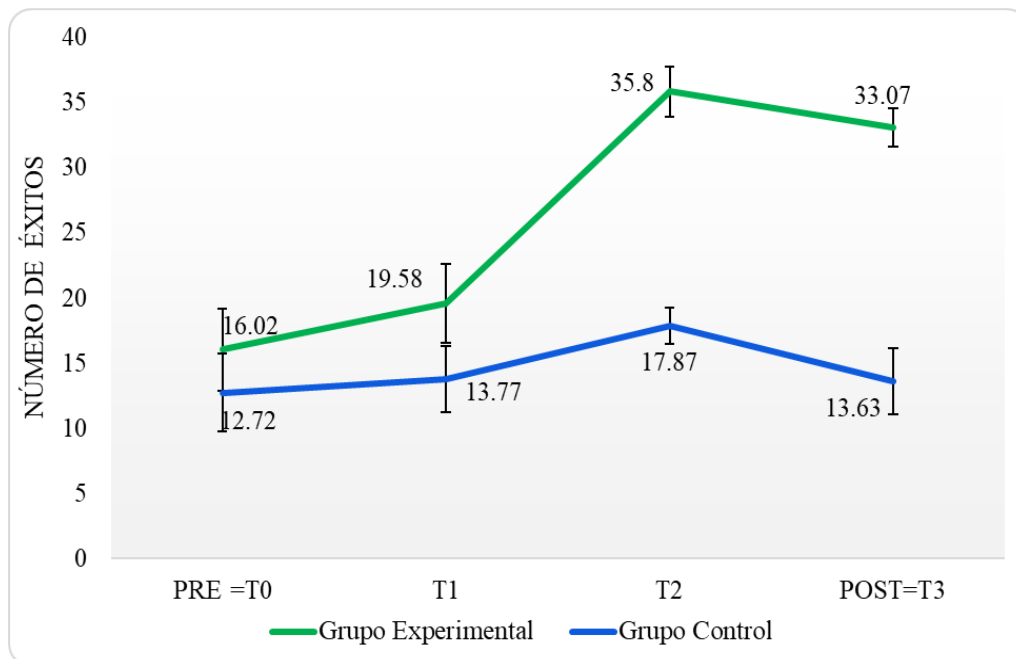
Neurofeedback y Gamificación en el deporte

en concreto, en la comparación entre T2 y T1, las diferencias tomaron valores entre los 12.21 y los 20.23 éxitos y en la comparación de T2 y T0 las diferencias fueron aún más marcadas, ya que quedaron situadas entre los 15.74 y los 23.84 éxitos (ver *IC* de la dif al 95% entre sesiones). Por el contrario, en el grupo control, las diferencias en el número de éxitos conseguidos entre sesiones y respecto a la medida previa no superaron en ningún caso los 8 puntos. En relación con estas diferencias, al comparar los dos grupos (véase última fila de la Tabla 4, que muestra los *IC* de la dif al 95% entre Gexp - Gcontrol), se puede considerar que el incremento entre sesiones en el número de éxitos alcanzados fue superior al grupo experimental de manera significativa respecto al grupo control entre 7.58 y 16.65 éxitos al salto entre T1 y T2, y entre los 9.81 y los 19.46 éxitos al salto entre la medida T0 y T2.

