



**Universidad
Europea** MADRID

**Estimulación por campos electromagnéticos
pulsados y sus efectos en el electroencefalograma
humano**

Máster de Psicología General Sanitaria

Autor/a Jorge Martín Núñez Tutor/a Rubén Pérez Elvira

Curso 2021/2022

Resumen

Las técnicas de neuromodulación se postulan como tratamientos alternativos o coadyuvantes a otras terapias, capaces de aliviar los síntomas de distintos trastornos, de tipo mental, neurológico o psiquiátrico. La terapia por campos electromagnéticos pulsados (PEMF) es una de estas técnicas novedosas. Se ha investigado su uso, en trastornos de tipo físico y mental, con ciertos resultados positivos. A pesar de observarse cambios en el estado de salud de los sujetos, aún no se conocen con exactitud los mecanismos de actuación. Este estudio aspira, por tanto, a evaluar los efectos de esta técnica en sujetos sanos. 10 sujetos fueron reclutados para este experimento. Se les realizó una evaluación pre-tratamiento mediante electroencefalogramas, y se aplicó la estimulación PEMF en zonas frontales y parietales durante 5 días, tras lo cual se realizó otra medición post-tratamiento. Además, se les realizó un test de memoria visual computarizado (MemTrax). Se analizó el power, el peak y la coherencia de los sujetos. Los resultados fueron heterogéneos. Se observó un incremento inicial del power en Alpha en la primera sesión, pero en la última sesión este power había descendido a los niveles iniciales. Tampoco se encontraron relaciones clínicas significativas en el cambio del peak y en el análisis de las coherencias, así como tampoco se encontraron diferencias significativas en la prueba MemTrax. Varias limitaciones se deben al pequeño tamaño de la muestra, por lo que, a pesar de ser un estudio preliminar, los resultados son inconclusos y se requiere de mayor investigación.

Palabras clave: “PEMF”, “EEG”, “neuroestimulación”, “electroencefalograma”, “campos electromagnéticos pulsados”.

Abstract

Neuromodulation techniques are postulated as alternative or adjuvant treatments to other therapies, capable of alleviate symptoms of several mental, neurological or psychiatric disorders. Pulsed electromagnetic field therapy (PEMF) is one of these novel techniques. Its use has been investigated in physical and mental disorders, with certain positive results. Although changes in the state of health of the subjects have been observed, the precise mechanisms of action are not yet known. This study therefore aims to evaluate the effects of this technique in healthy subjects. Ten subjects were recruited for this experiment. They underwent a pre-treatment evaluation by means of electroencephalograms, and PEMF stimulation was applied in frontal and parietal areas for 5 days, after which another post-treatment measurement was performed. In addition, a computerized visual memory test (MemTrax) was performed. The subjects' power, peak and coherence were analyzed. The results were heterogeneous. An initial increase in power was observed in Alpha in the first session, but in the last session this power had decreased to initial levels. No significant clinical relationships were found in the peak change and coherence analysis, nor were significant differences found in the MemTrax test. Several limitations are due to the small sample size, so, despite being a preliminary study, the results are inconclusive and further research is required.

Keywords: “PEMF”, “EEG”, “neurostimulation”, “electroencephalogram”, “pulsed electromagnetic fields”

Contenido

1.	Introducción	4
1.1.	La neuroestimulación	4
1.2.	La terapia por PEMF	5
1.3.	PEMF y cambios en el EEG.....	7
1.4.	Objetivos	10
1.5.	Hipótesis.....	10
2.	Metodología	11
2.1.	Diseño.....	11
2.2.	Muestra.....	11
2.3.	Instrumentos	12
2.3.1.	Recogida del EEG, análisis y estimulación	12
2.3.2.	Montreal Cognitive Assesment (MoCa)	14
2.3.3.	MemTrax.....	14
2.4.	Procedimiento.....	14
2.5.	Análisis estadístico.....	18
3.	Resultados	18
3.1.	Power absoluto	19
3.2.	Peak frequency	22
3.3.	Coherencia.....	25
3.4.	MemTrax.....	28
4.	Discusión.....	28
4.1.	Conclusiones	34
5.	Referencias.....	35

Estimulación por campos electromagnéticos pulsados y sus efectos en un electroencefalograma

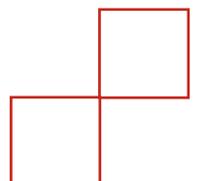
1. Introducción

1.1. La neuroestimulación

En los últimos años, son muchos los abordajes en el campo de la neurociencia que tratan de abordar problemáticas de carácter psicológico, neurológico o psiquiátrico. Entre ellos las técnicas de neuromodulación han mostrado buenos resultados en una variedad amplia de trastornos, además de postularse como una alternativa prometedora para aquellas personas cuyos tratamientos no están teniendo éxito (Ginn et al., 2019).

Dentro del campo de la neuromodulación, las terapias de estimulación cerebral no invasiva, o NIBS (Non-Invasive Brain Stimulation) han recibido mayor atención debido a su reconocimiento como potenciales tratamientos para trastornos, tanto neurológicos como psiquiátricos, así como por aspectos que facilitan su aplicación y por la reducción de efectos adversos (como la no invasividad, el bajo coste o la seguridad del equipo y su aplicación en pacientes) (Heinrichs, 2012). Estas técnicas engloban distintos métodos de intervención que tienen que ver con la administración de energía para modificar el estado bioeléctrico de las neuronas, influyendo así en la actividad cerebral (Biagioni et al., 2018). Actúan mediante corrientes eléctricas o magnéticas, y pueden excitar o inhibir la actividad en distintas regiones cerebrales (Liew et al., 2014).

Por un lado, tenemos la estimulación eléctrica transcraneal (tES), que consiste en el paso de una corriente eléctrica a través del cráneo para así influir en la corteza cerebral, con el objetivo de alterar su funcionamiento (Bestmann & Walsh, 2017). Mediante el uso de electrodos, parte de la corriente que fluye entre estos, penetra a través del cuero cabelludo en el cerebro. Las principales técnicas de estimulación eléctrica cerebral son las siguientes: estimulación transcraneal



por corriente directa (tDCS), estimulación transcraneal por corriente alterna (tACS) y estimulación de ruido aleatorio transcraneal (tRNS) (Reed & Cohen Kadosh, 2018).

Por otro, tenemos la estimulación magnética transcraneal (TMS), que modula la actividad cortical del cerebro mediante la inducción de corriente eléctrica en una bobina, generando un campo magnético que induce potenciales de acción en la membrana de la célula nerviosa, y de esta manera afecta a la actividad neuronal de la zona estimulada (Koutsomitros et al., 2021). Tenemos tres tipos básicos: estimulación mediante pulsos únicos, mediante pares de pulsos separados por intervalos de tiempo o mediante pulsos únicos repetidos (rTMS) (Galletta et al., 2011; Ibiricu & Morales, 2009). De esta estimulación por pulsos, un tipo particular de estimulación se diferencia de la rTMS por el hecho de que utiliza campos magnéticos más débiles. Es la estimulación por Campos electromagnéticos pulsados (PEMF), que también se puede aplicar de manera transcraneal (van Belkum et al., 2016).

1.2. La terapia por PEMF

La terapia por PEMF (t-PEMF) se ha utilizado durante mucho tiempo en el ámbito de la rehabilitación física. Tanto es así que está aprobada por la FDA (Food and Drug Administration - EEUU) para las fracturas óseas desde 1979 (Daish et al., 2018). Se han encontrado beneficios para distintos trastornos musculoesqueléticos, como pueden ser las anteriormente mencionadas fracturas óseas (Murray & Pethica, 2016), osteoartritis (Wang et al., 2019; Wuschech et al., 2015), osteoporosis (Huang et al., 2008), osteonecrosis (Bassett et al., 1989; Marcheggiani Muccioli et al., 2013), tendinopatías (Marmotti et al., 2018) u otros (epicondilitis (Uzunca et al., 2007), dolor crónico musculoesquelético (Thomas et al., 2007), enfermedad discal degenerativa (Hattapoğlu et al., 2019)). Sin embargo, muchos de estos supuestos beneficios son controvertidos, y se quedan en beneficios preventivos o a corto plazo, o incluso otros estudios muestran nulos beneficios por parte de la terapia por PEMF (Hu et al., 2020).