Por último, en relación con la medida POST (T3), recogida a los 3 meses, el patrón de resultados fue ligeramente diferente del obtenido en el análisis de las ondas Alpha, ya que tanto el grupo control como el experimental presentan reducciones estadísticamente significativas del número de éxitos conseguidos por los participantes en la medida post intervención respecto a la obtenida en la T2. En el caso del grupo control, esta reducción fue de 3.31 a 5.16 éxitos, mientras que en el grupo experimental era inferior, entre 1.74 y 3.73 éxitos (ver *IC* de la dif al 95% entre sesiones). Por otra parte, en el caso del grupo control, se consideró que el número de éxitos observados en la medida T3 no difería del obtenido en T0, antes de iniciarse la intervención, y el obtenido en T1. Pasados 3 meses desde el final de la intervención, los sujetos volvieron a los niveles que presentaban al inicio y a la mitad de la intervención (valor de 13.77 éxitos de media) después del incremento observado en la T2 (valor de 17.87 éxitos de media). En cambio, en el grupo experimental, el número de éxitos alcanzados en T3 fue significativamente superior a T0 y a T1; en concreto, se obtuvo un incremento entre 13.29 y 20.81 éxitos y entre 9.83 y 17.14 éxitos de T1 a T3. Al establecer una comparación entre grupo control y grupo experimental relativa a estas diferencias (véase última fila de la Tabla 5), que muestra los *IC* de la dif al 95% entre Gexp - Gcontrol), se pudo concluir que eran significativamente superiores al grupo experimental, especialmente en el salto entre T0 y T3, donde las diferencias entre grupos tomaron valores entre los 11.51 y los 20.78 puntos.

Figura 2

Medias y IC 95% del número de éxitos del grupo control y el grupo experimental en las medidas PRE (T0), sesiones de intervención (T1 y T2) y en POST (T3)



Análisis de la ansiedad Estado

En la Tabla 6, se presentan los estadísticos descriptivos y la comparación de las medias de las puntuaciones obtenidas en el STAI-E PRE (T0) y POST (T3) de las sesiones de intervención sobre la actividad cerebral Alpha, en función del grupo, con los correspondientes intervalos de confianza de las diferencias entre grupos (control vs experimental) y entre momentos de la medida (antes vs después).

La Figura 3 muestra la evolución de las medias de la ansiedad Estado de ambos grupos antes y después de la intervención.

Tabla 6

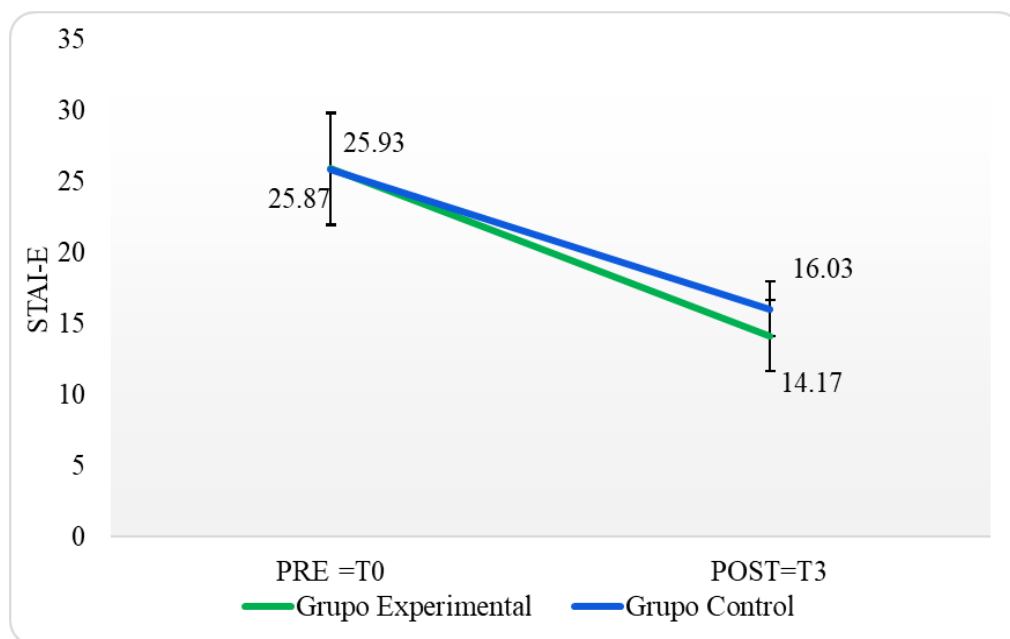
Comparación de medias de las puntuaciones en el STAI-E obtenidas PRE (T0) y POST (T3) de la intervención en función del grupo

GRUPO	PRE (T0) <i>M (DT)</i>	POST (T3) <i>M (DT)</i>	T3-T0 (EE) <i>IC (95%)</i>	VALORES <i>F</i> <i>p y $\eta^2 p$</i>
GC N=30	25.87 (10.96)	16.03 (5.35)	-9.83* (1.38) (-12.56 ÷ -7.10)	$F_{\text{grup}*\text{momento}(1,58)} = 1; p = .321$ $F_{\text{Momento}(1,58)} = 125.14; p < .001; \eta^2 p = .68$
GE N=30	25.93 (10.89)	14.17 (6.89)	-11.77* (1.35) (-14.50 ÷ -9.03)	$F_{\text{grupo}(1,58)} = 0.19; p = .666$
Dif. GE-GC (EE)	.06(2.82)	-1.86 (1.59)		
IC al 95%	(-5.58÷5.71)	(-5.06÷1.32)		

Nota: GE= Grupo experimental; GC= Grupo control; M= Media; DT=Desviación típica; *p* = grado de significación; $\eta^2 p$ = eta cuadrado parcial; *Diferencias significativas < al 5%.

Figura 3

Medias y IC 95% del STAI-E del grupo control y el grupo experimental antes y después de la intervención dirigida a incrementar la actividad cerebral Alpha



Neurofeedback y Gamificación en el deporte

De acuerdo con los resultados que se muestran en la Tabla 6, no había un efecto significativo de interacción entre el grupo y las medidas antes-después del STAI-E ($F_{\text{grupo} \times \text{momento}(1,58)} = 1$; $p = 0.321$), ni tampoco un efecto principal de grupo ($F_{\text{grupo}(1,58)} = 0.19$; $p = .666$); en cambio, sí aparecía un efecto principal del momento en que se realizó la medida ($F_{\text{momento}(1,58)} = 125.14$; $p < .001$), ya que las medias de ansiedad Estado en POST (T3), después de la intervención, fueron significativamente inferiores a las observadas antes de la intervención PRE (T0), tanto en el grupo control como en el grupo experimental.

Tal como muestra la Figura 3, ambos grupos partían de puntuaciones muy similares en ansiedad Estado, con valores cercanos a los 26 puntos. Y después de la intervención sobre la actividad cerebral Alpha, los dos grupos redujeron, de forma notable, los niveles de ansiedad inicial, quedando la media del grupo control, que no recibió intervención, en torno a los 16 puntos y la del grupo experimental, en torno a 14.

DISCUSIÓN

El presente estudio ha evaluado los efectos de una intervención basada en la intervención con Neurofeedback orientado al incremento de la actividad cerebral Alpha (α -Neurofeedback) en el entrenamiento deportivo. Para ello, se ha implementado un dispositivo de uso accesible y adaptable al entorno de entrenamiento de los deportistas, eliminando la necesidad de desplazamientos a consultas clínicas o laboratorios especializados. La investigación se fundamenta en trabajos previos como el de Domingos et al. (2021), quienes han demostrado que una reducción en la actividad Alpha se asocia con niveles elevados de ansiedad, justificando la aplicación de estrategias para su potenciación.

Los resultados obtenidos en relación con el primer objetivo confirman la eficacia de la intervención con el dispositivo desarrollado en este estudio para inducir un estado de calma en los arqueros/as durante la ejecución de sus disparos. Asimismo, se ha evidenciado una mejora en la experiencia subjetiva de la práctica deportiva. Si bien este estudio se ha centrado en la modulación de la actividad Alpha, la metodología empleada es potencialmente aplicable al entrenamiento de otras bandas de frecuencia cerebral (beta, theta, etc.), permitiendo la personalización de los umbrales establecidos en función de los objetivos específicos del entrenamiento y asegurando una adherencia y motivación por el aprendizaje como señala Atila (2024) en su recopilación sobre los beneficios de la gamificación.