La t-PEMF transcraneal lleva siendo objeto de investigación para el tratamiento de la depresión desde hace varias décadas (Baker-Price & Persinger, 1996). Se han encontrado evidencias de que logra reducir los síntomas depresivos en pacientes resistentes a tratamientos convencionales (Larsen et al., 2020). Un estudio (Martiny et al., 2010) utilizó PEMF en pacientes con trastorno depresivo mayor que presentaban resistencia a la medicación antidepresiva. Se aplicó el tratamiento cinco días por semana durante cuatro semanas. Tras el tratamiento, el grupo tratado con PEMF presentó una reducción significativa respecto al grupo control en la puntuación obtenida en la escala de Hamilton, la escala usada en el estudio como referencia principal. En una revisión (van Belkum et al., 2016) se encontró que los campos magnéticos débiles del tipo de PEMF producían un claro efecto antidepresivo. Sin embargo, estos mismos autores subrayaban las limitaciones que presenta el estudio de investigación. De hecho, en un posterior estudio de estos autores (van Belkum et al., 2021), al disminuir la intensidad del campo magnético respecto al utilizado en otros estudios, no lograron obtener resultados diferentes entre el grupo experimental y el grupo control. Puesto que no se han esclarecido los mecanismos de actuación, no existen aún protocolos muy definidos, por lo que se sugiere que esto podría estar influyendo en la variabilidad de resultados.

Aunque, como hemos dicho, los mecanismos que subyacen al PEMF en el tratamiento de la depresión aún sean desconocidos, se ha hipotetizado que posiblemente produzca un incremento en la excitabilidad cortical, en la angiogénesis y que altere la señal intracelular en los sujetos. Dado que la conectividad entre regiones está alterada en la depresión, los autores creen que la terapia con PEMF podría restaurar esas conexiones dañadas (Vlaicu A & Bustuchina Vlaicu M, 2020).

En general, este tipo de estimulación parece tener una influencia en la actividad sináptica, así como en los canales iónicos de las membranas celulares, promoviendo cambios en las células, estimulando sus distintos procesos y, en última instancia, relacionándose con procesos de reparación y neuroprotección (Premi et al., 2018).

También se ha investigado el uso de los PEMF en otros trastornos: Fibromialgia (Maestú et al., 2013; Shupak et al., 2004, 2006; Sutbeyaz et al., 2009); Esclerosis múltiple (Lappin et al., 2003; Richards et al., 1997); Parkinson (Dogris, 2012; Morberg et al., 2018; Vadalà et al., 2015).

1.3. PEMF y cambios en el EEG

A la hora de analizar los cambios que se producen debido a la estimulación por PEMF, podemos recurrir a medidas de tipo más funcional, como pueden ser los registros por electroencefalogramas (EEG), técnicas electrofisiológicas que nos permiten observar, en tiempo real, la actividad eléctrica que emite el cerebro humano (Louis et al., 2016) y, por tanto, las variaciones que se puedan producir debido a la estimulación magnética.

Cuando hablamos de EEG, solemos tener en cuenta una serie de parámetros comunes:

Power. Quizá la medida más comúnmente estudiada del EEG. Esta describe la fuerza de la señal dada una determinada frecuencia (Petroff et al., 2020), o, dicho de otra manera, la cantidad de actividad registrada de las distintas bandas de la señal (Delta, Theta, Alpha, Beta...) (Xiao et al., 2018), medida en microvoltios al cuadrado. Las bandas cerebrales son el resultado de una descomposición de la señal del electroencefalograma en distintos rangos de frecuencias, cada uno de los cuales presenta características funcionales diferentes (Saby & Marsall, 2012). En la Tabla 1 se muestran las distintas bandas cerebrales junto con sus rangos de frecuencia, y el estado mental subjetivo en el que se manifiestan.

Peak frequency. Medida que hace referencia al máximo valor del *power* en el rango de frecuencias de una banda determinada, es decir, la oscilación más prominente (en microvoltios o microvoltios al cuadrado) de esa banda, como puede ser, por ejemplo, el alpha peak frequency, uno de los peak frequency más observados y estudiados (Ramsay et al., 2021).

Coherencia. Se define como un estimador de la correlación entre pares de señales, reflejando el grado en el que dichas conexiones están presentes a lo largo del córtex (French & Beaumont, 1984; Xiao et al., 2018).

Tabla 1. Bandas cerebrales más comunes

Banda	Rango de frecuencia	Estado mental subjetivo
Delta	0-4	Sueño profundo
Theta	4-7	Somnolencia
Alpha	8-12	Relajación
Beta	12-30	Concentración
Gamma	30-+100	Extrema concentración

En cuanto a los cambios funcionales a nivel cerebral producidos por los PEMF, varios estudios (Cook et al., 2009; Ghione et al., 2005) han sugerido que la exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia afecta a la actividad eléctrica cerebral, mostrada en los electroencefalogramas, en concreto en la banda de Alpha, incrementando el power de ésta.

En otro estudio (Capone et al., 2009) se evaluaron los efectos de PEMF en 22 sujetos sanos. Los sujetos fueron expuestos a una sesión de 45 minutos, y la estimulación se administró mediante una única bobina que rodeaba la cabeza. Tras la sesión se detectó un aumento de la facilitación intracortical (parámetro relacionado con el aumento de la excitabilidad cortical) producida por la estimulación, sugiriendo de esta manera que la estimulación por PEMF pudiera producir una mejora en la neurotransmisión excitatoria cortical.

Otra investigación (Amirifalah et al., 2013) expuso a la corteza sensoriomotora a PEMF (200 μ T). Los resultados fueron: decremento de Beta, del ritmo sensoriomotor (SMR) y de Theta. El estudio sugiere que esta técnica podría por ello ser utilizada para el tratamiento de la ansiedad, aunque más investigación es requerida.

Como ya se mencionó antes, los protocolos no están estandarizados entre los distintos estudios, y de ahí la variabilidad de resultados. El número de sesiones que se deben aplicar de PEMF no está muy claro aún entre la comunidad científica, aunque un estudio con PEMF en tres pacientes observó que existían cambios en el EEG tanto en los dos pacientes que realizaron el tratamiento completo (15 semanas, 1 semanal), como en el tercero que, tras una sesión, tuvo que abandonar el tratamiento (Dogris, 2011).

Otro estudio (Cook et al., 2009) analizó la diferencia en los EEG en dos secuencias distintas de pulsado de PEMF, diferenciándose solo en la longitud de sus períodos refractarios (el período refractario de la secuencia 1, era de 1200 ms, y el de la secuencia 2, 5000 ms). Tras una sesión de 15 minutos se encontró que esta diferencia influía en el power de Alpha en las regiones posteriores, en la condición de secuencia 2 subía, y en la condición de secuencia 1 lo bajaba.

Dada la heterogeneidad de resultados y controversias que encontradas en las distintas investigaciones y que, además, como se ha dicho antes, se aprecia una falta de protocolos estandarizados en este tipo de estimulación, consideramos que podría ser útil observar en primer lugar cuáles son los efectos en el EEG de sujetos sanos, bajo distintas condiciones de estimulación, y con distinto número de sesiones.

A la hora de realizar este estudio se tuvieron en cuenta las posibles implicaciones derivadas de unos resultados positivos. Las aplicaciones clínicas de los posibles resultados podrían ser dos: terapéuticas y evaluativas. Si se confirmara que la aplicación de PEMF produce cambios en el EEG de los sujetos, podría utilizarse como técnica terapéutica en sí misma (habría que estudiar sus efectos en poblaciones clínicas) o como técnica coadyuvante para otros tipos de tratamientos relacionados con la neuromodulación, como pudiera ser por ejemplo el neurofeedback, favoreciendo a este último. Dado que ya se han realizado investigaciones que sugieren resultados positivos en el uso combinado de neurofeedback con estimulación eléctrica (Longo, 2010), o con otros tipos de estimulación magnética (Sokhadze et al., 2014), parece lógico

pensar que la estimulación PEMF pudiera plantearse de la misma manera en caso de mostrarse efectiva.

Además, al igual que la respuesta a la estimulación estroboscópica se utiliza en el campo de la neurología para comprobar el fenómeno del *entrainment* (sincronización de las ondas cerebrales en base a un estímulo externo) en el EEG (Miranda de Sá & Infantosi, 2005), la estimulación PEMF podría utilizarse en el mismo sentido (habría que estudiar el significado clínico de que aparezca o no el *entrainment* magnético).