En cuanto a la relación entre rendimiento deportivo y actividad neuronal, estudios como el de Gong et al. (2021) resaltan la necesidad de identificar mecanismos neuronales subyacentes al comportamiento motor y determinar las características neuronales clave que inciden en el desempeño deportivo. En este sentido, los arqueros/as participantes han valorado positivamente la intervención, destacando su creciente conciencia sobre la actividad Alpha y su impacto en la concentración y bienestar durante la práctica del tiro con arco. Se ha evidenciado también una mejora en el autocontrol, con la aparición de estrategias automáticas que optimizan el desempeño en entrenamientos y competiciones. Estas observaciones coinciden con las conclusiones de León (2017) sobre la función de las ondas Alpha en la sincronización de la actividad cerebral en deportes que requieren precisión y concentración, como el ajedrez y el tiro con arco.

Desde la perspectiva de los entrenadores/as, se han observado cambios conductuales positivos en los deportistas, incluyendo una disminución de tensión y errores típicos asociados a estados de ansiedad, como el aumento de tiros fallidos o la necesidad de reconfigurar la postura de disparo de manera reiterada. En concordancia con estudios previos, los resultados sugieren que el uso de técnicas de Neurofeedback ha permitido a los participantes incrementar voluntaria y conscientemente su actividad Alpha, alcanzando valores superiores al umbral de 60 establecido por la diadema Myndflex como indicador de optimización de la activación cerebral (NeuroSky, s.f.)

Estos hallazgos se alinean con investigaciones previas, como las de Thibault et al. (2015), que han explorado el impacto del Neurofeedback en el rendimiento cognitivo y deportivo. No obstante, cabe destacar que dichos estudios no abordan de manera explícita la incidencia de esta potenciación sobre la ansiedad, un aspecto clave en la presente investigación. En este sentido, Pop-Jordanova y Demerdzieva (2010) han descrito los beneficios del

biofeedback en el aprendizaje del control de la activación, lo que refuerza la pertinencia del presente estudio en el contexto del entrenamiento mental de los arqueros/as.

A pesar de los resultados favorables en la potenciación de la actividad Alpha en el grupo experimental, el segundo objetivo específico de la investigación, centrado en la reducción de los niveles de ansiedad estado, no se ha cumplido plenamente. Si bien se esperaba una disminución significativamente mayor en el grupo experimental en comparación con el grupo control, los resultados indican que ambos grupos experimentaron reducciones similares. Esta observación podría explicarse por la influencia de variables situacionales o ambientales que han favorecido la reducción de la ansiedad en ambos grupos, independientemente de la intervención aplicada. Alkoby et al. (2018) destacan en su revisión la relevancia de factores como la motivación, diferencias individuales, aspectos médicos y adaptación al sistema de Neurofeedback en la variabilidad de los resultados obtenidos, lo que podría explicar las divergencias observadas en la presente investigación.

Limitaciones y futuras investigaciones

Este estudio presenta limitaciones como la falta de asignación aleatoria y de seguimiento longitudinal, lo que dificulta controlar variables externas y evaluar la estabilidad de los efectos. Asimismo, no se consideraron variables mediadoras como la ansiedad rasgo o factores motivacionales. Futuras investigaciones deberían ampliar y diversificar la muestra en otras disciplinas, incorporar diseños longitudinales y emplear medidas multidimensionales (fisiológicas, conductuales y psicológicas) para obtener un perfil más completo de los efectos del Neurofeedback.

CONCLUSIONES

La intervención con Neurofeedback Alpha ha favorecido la autorregulación emocional y la conciencia de los arqueros sobre su actividad cerebral, con un impacto positivo en el rendimiento. La tecnología desarrollada, económica y accesible, se integró con facilidad en clubes deportivos, mostrando que la gamificación potencia el aprendizaje y la motivación. En conjunto, los resultados respaldan la eficacia del Neurofeedback como complemento al entrenamiento físico y como estrategia innovadora de preparación mental.

APLICACIONES PRÁCTICAS

Las aplicaciones prácticas de este estudio deben evaluarse desde una perspectiva metodológica, enfocándose en la mejora de la percepción del arquero/a respecto a su actividad cerebral y su capacidad para autorregularla. Se busca identificar los patrones de actividad predominantes durante la práctica deportiva y proporcionar herramientas que permitan a los deportistas optimizar su estado de activación antes de la ejecución del tiro.

Esta tecnología ha sido diseñada para ser accesible, económica y lúdica, facilitando su implementación en clubes deportivos sin necesidad de equipamiento especializado. Su aplicación se añade al entrenamiento físico, promoviendo la regulación emocional como un componente clave en el rendimiento deportivo. Al fortalecer el autocontrol y la capacidad de gestión emocional, esta metodología podría traducirse en una mejora significativa del desempeño competitivo.

El uso de la gamificación adaptada al Neurofeedback representa una estrategia innovadora para la mejora del rendimiento y bienestar emocional de los arqueros/as. Al ser la retroalimentación en tiempo real sobre la actividad cerebral permite a los arqueros/as establecer asociaciones entre estados cognitivos, emocionales y conductuales, facilitando el aprendizaje de estrategias de regulación efectivas, como menciona Atila (2024) al uso de la gamificación y sus beneficios.

En síntesis, la presente investigación contribuye al desarrollo de nuevas metodologías de entrenamiento mental en el deporte, proporcionando evidencia sobre la eficacia del Neurofeedback en la modulación de la actividad Alpha y su impacto en la regulación emocional y el rendimiento deportivo.

Neurofeedback y Gamificación en el deporte

REFERENCIAS

1. Atilla, F., Postma, M., Alimardani, M. (2024). Gamification of motor imagery brain-computer interface training protocols: A systematic review. *Computers in Human Behavior Reports*, 16(43), 100508. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2024.100508>
2. Ato, M., López, J., Benavente, A. (2013). Un sistema de clasificación de los diseños de investigación en psicología. *Anales de Psicología*, 29 (3), 1038-1059. <https://doi.org/10.6018/analesps.29.3.178511>
3. Alkoby, O., Abu-Rmieleh, A., Shriki, O., Todder, D. (2018). Can We Predict Who Will Respond to Neurofeedback? A Review of the Inefficacy Problem and Existing Predictors for Successful EEG Neurofeedback Learning. *Neuroscience*, 378, 155–164. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.12.050>
4. Camacho Velázquez, J. E., Ochoa Reyes, N. D., Rincón Bolívar, N. J. (2019). Revisión teórica de la planificación tradicional y contemporánea en el entrenamiento deportivo. *Revista Digital: Actividad Física y Deporte*, 5(2), 171–181. <https://doi.org/10.31910/rdafd.v5.n2.2019.1265>
5. Cheng, M.-Y., Yu, C.-L., An, X., Wang, L., Tsai, C.-L., Qi, F., Wang, K.-P. (2024). Evaluating EEG neurofeedback in sport psychology: A systematic review of RCT studies for insights into mechanisms and performance improvement. *Frontiers in Psychology*, 15, 1331997. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1331997>
6. Corbetta, M., Shulman, G. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 201–215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>
7. Diotaiuti, P., Valente, G., Corrado, S., Tosti, B., Carissimo, C., Di Libero, T., Cerro, G., Rodio, A., Mancone, S. (2024). Enhancing Working Memory and Reducing Anxiety in University Students: A Neurofeedback Approach. *Brain Sciences*, 14(6), 578. <https://doi.org/10.3390/brainsci14060578>
8. Domingos, C., Silva, C., Antunes, A., Prazeres, P., Esteves, I., Rosa, A. C. (2021). The Influence of an Alpha Band Neurofeedback Training in Heart Variability in Athletes. *International journal of environmental research and public health*, 18(23), 12579. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312579>
9. Farraj, N., Reiner, M. (2025). Adaptive AR- or VR-Neurofeedback for individualized learning enhancement. En E. Vendrell Vidal, U. R. Cukierman, M. E. Auer (Eds.), *Advanced technologies and the university of the future* (Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 1140). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71530-3_5
10. Fernández-Barradas, E. Y., Juvera Portilla, J. L., Rodenas Cuenca, L. T., Hernández-Cruz, G., Reynoso-Sánchez, L. F. (2023). Mejora de la dureza mental en halteristas universitarios mediante una intervención con biorretroalimentación basada en el modelo IZOF *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 23(3). <https://doi.org/10.6018/cpd.502141>
11. García-García, José A., Reding-Bernal, A., López-Alvarenga, J.C. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación en educación médica*, 2(8), 217-224. [https://doi.org/10.1016/s2007-5057\(13\)72715-7](https://doi.org/10.1016/s2007-5057(13)72715-7)
12. Gong, A., Gu, F., Nan, W., Qu, Y., Jiang, Ch., Fu, Y. (2021). A review of neurofeedback training for improving sport performance 117 from the perspective of user experience. *Frontiers in Neuroscience*, 15. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.638369>
13. Guillén-Riquelme, A., Buela-Casal, G. (2011). Actualización psicométrica y funcionamiento diferencial de los ítems en el State Trait Anxiety Inventory (STAI). *Psicothema*, 23(3), 510–515. <https://doi.org/10.4321/s1135-57272014000100007>