1.4. Objetivos

El **objetivo principal** de este estudio es el de observar los efectos de la estimulación por PEMF en sujetos sanos. Este objetivo general se divide en varios **objetivos específicos**:

- Observar si la estimulación por PEMF produce efectos significativos en el Electroencefalograma de sujetos sanos.
- Observar si existen efectos significativos en el rendimiento en una tarea cognitiva tras la estimulación.
- Observar si existen efectos diferenciales por la aplicación de distintas frecuencias de PEMF, tanto en el EEG como en el rendimiento de la tarea cognitiva.
- Observar si existen diferencias en los efectos de la PEMF debidas al número de sesiones, es decir, si existe efecto acumulativo intersesión de los efectos de la misma, tanto en el EEG como en el rendimiento en la tarea cognitiva.

1.5. Hipótesis

- El EEG de los sujetos mostrará cambios tras la aplicación de la estimulación por PEMF con respecto al primer EEG.

- Se mostrarán efectos diferenciales en los EEG de los sujetos y en la ejecución cognitiva dependiendo de la frecuencia de la estimulación que hayan recibido.
- Habrá diferencias significativas entre las distintas estimulaciones debido al número de sesiones, independientemente de la frecuencia utilizada. Los efectos serán más notables tras el transcurso de varias sesiones que tras una sesión única.

2. Metodología

2.1. Diseño

El diseño de la investigación es un diseño experimental de tipo factorial, que consiste en una intervención pre-post de medidas repetidas.

2.2. Muestra

La muestra recogida fue de 10 sujetos sanos (70% mujeres). Asistieron de manera voluntaria al experimento, tras la visualización de anuncios colocados acerca del proyecto. Los participantes fueron incluidos en el estudio tras asegurarse de que cumplían los requisitos establecidos. Los criterios de inclusión fueron: (a) tener entre 18 y 40 años; (b) ausencia de historia personal de enfermedades mentales, daño cerebral, trastornos neurológicos, condiciones médicas serias, adicción a las drogas/alcohol que pudieran afectar de manera significativa al funcionamiento cognitivo, o tomar cualquier tipo de medicación psicofarmacológica; (c) firmar el consentimiento informado.

El único criterio de exclusión fue: (a) mostrar sospecha de deterioro cognitivo en base a los resultados dados por la Evaluación Cognitiva de Montreal (MoCa).

Este estudio cuenta con la aprobación del comité de ética centro asociado de NEPSA Rehabilitación Neurológica: *Cercetare si Telemedicină în Bolile Neurologice, Spitalul Clinic de Pediatrie Sibiu* (Rumanía), aprobación nº 2476/06.04.2021

2.3. Instrumentos

2.3.1. Recogida del EEG, análisis y estimulación

Para realizar la recogida de EEG y para la estimulación se usaron distintos instrumentos, ilustrados en la Figura 2.

Se utilizó un set de 4 bobinas de microtesla de BrainMaster Technologies (BrainMaster Technologies, OH, EE.UU.) para proporcionar la intervención de PEMF, junto con un amplificador Atlantis-I de BrainMaster Technologies (BrainMaster Technologies, OH, EE.UU.) y el software BrainAvatar 4.6.4 (BrainMaster Technologies, OH, EE.UU.). Este software se utiliza para distintas funciones relacionadas con la actividad cerebral: la evaluación mediante EEG, como herramienta de neuroimagen, mapeo cerebral, e incluso para distintas técnicas de biofeedback.

Las bobinas emiten pulsos electromagnéticos con una intensidad extremadamente baja (10 μ Tesla) un millón de veces más bajas que la de una resonancia magnética común, muy similar a la emitida por un par de auriculares comunes. Debido a esto, sus efectos se producen de manera subumbral, es decir, no generan potenciales de acción, sino que modulan las funciones neurales (Dufor et al., 2019).

Figura 2. Discovery (1); Bobinas de microtesla (2); Atlantis (3); Modelo con bobinas (4)



Para registrar la actividad eléctrica cerebral de los participantes se utilizó un amplificador Discovery 20 (BrainMaster Technologies, OH, EE.UU.).

Se utilizó el software BrainAvatar 4.6.4 (BrainMaster Technologies, OH, EE.UU.) para registrar el EEG de los sujetos, y NeuroGuide v. 2.9.1 (Applied Neuroscience, Inc.) se utilizó para analizar los valores QEEG. Éste es un programa que permite la edición, cuantificación y análisis de registros electroencefalográficos, y que éstos sean expresados a modo de gráficos o tablas de datos.

2.3.2. Montreal Cognitive Assessment (MoCa)

Se utilizó la escala de Montreal (MoCa) para comprobar el estado cognitivo de los participantes, por su utilidad para medir la cognición global, y para detectar el deterioro cognitivo (Koski et al., 2009).

El MoCa (Nasreddine et al., 2005) evalúa distintos dominios cognitivos, entre los que se encuentran la memoria a corto plazo, las habilidades visoespaciales, varias de las funciones ejecutivas, la abstracción, la atención, la concentración, la memoria de trabajo, y el lenguaje. Es un test que ocupa una página, con 30 puntos y que se administra en aproximadamente 10 minutos. El punto de corte a partir del cual se considera deterioro cognitivo son aquellas puntuaciones inferiores a 26 en la población española (Ojeda et. al, 2016).

2.3.3. MemTrax

El test MeMTrax se utilizó para evaluar el posible efecto sobre el rendimiento cognitivo, dada su aparente ausencia de efecto de práctica, y su validez para evaluar el estado cognitivo (Bergeron et al., 2020; van der Hoek et al., 2019).

Este test consiste en una prueba de reconocimiento continuo, y evalúa la memoria episódica, la atención y la velocidad de procesamiento, y en segundo orden, la función motora. Es un test computarizado que presenta imágenes al sujeto, y este debe reconocer qué imágenes se presentan por primera vez y qué imágenes son repetidas. Las medidas que recoge son el porcentaje de aciertos, o respuestas correctas, y los tiempos de reacción en segundos.

2.4. Procedimiento

El proyecto se realizó en su totalidad en la clínica NEPSA: Rehabilitación Neurológica. Los participantes asistieron a la clínica una semana antes de empezar las sesiones de estimulación

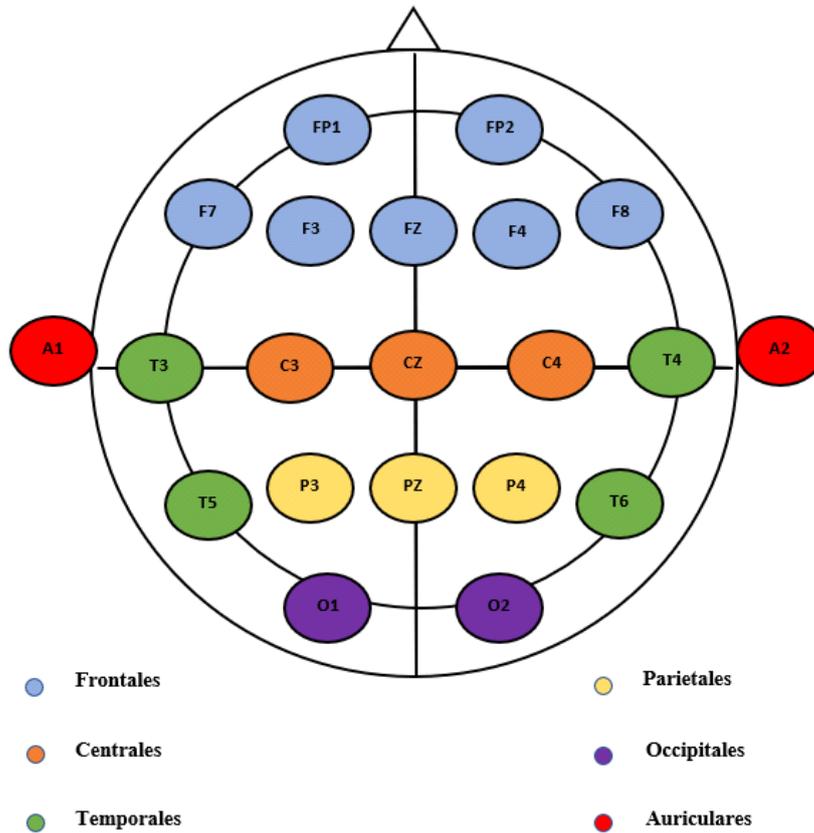
para someterse a la primera grabación del electroencefalograma (Recogida Pre1), con la intención de controlar posibles tendencias aleatorias de los propios sujetos. Esta grabación se realizó con el software Brain Avatar 4.6.4 y el amplificador Discovery (BrainMaster Technologies, OH, USA). Antes de las grabaciones, firmaron el consentimiento informado, y se les aplicó el MoCa. En caso de que los resultados de la evaluación cognitiva fueran adecuados, y que no se observara ninguna anomalía en el EEG, los sujetos continuaron con su participación en el experimento.

Una semana después volvieron a acudir a la clínica y se volvió a registrar su EEG (Recogida Pre2), tras lo cual se aplicó el MemTrax y se les realizó la primera sesión de estimulación por PEMF.

Para aplicar la estimulación se utilizó el amplificador Atlantis-I y las cuatro bobinas de microtesla (BrainMaster Technologies, OH, USA). Siguiendo el Sistema Internacional 10-20 de colocación de electrodos, estas bobinas se posicionaron en cuatro puntos concretos del cuero cabelludo: F3, F4, P3 y P4. La elección de estos canales se debe a que con ellos se cubren todas las interconexiones básicas, y se puede obtener monitorización completa tanto de las áreas frontales izquierda y derecha, como de las posteriores (Collura T.F., 2010).

El Sistema Internacional 10-20 (Jasper, 1958) es el sistema más utilizado para la colocación de electrodos en el cuero cabelludo. Está basado en la identificación de zonas anatómicas concretas, como el nasión, el inión, o los puntos preauriculares, para después colocar los electrodos mediante la medición del cráneo y la división de estos puntos en distancias de un 10 y 20% respecto de las medidas de este (Herwig et al., 2003). Así, cada región tiene un nombre concreto, en base a si se colocan en zonas frontales (F), centrales (C), temporales (T), parietales (P), occipitales (O) o auriculares (A), y si se coloca a izquierda (números impares), derecha (números pares) o en la línea media (Z). En la Figura 3 podemos observar una representación de estas distintas zonas.

Figura 3. Sistema internacional 10-20



Cada sesión de estimulación duró 20 minutos. Esta duración se eligió en base a estudios de PEMF anteriores (Cook et al., 2009). La frecuencia de la estimulación fue asignada de manera aleatoria a cada sujeto (3,5 Hz o 7 Hz). La elección de estas frecuencias como variables de tratamiento se debió a la consulta a un experto (Collura, T.F., comunicación personal).

En la Figura 4 podemos observar el posicionamiento de las bobinas en el cuero cabelludo.

Figura 4. Sujeto recibiendo estimulación



Los EEG fueron exportados al software de análisis NeuroGuide v. 2.9.1 (Applied Neuroscience, Inc.), donde se revisaban y eliminaban aquellos artefactos que generaban ruido en la señal del electroencefalograma.

Al final de la primera sesión, el EEG de los sujetos fue recogido de nuevo para comparar los efectos de una sesión única frente a los efectos tras el transcurso de 5 sesiones (Recogida Post1). La elección de 5 sesiones para comprobar efectos del PEMF fue debida al estudio de investigaciones anteriores con este número de sesiones (Martiny et al., 2010). Dichas sesiones se aplicaron consecutivamente, día tras día, basándonos en estudios previos sobre otras técnicas de neuromodulación (Nitsche et al., 2012). Tras la última sesión, se realizó la evaluación post-tratamiento: se les volvió a aplicar el MemTrax y se recogió el último EEG (Recogida Post2).

2.5. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el software SPSS versión 25. Debido a que el tamaño de la muestra era pequeño, se aplicaron pruebas no paramétricas. Se les realizó una prueba de rangos de Wilcoxon, tanto para el análisis de los EEG, como para el análisis de los MemTrax. En el análisis de los EEG se tuvo en cuenta tres variables: el power absoluto de los sujetos en cada una de sus bandas (Delta, Theta, Alpha, Beta y High Beta), el peak frequency de estos, y la coherencia.

3. Resultados

La media de edad de los sujetos fue de 24,5 años. De los 10 sujetos, la mayoría fueron mujeres (70% de mujeres). En cuanto a la dominancia manual, fueron mayoritariamente diestros (80% de diestros). Se asignó de manera aleatoria la frecuencia, por lo cual a 5 sujetos se les aplicó una frecuencia de 3.5 Hz y a 5 una frecuencia de 7 Hz. Por último, la media de las puntuaciones del MoCa fue de 27,9. Uno de los sujetos no pudo realizar todas las sesiones de estimulación, por lo cual este sujeto fue excluido de las comparaciones con la evaluación Post2.

Tabla 2. Variables sociodemográficas y clínicas de los participantes.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación
Edad	10	20	28	24,5	2,877
MoCa	10	26	30	27,9	1,524

Nota: N →Tamaño de la muestra

3.1. Power absoluto

En las siguientes tablas podemos observar los resultados obtenidos de las diferencias entre los sujetos a nivel del power. Se muestran cada una de las bandas cerebrales (Delta, Theta, Alpha, Beta y High Beta) en cada uno de los cuatro canales analizados (F3, F4, P3 y P4), en cada una de las distintas comparaciones (Pre1-Pre2, Pre2-Post1, Post1-Post2 y Pre2-Post2)

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos al analizar toda la muestra en su conjunto, independientemente de la frecuencia aplicada. Entre Pre2 y Post1 se encontraron diferencias significativas en F3 en Alpha ($p=.022$) y en F4 en Beta ($p=.028$). Entre Post1 y Post2 se encontraron diferencias significativas en F3 en Alpha ($p=.021$) y en F4, también en Alpha ($p=.015$).

Tabla 3. Power de la muestra general (significaciones estadísticas)

	F3				F4				P3				P4			
	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta
Pre1-Pre2	.202	.203	.059	.508	.386	.445	.203	.445	.114	.139	.878	.508	.508	.214	.799	.139
Pre2-Post1	.959	.285	.022 ↑	.285	.285	.508	.241	.028 ↑	.959	.333	.114	.878	.959	.169	.241	.114
Post1-Post2	.314	.314	.021 ↓	.110	.139	.441	.015 ↓	.066	.260	.594	.859	.594	.214	.214	.314	.678
Pre2-Post2	.314	.859	.767	.767	.314	.767	.594	.678	.123	.859	.515	.594	.139	.553	.594	.859

Nota: ↑→aumentó; ↓→disminuyó; diferencias significativas en negrita

En la Tabla 4 se muestran los resultados de las diferencias entre los sujetos del grupo de 3.5 Hz. Entre Pre1 y Pre2 se encontraron diferencias significativas en Delta en P3 ($P=.043$) y en Alpha en P3 ($p=.043$). Entre Pre2 y Post1 se encontraron diferencias significativas en F3, en las bandas de Theta ($p=.043$) y Alpha ($p=.043$) y en Alpha en P4 ($p=.043$). Entre Post1 y Post2 se encontraron diferencias en F3 en Delta ($p=.043$) y Alpha ($p=.043$), en F4 en Delta ($p=.043$) y Alpha ($p=.043$), y en P4 en Alpha ($p=.043$). Y entre Pre2 y Post2 se encontraron diferencias significativas en P3 en Delta ($p=.043$).

Tabla 4. Power intragrupo de 3.5 Hz (significaciones estadísticas)

	F3				F4				P3				P4			
	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta
Pre1-Pre2	.345	.686	.225	.893	.500	.893	.345	.893	.043 ↓	.138	.043 ↓	.893	.500	.500	.345	.345
Pre2-Post1	.225	.043 ↑	.043 ↑	.225	.686	.345	.138	.080	.500	.225	.080	.225	.686	.345	.043 ↑	.138
Post1-Post2	.043 ↓	.225	.043 ↓	.138	.043 ↓	.345	.043 ↓	.225	.080	.345	.225	.345	.080	.345	.043 ↓	.686
Pre2-Post2	.138	.500	.893	.500	.500	.893	.686	.893	.043 ↓	.686	.686	.345	.138	.345	.686	.893

Nota: ↑→aumentó; ↓→disminuyó; diferencias significativas en negrita

En la tabla 5, se muestran los resultados de las diferencias entre los sujetos del grupo de 7 Hz. En este caso solo se encontraron diferencias significativas entre Post1 y Post2, en F3 en Alpha ($p=.021$) y en F4 en Alpha ($p=.015$).

Tabla 5. Power intragrupo de 7 Hz (significaciones estadísticas)

	F3				F4				P3				P4			
	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta
Pre1-Pre2	.500	.080	.080	.225	.500	.345	.345	.225	.500	.686	.225	.500	.893	.273	.686	.138
Pre2-Post1	.686	.686	.225	.500	.080	.686	.893	.225	.686	.893	.686	.500	.686	.225	.500	.500
Post1-Post2	.314	.314	.021 ↑	.110	.139	.441	.015 ↑	.066	.260	.594	.859	.594	.214	.214	.314	.678
Pre2-Post2	.314	.859	.767	.767	.314	.767	.594	.678	.123	.859	.515	.594	.139	.553	.594	.859

Nota: ↑→aumentó; ↓→disminuyó; diferencias significativas en negrita

En la tabla 6 se muestran los resultados de las diferencias entre los dos grupos de tratamientos, 3,5 Hz y 7 Hz. No se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos.