14. León, O. (2017). Modelo teórico de entrenamiento en neurofeedback para la regulación de la atención en ajedrecistas. *Revista Psicología Científica.com*, 16(4). <https://psicologiacientifica.com/entrenamiento-neurofeedback-atencion-ajedrecistas>
15. Merellano-Navarro, E., Almonacid-Fierro, A., Bravo Basualto, D., Correa Pérez, F., Medina Rojas, G., Valenzuela Beltrán, L. (2025). Uso del juego como recurso didáctico en los procesos de enseñanza y aprendizaje: Percepción de profesores del sistema escolar. *E-Balonmano.com: Revista de Ciencias del Deporte*, 21(1), 77–90. <https://doi.org/10.17398/1885-7019.21.77>
16. Mitsea, E., Drigas, A., Skianis, C. (2024). Artificial Intelligence, Immersive Technologies, and Neurotechnologies in Breathing Interventions for Mental and Emotional Health: A Systematic Review. *Electronics*, 13 (12), 2253. <https://doi.org/10.3390/electronics13122253>
17. Moreno-López, G., Rodríguez-Correa, P. A., Fuentes, E. N. C., Bermeo-Giraldo, M., Valencia-Arias, A., Gallegos, A. (2023). Gamificación en la educación superior a través de realidad virtual y aumentada: Revisión de literatura [Gamification in higher education through virtual and augmented reality]. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (E47), 229–244. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/gamificación-en-la-educación-superior-través-de/docview/2858728696/se-2>
18. Navarro, C., Pérez, I., J., Marzo, P. F. (2021). La gamificación en el ámbito educativo español: revisión sistemática (Gamification in the Spanish educational field: a systematic review). *Retos*, 42, 507–516. <https://doi.org/10.47197/retos.v42i0.87384>
19. Nawaz, R., Wood, G., Nisar, H., Yap, V. V. (2023). Exploring the Effects of EEG-Based Alpha Neurofeedback on Working Memory Capacity in Healthy Participants. *Bioengineering*, 10(2), 200. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10020200>
20. NeuroSky. (s. f.). *EEG sensors – EEG headsets*. NeuroSky. Recuperado el 27 de agosto de 2025, de <https://neurosky.com/biosensors/eeeg-sensor/biosensors/>
21. NeuroSky. (2014). *eSense™ Meters*. NeuroSky. Recuperado el 27 de agosto de https://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=esenses_tm
22. Pineda-Espejel, H. A., Alarcón, E., Trejo, M., Chávez, C., Arce, R. (2016). Personal factors associated with pre-competitive anxiety in elite gymnasts. *Science of Gymnastics Journal*, 8 (3), 271-281. <https://doi.org/10.52165/sgj.8.3.271-28>
23. Pop-Jordanova, N., Demerdzieva, A. (2010). Biofeedback Training for Peak Performance in Sport-case study - *Macedonian Journal of Medical Sciences*, 3(2), 113–118. <https://doi.org/10.3889/mjms.1857-5773.2010.0098>
24. Priego, M. K. M. de L. (2023). Exploración cualitativa de la experiencia de flow en bailarinas de ballet que lo practican como hobby. *Revista de Psicología Aplicada al Deporte y al Ejercicio Físico*, 8(1). <https://doi.org/10.5093/rpadef2023a1>
25. Prieto, J. M. (2020). Una revisión sistemática sobre ludificación, motivación y aprendizaje en universitarios. *Teoría De La Educación. Revista Interuniversitaria*, 32(1), 73–99. <https://doi.org/10.14201/teri.20625>
26. Soto García, D., Oliver Coronado, J. F. (2022). Aplicación del conocimiento neurocientífico a un modelo sistémico de entrenamiento en balonmano: Una aproximación metodológica. *E-Balonmano.com: Revista de Ciencias del Deporte*, 18(3), 201-210. <https://doi.org/10.17398/1885-7019.18.201>
27. Stan Suciú, D. F. (2022). *La ansiedad en estudiantes universitarios: cambios en la frecuencia Alpha frontal tras un programa de control de la glosfobia*. [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/56812>