Tabla 6. Power intergrupo (significaciones estadísticas)

	F3				F4				P3				P4			
	Delta	Theta	Alpha	Beta												
Pre1	.754	.754	.175	.175	.347	.602	.175	.117	.917	.754	.347	.251	.917	.602	.251	.251
Pre2	.602	.754	.076	.602	.917	.754	.076	.465	.754	.917	.175	.347	.754	.917	.251	.251
Post1	.754	.917	.347	.754	.917	.917	.347	.917	.917	.602	.754	.602	.917	.917	.347	.347
Post2	.327	.327	.221	.327	.327	.327	.221	.327	.462	1	.286	.190	.413	1	.286	.730

3.2. Peak frequency

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al analizar las diferencias entre los peak de los sujetos.

En la Tabla 7 se muestran las diferencias entre los sujetos de toda la muestra. Entre Pre2 y Post1 se encontraron diferencias significativas en F3 en Beta ($p=.022$). Entre Post1 y Post2 se encontraron diferencias significativas en en F3 en Alpha ($p=.017$) y en F4 en Delta ($p=.012$).

Tabla 7. Peak de la muestra general (significaciones estadísticas)

	F3				F4				P3				P4			
	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta
Pre1-Pre2	.475	.415	.959	.799	.221	.683	.919	.959	.201	.759	.444	.284	.184	.283	.683	.646
Pre2-Post1	.507	.068	.678	.022 ↓	.284	.507	.759	.284	.677	.610	.799	.475	.609	.138	.635	.260
Post1-Post2	.149	.813	.017 ↓	.139	.012 ↓	.859	.260	.813	.260	.477	.624	.515	.069	.553	.314	.260
Pre2-Post2	.766	.374	.123	.314	.406	.373	.208	.594	.123	.889	.192	.594	.259	.678	.575	.314

Nota: ↑→aumentó; ↓→disminuyó; diferencias significativas en negrita

En la Tabla 8 se muestran las diferencias entre los sujetos del grupo de 3,5 Hz. Entre Pre2 y Post1 se encontraron diferencias significativas en F4 en Theta ($p=.043$). Entre Post1 y Post2 se encontraron diferencias significativas en F4 en Delta ($p=.043$) y en P4 en Beta ($p=.043$).

Tabla 8. Peak intragrupo de 3.5 Hz (significaciones estadísticas)

	F3				F4				P3				P4			
	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta
Pre1-Pre2	.686	.500	.500	.893	.684	.345	.500	.686	.786	.416	.893	.080	.786	.223	.500	.893
Pre2-Post1	.893	.068	.893	.225	.416	.043 ↑	.892	.500	.197	.345	.345	.080	.686	.138	.066	.465
Post1-Post2	.461	.786	.080	.080	.043 ↓	.686	1	.345	.684	.686	.465	.043 ↑	.273	.786	.500	.138
Pre2-Post2	.588	.500	.500	.080	.279	.500	.715	.225	.078	1	.893	.225	1.38	.225	.465	.225

Nota: ↑→aumentó; ↓→disminuyó; diferencias significativas en negrita

En la Tabla 9 se muestran las diferencias entre los sujetos del grupo de 7 Hz. Entre Pre2 y Post1 se encontraron diferencias significativas en F3 en Beta ($p=.043$) y en P3 Delta ($p=.043$).

Tabla 9. Peak intragrupo de 7 Hz (significaciones estadísticas)

	F3				F4				P3				P4			
	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta
Pre1-Pre2	.225	.893	.588	.893	.345	.686	.416	.893	.138	.893	.345	.893	.223	.893	.279	.500
Pre2-Post1	.225	.465	.141	.043 ↓	.684	.416	.223	.345	.043 ↑	1	.225	.500	.176	.715	.416	.500
Post1-Post2	.285	1	.109	.715	.109	.461	.066	.273	.465	.715	.715	.273	.144	.715	.715	.715
Pre2-Post2	.577	.465	.109	.465	1	.581	.144	.465	.577	.715	.144	.715	.854	.465	.273	1

Nota: ↑→aumentó; ↓→disminuyó; diferencias significativas en negrita

En la Tabla 10 se muestran las diferencias entre los dos grupos de tratamiento. En Pre1 se encontraron diferencias significativas en F3 en Delta ($p=.047$), en F4 en Delta ($p=.047$) y en P4 en Delta ($p=.016$). En Pre2 se encontraron diferencias significativas en F3 en Beta ($p=.076$) y en F4 en Alpha ($p=.047$).

Tabla 10. Peak intergrupo (significaciones estadísticas)

	F3				F4				P3				P4			
	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta
Pre1	.047A	.402	.175	.175	.209	.600	.175	.175	.047A	.754	.175	.917	.016A	.917	.465	.344
Pre2	.597	.754	.094	.076B	.917	.402	.047B	.117	.463	.754	.251	.917	.175	.207	.347	.530
Post1	.917	.753	.117	.175	.344	.671	.076	.251	.600	.754	.602	.117	1	.754	.602	.754
Post2	.537	.902	.086	.462	.323	.902	.140	.462	.902	1	.327	.712	.462	.806	.806	1

Nota: A→fue mayor en el grupo de 3,5 Hz; B→fue mayor en el grupo de 7 Hz; diferencias significativas en negrita

3.3. Coherencia

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos en relación con las diferencias en la coherencia de los sujetos. Se muestran por un lado los pares de canales (F3F4, F3P3, F4P4 y P3P4), las bandas, y las condiciones comparadas.

En la tabla 11 se muestran las diferencias en la coherencia entre todos los sujetos. Solo se encontraron diferencias significativas entre Pre1 y Pre2, en F3P3 en Beta ($p=.009$).

Tabla 11. Coherencia de la muestra general (significaciones estadísticas)

	F3F4				F3P3				F4P4				P3P4			
	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta
Pre1-Pre2	.959	.721	.386	.059	.646	.799	.241	.009 ↓	.093	.721	.386	.093	.799	.575	.508	.139
Pre2-Post1	.333	.386	.386	.386	.285	.878	.959	.169	.646	.575	.169	.575	.721	.575	.878	.508
Post1-Post2	.515	.314	.953	.173	.314	.314	.678	.515	.594	.214	.859	.859	.953	.859	.859	.515
Pre2-Post2	.767	.953	.374	.314	.110	.086	.214	.314	.859	.066	.314	.441	.678	.678	.767	.374

Nota: ↑→aumentó; ↓→disminuyó; diferencias significativas en negrita

En la Tabla 12 se muestran las diferencias en la coherencia entre los sujetos con 3.5 Hz. Entre Pre1 y Pre2 se encontraron diferencias significativas en F4P4 en Delta ($p=.043$). Entre Pre2 y Post1 se encontraron diferencias significativas en F3P3 en Delta ($p=.043$). Entre Post1 y Post2 se encontraron diferencias significativas en F3P3 en Delta ($p=.043$) y en Theta ($p=.043$). Y entre Pre2 y Post2 se encontraron diferencias significativas en F3P3 en Theta ($p=0.43$) y en F4P4 en Theta ($p=.043$).

Tabla 12. Coherencia intragrupo de 3.5 Hz (significaciones estadísticas)

	F3F4				F3P3				F4P4				P3P4			
	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta
Pre1-Pre2	.500	.225	.345	.225	.225	.225	.345	.080	.043 ↓	.893	.500	.225	.345	.138	.893	.225
Pre2-Post1	.500	.686	.893	.080	.043 ↑	.500	.686	.138	.500	.500	.345	.686	.138	.686	.500	.345
Post1-Post2	.893	.893	.893	.345	.043 ↓	.043 ↓	.225	.138	.893	.345	.500	.893	.345	.893	.225	.893
Pre2-Post2	.893	.500	.500	.893	.080	.043 ↓	.080	.893	.500	.043 ↓	.138	.500	.893	.893	.684	.500

Nota: ↑→aumentó; ↓→disminuyó; diferencias significativas en negrita

En la Tabla 13 se muestran las diferencias en los sujetos con 7 Hz. En este caso solo se encontraron diferencias significativas entre Pre 1 y Pre2, en F3P3 en Beta ($p=0.43$).

Tabla 13. Coherencia intragrupo de 7 Hz (significaciones estadísticas)

	F3F4				F3P3				F4P4				P3P4			
	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta
Pre1-Pre2	.345	.686	.893	.225	.500	.500	.500	.043 ↓	.686	.686	.500	.225	.686	.225	.225	.345
Pre2-Post1	.500	.345	.225	.500	.893	.686	.686	.686	.893	.893	.345	.686	.500	.686	.345	.893
Post1-Post2	.465	.144	1	.273	.465	.465	.273	.715	.273	.465	.144	1	.465	1	1.44	.465
Pre2-Post2	.465	.144	.715	.144	.715	1	1	.068	.273	.715	.715	.465	.465	.465	.715	.465

Nota: ↑→aumentó; ↓→disminuyó; diferencias significativas en negrita

En la Tabla 14 se muestran las diferencias entre los dos grupos, 3.5 Hz y 7 Hz. En Pre1 se encontraron diferencias significativas en F3F4 en Alpha ($p=.032$). También se encontraron diferencias significativas en Post1, en F3P3, en Delta ($p=.032$).

Tabla 14. Coherencia intergrupo (significaciones estadísticas)

	F3F4				F3P3				F4P4				P3P4			
	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta	Delta	Theta	Alpha	Beta
Pre1	.548	.310	.032B	.548	.841	.841	.151	.548	.690	.841	.841	.548	1	.690	.548	1
Pre2	.421	.690	.095	.841	.421	.690	.421	.222	1	.548	.690	.222	.151	.841	.690	.841
Post1	.548	.421	.222	.421	.032A	.151	.095	.056	.690	.690	1	.310	.548	.548	.151	.548
Pre2	1	.286	.190	.556	.905	.413	1	.556	.556	.730	.413	.413	.905	.730	.556	1

Nota: A→fue mayor en el grupo de 3,5 Hz; B→fue mayor en el grupo de 7 Hz; diferencias significativas en negrita

3.4. MemTrax

En las tablas 15 y 16 se muestran los resultados de las diferencias en la ejecución del MemTrax, en la muestra general, por grupos y entre grupos. Como se puede observar, no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los análisis.

Tabla 15. Resultados del MemTrax (significaciones estadísticas)

	General	Intragrupo (3.5 Hz)	Intragrupo (7 Hz)
(%)1-(%)2	.075	.357	.109
TR1-TR2	.859	.686	1

Nota: (%)→ Porcentaje de aciertos; TR→Tiempos de reacción

Tabla 16. MemTrax intergrupo (significaciones estadísticas)

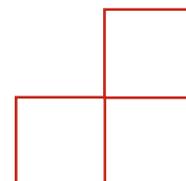
	Intergrupo	
	MemTrax (%)	MemTraxTR
Pre	.823	.251
Post	.258	.806

Nota: (%)→ Porcentaje de aciertos; TR→Tiempos de reacción

4. Discusión

El aspecto más fundamental investigado en el presente estudio fue si la estimulación podía producir efectos significativos en el EEG. Para esto, se analizaron tres parámetros del EEG distintos: el power, el peak y la coherencia.

La elección de las distintas condiciones del experimento (duración de las sesiones, días de tratamiento, elección de sujetos sanos) se realizó en base a la búsqueda inicial de literatura de base sobre tratamientos con PEMF (Capone et al., 2009; Cook et al., 2009; Martiny et al., 2010).



En los resultados se encontraron diversas incoherencias que llevaron a replantear las localizaciones que serían analizadas. Uno de los aspectos metodológicos de este estudio es que, al no existir grupo de control, el propio sujeto hacía de línea base en la medición de su EEG. Por ello, se realizó un EEG una semana antes (Pre1) y uno antes de comenzar la estimulación (Pre2). En la comparación de ambos momentos temporales debería obtenerse ausencia de diferencias significativas entre las mediciones, ya que, entre una y otra, no se aplicó estimulación. A nivel de power se hallaron diferencias en estas condiciones en los canales parietales, pero no en los frontales. Asimismo, también se encontraron diferencias en comparaciones en la coherencia, en los pares F3P3, F4P4 y F3P3. Dadas dichas diferencias debidas a factores no controlados, se descartó la posibilidad de análisis en profundidad de los canales parietales, asegurando de esta manera que estas variables extrañas no pudieran influir en la discusión de resultados. En el peak también se encontraron diferencias entre grupos en Pre1, y también en Pre2, en este caso tanto en canales frontales como parietales. Esto último podría atribuirse a que la muestra fue muy pequeña y, por tanto, la heterogeneidad de los sujetos y sus variaciones neurométricas podría ser alta.

En cuanto al power, observamos que se produjeron mayoritariamente cambios en los canales frontales, y de manera más notable en la banda de Alpha, aunque también en las de Beta, Delta y Theta. Se encontró una diferencia notable entre el grupo al que se aplicó 3,5 Hz con respecto al de 7 Hz. En el primero, el power de Alpha disminuyó en F3 y F4 entre Post 1 y Post2, mientras que, en el grupo de 7 Hz, en estas mismas condiciones, el power de Alpha aumentó. Inicialmente, sin embargo, se produjo una subida significativa de Alpha en algunos canales frontales (pre2 vs post1). Dado que el cambio inicial en Alpha ya se había documentado en otras investigaciones (Cook et al., 2009), esta observación parecía estar dentro de lo esperado. Esto llevó a cuestionarse si es posible que se necesite el transcurso de varios días o de varias sesiones para estabilizar la banda, y producir el efecto de disminución que se produjo en Alpha. Pero el hecho de que no haya diferencias entre Pre2 y Post2 nos puede indicar que más que disminuir Alpha por debajo de los niveles iniciales, lo que se produzca es una habituación (Palermo et al., 2011), y los niveles vuelvan a ser cercanos a aquellos anteriores a la estimulación.

Es interesante el hecho de que en el grupo de 3,5 Hz Alpha disminuyera y en el de 7 Hz aumentara, puesto que podría indicar que el efecto de estas distintas frecuencias, al menos en las bandas observadas, fueran cada una en direcciones opuestas. Esto podría tener implicaciones clínicas a la hora de modular la actividad cerebral en direcciones concretas. Dado que se observaron mayores diferencias significativas en los canales frontales, sobre todo en Alpha (en Theta en F3 se observaron también, posiblemente por la cercanía de su rango superior al rango inferior de Alpha), debe ser considerada la posible influencia sobre la asimetría frontal. La asimetría frontal, es decir, la ratio del power de una determinada banda de frecuencia en un hemisferio sobre el otro, es un indicador de que existe actividad asimétrica en la corteza frontal, entre el hemisferio derecho y el hemisferio izquierdo. Este tipo de asimetría se ha correlacionado con diversas alteraciones o patologías, como pueden ser la depresión (Allen & Reznik, 2015) o la ansiedad (Demerdzieva & Pop-Jordanova, 2015). Algunas investigaciones, en base a estos hallazgos, se han dirigido a tratar esta asimetría con el objetivo de cambiar los síntomas de la patología. En un estudio (George et al., 1995) se trató esta asimetría frontal con rTMS en pacientes con depresión y resistencia a la medicación, y se logró reducir estos síntomas depresivos. Se puede hipotetizar que la PEMF actuara de esta misma manera a nivel terapéutico.

Debe considerarse que aún no sabemos con certeza si los efectos del PEMF son duraderos, por lo que sus implicaciones clínicas han de ser tomadas con cautela. En el caso de que se produjeran efectos menos transitorios, se podría utilizar el PEMF como tratamiento para la asimetría frontal. Pero en caso de que estos efectos no fueran acumulativos, se podría plantear como tratamiento coadyuvante a otras técnicas de modulación, como el neurofeedback, aspecto que se menciona al inicio de este trabajo.

Este tipo de estimulación podría utilizarse como un método de preconditionamiento o entrenamiento del sujeto, y se podría aplicar antes, durante, o incluso después del neurofeedback. E incluso se podrían desarrollar protocolos, no de simple estimulación, sino de estimulación basada en el análisis dinámico de un EEG en vivo. Este EEG mediría las ondas cerebrales a las

que iría dirigido el tratamiento (regiones de interés), y realizaría la estimulación por PEMF de acuerdo con las variaciones en directo de las ondas. Este procedimiento se viene utilizando con estimulación fónica, donde se han obtenido resultados favorables, alterando los ritmos seleccionados, subiendo o bajando a voluntad (Collura, T.F., 2014). Cabe plantearse si este tipo de procedimiento pudiera aplicarse con el PEMF, ya que sí que se utiliza el neurofeedback para el tratamiento de la asimetría frontal (Mennella et al., 2017).