Neurofeedback y Gamificación en el deporte

28. Thibault, R. T., Lifshitz, M., Birbaumer, N., Raz, A. (2015). Neurofeedback, self-regulation, and brain imaging: Clinical science and fad in the service of mental disorders. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 84(4), 193–207. <https://doi.org/10.1159/000371714>
29. Tosti, B., Corrado, S., Mancone, S., Di Libero, T., Carissimo, C., Cerro, G., Rodio, A., da Silva, V. F., Coimbra, D. R., Andrade, A., Diotaiuti, P. (2024). Neurofeedback Training Protocols in Sports: A Systematic Review of Recent Advances in Performance, Anxiety, and Emotional Regulation. *Brain Sciences*, 14(10), 1036. <https://doi.org/10.3390/brainsci14101036>
30. Van Boxtel, G. J. M., Denissen, A. J. J. M., de Groot, J. A., Neleman, M. S., Vellema, J., Hart de Ruijter, E. M. (2024). Alpha neurofeedback training in elite soccer players trained in groups. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 49, 589–602. <https://doi.org/10.1007/s10484-024-09654-1>
31. Vives Ribó, J., Costa-Sánchez, C. (2022). Uso de la práctica imaginada para el afrontamiento de la competición en piragüismo slalom. *Revista de Psicología Aplicada al Deporte y al Ejercicio Físico*, 7(2). <https://doi.org/10.5093/rpadef2022a13>
32. Wang, K.P., Cheng, M.-Y., Elbanna, H., Schack, T. (2023). A new EEG neurofeedback training approach in sports: The effects of function-specific instruction of Mu rhythm and visuomotor skill performance. *Frontiers in Psychology*, 14, 1273186. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1273186>
33. World Medical Association. (2024). *Declaración de Helsinki. Investigación médica con participantes humanos*. <https://www.wma.net/es/que-hacemos/etica-medica/declaracion-de-helsinki/>
34. Zeybek, N., Saygi, E. (2023). Gamification in Education: Why, Where, When, and How? —A Systematic Review. *Games and Culture*, 19(2), 237-264. <https://doi.org/10.1177/15554120231158625>
35. Zhou, W., Nan, W., Xiong, K., Ku, Y. (2024). Alpha neurofeedback training improves visual working memory in healthy individuals. *npj Science of Learning*, 9, 32. <https://doi.org/10.1038/s41539-024-00242-w>