Se ha hipotetizado que determinadas bandas, como, por ejemplo, Alpha y Theta, cuando alcanzan una frecuencia específica en su peak en el que se tornan armónicos (los armónicos son ondas cuya frecuencia es múltiplo de la frecuencia de otra onda) (Hendricks et. al, 2010), se acoplan durante la activación de ciertos procesos cognitivos, asociándose en algunos casos con la mejora de la ejecución cognitiva (Rodríguez-Larios & Alaerts, 2019). En el caso de que se produjese este acoplamiento arrastrando la frecuencia de una u otra banda hacia un armónico de la otra por medio de PEMF, podría considerarse a ésta como intervención para la mejora de la ejecución en determinadas pruebas cognitivas. Comprobamos mediante el análisis del peak y sus cambios, que este cambio no produjo ningún armónico en ninguna de las bandas, por lo cual no se pudo comprobar esta relación. Además, en este caso, en la ejecución de la prueba de MemTrax no encontramos ninguna mejora, aunque esto será discutido en mayor profundidad más adelante.

En cuanto a la coherencia, se encontraron diferencias significativas en los pares fronto-parietales. Debido a que, como se ha mencionado, se encontraron diferencias no esperadas entre Pre1 y Pre2 y que éstas se dieron siempre en presencia de canales parietales, se decidió ignorar dichos canales en los análisis. En los canales observados, la hipocoherencia se relaciona con una baja eficiencia tanto en capacidades y acciones motoras como en procesos perceptivos, mientras que la hipercoherencia se relaciona con la falta de flexibilidad en estas mismas áreas motoras y perceptivas (Walker et. al, 2007). Si se tuviese certeza de que las diferencias significativas se debieron al tratamiento y no a la presencia de variables extrañas, la terapia con PEMF podría utilizarse como herramienta para ayudar a estabilizar anormalidades relacionadas con la

coherencia. Sin embargo, la influencia de las variables extrañas, posiblemente en los canales parietales, impide profundizar en esta posibilidad.

Además del análisis de aquellos cambios producidos en el EEG, otro objetivo de este trabajo fue investigar si se producen cambios en el rendimiento cognitivo tras la PEMF. Para tal fin se utilizó la prueba MemTrax, que es de fácil y breve aplicación, y ofrece datos no sólo de la memoria reciente sino también de los tiempos de reacción. Sin embargo, los análisis de las diferencias en el MemTrax no revelaron diferencias significativas en ninguna de las condiciones.

En principio, las observaciones iniciales pueden incitar a sospechar que el PEMF, bajo estas frecuencias e intensidad determinadas, no produzca efectos significativos en esta prueba en concreto. Hay pocos estudios que relacionen PEMF con aspectos cognitivos. En el caso de la memoria, no se encuentran investigaciones que la relacionen con PEMF en humanos. Sin embargo, existen algunas investigaciones más en modelos animales. Un estudio (Li et al., 2019) indujo a un grupo de ratas a un estado de demencia con estreptozotocina, y les sometió a PEMF y una prueba de memoria (el Morris Water Maze), un laberinto de agua en el cual debían recordar la posición de una plataforma parcialmente hundida. Se encontró que las ratas sometidas a PEMF obtenían mejores resultados en la prueba que las del grupo de control. Sin embargo, la memoria evaluada en esta prueba es de naturaleza visoespacial, y la evaluada por el MemTrax de carácter visual episódica, por lo que no se estarían midiendo exactamente los mismos procesos cognitivos. Aun así, debido a la escasez de evaluaciones sobre PEMF y procesos cognitivos, se decidió utilizar el MemTrax debido a que es un test accesible, y al que se le atribuye la capacidad de captar una proporción significativa de la varianza del funcionamiento cognitivo y del deterioro cognitivo (van der Hoek et al., 2019).

4.1. Limitaciones y sugerencias:

Entre las limitaciones que se presentan en este estudio encontramos el tamaño de la muestra, 10, además de que uno de los sujetos no pudo finalizar todas las sesiones, causando que el número total de participantes que realizó todo el proyecto completo fuera 9, por lo que los resultados deben ser tomados con precaución. Como se mencionó al inicio de este trabajo, hay una ausencia de protocolos estandarizados en relación al PEMF, por lo cual este estudio se arriesga a obtener resultados en cierta medida heterogéneos, trabajando además con escasa literatura de base. Esto, que supone una limitación, a la vez es una razón más para continuar con la investigación, pues todo hallazgo será información novedosa que aportar al campo de la PEMF.

Otra de las limitaciones presente en este trabajo es que la muestra estuvo compuesta mayoritariamente por mujeres, por lo que la equiparación en sexo no es del todo adecuada. Sin embargo, hay que tener en cuenta, por un lado, que la muestra es pequeña, y por otro, que la gran mayoría de los estudiantes fueron del área de psicología.

Dado que la proporción de mujeres en el ámbito de la psicología suele ser ampliamente mayor que la de hombres (Sander & Sanders, 2007), en cierta medida esta diferencia se encuentra dentro de lo esperado. Aun así, sería adecuado recoger más muestra para balancearla en base al sexo.

La composición y tamaño muestral han podido influir en la observación de determinados resultados, como puede ser, por ejemplo, la ausencia de diferencias significativas en la prueba MemTrax. Cabe la posibilidad de que el PEMF, bajo las condiciones expuestas en el estudio, no produzca efectos significativos en la ejecución de esta prueba, pero se necesitarían más datos para poder afirmar esto con seguridad.

También se debe mencionar una pequeña limitación en el estudio de las coherencias, y es que no se pudieron analizar los pares interhemisféricos (F3P4 y F4P3), por lo que la observación de esas coherencias quedó excluida del análisis y, por tanto, desconocemos si podría haberse

obtenido algún resultado relevante adicional de ellas. Teniendo en cuenta que se excluyeron los canales parietales del análisis por la presencia de posibles variables extrañas, los resultados obtenidos en cuanto a la coherencia son escasos. Todo esto podría solucionarse con una muestra mayor.

Finalmente, en cuanto a la influencia que tiene el PEMF sobre el EEG, se observó que los parámetros del power aparentemente volvían a su estado inicial al final del tratamiento.

Esto plantea varias cuestiones: por un lado, que la estimulación por PEMF, al menos en esta investigación, solo tuviera un efecto transitorio, y no un efecto acumulativo. Para asegurar esto se plantea realizar un número superior de sesiones, por ejemplo, el doble, pues 5 podrían resultar insuficientes para generar un cambio duradero. También se podría plantear espaciar las sesiones en varios días alternos, ya que todas las sesiones fueron seguidas y desconocemos si de esta manera se obtendría un efecto más permanente eliminando el posible fenómeno de habituación.

4.2. Conclusiones

Este estudio ha puesto de manifiesto varias cuestiones. Por un lado, la ausencia de protocolos estandarizados para los tratamientos con PEMF. Como se indicó en la introducción, la mayor parte de los estudios utiliza distintas frecuencias, distintas intensidades, y distintas metodologías, por lo que los resultados son heterogéneos y no generalizables. Por otro lado, se pone de manifiesto que en primer lugar hay que llevar a cabo investigación básica y observar lo que ocurre en la actividad cerebral de sujetos sanos, antes de pasar a la investigación clínica aplicada con sujetos enfermos, dado que conocer los mecanismos subyacentes bajo los que actúa el PEMF, aún poco conocidos, resulta fundamental para poder realizar tratamientos dirigidos.

Y, por otra parte, se pone de relieve que se necesitan investigaciones ulteriores en el campo de la PEMF. Este estudio supone una investigación preliminar, pero para poder obtener datos más

fiables y homogéneos, así como protocolos estandarizados, se requiere un aumento de los tamaños muestrales y una mayor exploración de las distintas variables de duración, tratamiento y evaluación.

La terapia por campos electromagnéticos pulsados presenta aún muchas cuestiones sin resolver, lo que la convierte en un área de investigación muy interesante en el campo de la neuromodulación.

5. Referencias

- Allen, J. J. B., & Reznik, S. J. (2015). Frontal EEG Asymmetry as a Promising Marker of Depression Vulnerability: Summary and Methodological Considerations. *Current opinion in psychology*, 4, 93-97. <https://doi.org/10.1016/j.copsy.2014.12.017>
- Amirifalah, Z., Firoozabadi, S. M. P., & Shafiei, S. A. (2013). Local exposure of brain central areas to a pulsed ELF magnetic field for a purposeful change in EEG. *Clinical EEG and neuroscience*, 44(1), 44-52. <https://doi.org/10.1177/1550059412460164>
- Baker-Price, L. A., & Persinger, M. A. (1996). Weak, but complex pulsed magnetic fields may reduce depression following traumatic brain injury. *Perceptual and Motor Skills*, 83(2), 491-498. <https://doi.org/10.2466/pms.1996.83.2.491>

- Bassett, C. A., Schink-Ascani, M., & Lewis, S. M. (1989). Effects of pulsed electromagnetic fields on Steinberg ratings of femoral head osteonecrosis. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 246, 172-185.
- Bergeron, M. F., Landset, S., Zhou, X., Ding, T., Khoshgoftaar, T. M., Zhao, F., Du, B., Chen, X., Wang, X., Zhong, L., Liu, X., & Ashford, J. W. (2020). Utility of MemTrax and Machine Learning Modeling in Classification of Mild Cognitive Impairment. *Journal of Alzheimer's disease: JAD*, 77(4), 1545-1558. <https://doi.org/10.3233/JAD-191340>
- Bestmann, S., & Walsh, V. (2017). Transcranial electrical stimulation. *Current Biology*, 27(23), R1258-R1262. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.11.001>
- Biagioni, M. C., Sharma, K., Migdadi, H. A., & Cucca, A. (2018). Non-Invasive Neuromodulation Therapies for Parkinson's Disease. En *Parkinson's Disease—Understanding Pathophysiology and Developing Therapeutic Strategies*. Intech Open. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75052>
- BrainMaster Technologies (2012). Discovery-20 [Apparatus]. <https://brainmaster.com/product/discovery-20-series/>.
- BrainMaster Technologies (2013). BrainAvatar (Version 4.6.4) [Computer software]. <https://brainmaster.com/product/brainavatar-4-0-for-atlantis/>.
- Capone, F., Dileone, M., Profice, P., Pilato, F., Musumeci, G., Minicuci, G., Ranieri, F., Cadossi, R., Setti, S., Tonalì, P. A., & Di Lazzaro, V. (2009). Does exposure to extremely low

- frequency magnetic fields produce functional changes in human brain? *Journal of Neural Transmission (Vienna, Austria: 1996)*, 116(3), 257-265. <https://doi.org/10.1007/s00702-009-0184-2>
- Collura, T. & Ph.D. (2010, febrero 8). Whole-Head Normalization Using Live Z-Scores For Connectivity Training (Part 1). *BMED Report*. <https://www.bmedreport.com/archives/9246>
- Collura, T.F. (2014). *Technical Foundations of Neurofeedback*. New York, NY: Routledge.
- Cook, C. M., Thomas, A. W., & Prato, F. S. (2004). Resting EEG is affected by exposure to a pulsed ELF magnetic field. *Bioelectromagnetics*, 25(3), 196-203. <https://doi.org/10.1002/bem.10188>
- Cook, C. M., Saucier, D. M., Thomas, A. W., & Prato, F. S. (2009). Changes in human EEG alpha activity following exposure to two different pulsed magnetic field sequences. *Bioelectromagnetics*, 30(1), 9-20. <https://doi.org/10.1002/bem.20434>
- Daish, C., Blanchard, R., Fox, K., Pivonka, P., & Pirogova, E. (2018). The Application of Pulsed Electromagnetic Fields (PEMFs) for Bone Fracture Repair: Past and Perspective Findings. *Annals of Biomedical Engineering*, 46(4), 525-542. <https://doi.org/10.1007/s10439-018-1982-1>
- Demerdzieva, A., & Pop-Jordanova, N. (2015). Relation Between Frontal Alpha Asymmetry and Anxiety in Young Patients with Generalized Anxiety Disorder. *Prilozi (Makedonska*

akademija na naukite i umetnostite. Oddelenie za medicinski nauki), 36(2), 157-177.

<https://doi.org/10.1515/prilozi-2015-0064>

Dogris, N. (2011). Neurofield: Three Case Studies. *Journal of Neurotherapy*, 15(1), 75-83.

<https://doi.org/10.1080/10874208.2010.545754>

Dogris, N. J. (2012). The Effect of Neurofield Pulsed EMF on Parkinson's Disease Symptoms and QEEG. *Journal of Neurotherapy*, 16(1), 53-59.

<https://doi.org/10.1080/10874208.2012.650105>

Dufor, T., Grehl, S., Tang, A. D., Doulazmi, M., Traoré, M., Debray, N., Dubacq, C., Deng, Z.-D., Mariani, J., Lohof, A. M., & Sherrard, R. M. (2019). Neural circuit repair by low-intensity magnetic stimulation requires cellular magnetoreceptors and specific stimulation patterns. *Science Advances*, 5(10), eaav9847. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav9847>

French, C. C., & Beaumont, J. G. (1984). A critical review of EEG coherence studies of hemisphere function. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 1(3), 241-254.

[https://doi.org/10.1016/0167-8760\(84\)90044-8](https://doi.org/10.1016/0167-8760(84)90044-8)

Galletta, E. E., Rao, P. R., & Barrett, A. M. (2011). Transcranial Magnetic Stimulation (TMS): Potential Progress for Language Improvement in Aphasia. *Topics in stroke rehabilitation*, 18(2), 87-91. <https://doi.org/10.1310/tsr1802-87>

George, M. S., Wassermann, E. M., Williams, W. A., Callahan, A., Ketter, T. A., Basser, P., Hallett, M., & Post, R. M. (1995). Daily repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) improves mood in depression. *Neuroreport*, 6(14), 1853-1856.

<https://doi.org/10.1097/00001756-199510020-00008>

Ghione, S., Seppia, C. D., Mezzasalma, L., & Bonfiglio, L. (2005). Effects of 50 Hz electromagnetic fields on electroencephalographic alpha activity, dental pain threshold and cardiovascular parameters in humans. *Neuroscience Letters*, 382(1-2), 112-117.

<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2005.02.072>

Ginn, C., Patel, B., & Walker, R. (2019). Existing and emerging applications for the neuromodulation of nerve activity through targeted delivery of electric stimuli. *International Journal of Neuroscience*, 129(10), 1013-1023.

<https://doi.org/10.1080/00207454.2019.1609473>

Hattapoğlu, E., Batmaz, İ., Dilek, B., Karakoç, M., Em, S., & Çevik, R. (2019). Efficiency of pulsed electromagnetic fields on pain, disability, anxiety, depression, and quality of life in patients with cervical disc herniation: A randomized controlled study. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 49(4), 1095-1101. <https://doi.org/10.3906/sag-1901-65>

Heinrichs, J.-H. (2012). The promises and perils of non-invasive brain stimulation. *International Journal of Law and Psychiatry*, 35(2), 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.ijlp.2011.12.006>

- Hendricks, L., Bengston, W.F., & Gunkelman, J.D. (2010). The Healing Connection: EEG Harmonics, Entrainment, and Schumann's Resonances.
- Herwig, U., Satrapi, P., & Schönfeldt-Lecuona, C. (2003). Using the International 10-20 EEG System for Positioning of Transcranial Magnetic Stimulation. *Brain Topography*, 16(2), 95-99. <https://doi.org/10.1023/B:BRAT.0000006333.93597.9d>
- Hu, H., Yang, W., Zeng, Q., Chen, W., Zhu, Y., Liu, W., Wang, S., Wang, B., Shao, Z., & Zhang, Y. (2020). Promising application of Pulsed Electromagnetic Fields (PEMFs) in musculoskeletal disorders. *Biomedicine & pharmacotherapy = Biomedecine & pharmacotherapie*, 131, 110767. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110767>
- Huang, L., He, H., He, C., Chen, J., & Yang, L. (2008). Clinical update of pulsed electromagnetic fields on osteoporosis. *Chinese Medical Journal*, 121(20), 2095-2099.
- Ibiricu, M. A., & Morales, G. (2009). Estimulación magnética transcraneal. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 32, 105-113.
- Jasper, H.H. (1958) The Ten-Twenty Electrode System of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Koutsomitros, T., Evagorou, O., Schuhmann, T., Zamar, A., & Sack, A. T. (2021). Advances in transcranial magnetic stimulation (TMS) and its applications in resistant depression. *Psychiatrike = Psychiatriki*, 32(Supplement I), 90-98. <https://doi.org/10.22365/jpsych.2021.054>

- Koski, L., Xie, H., & Finch, L. (2009). Measuring Cognition in a Geriatric Outpatient Clinic: Rasch Analysis of the Montreal Cognitive Assessment. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 22(3), 151-160. <https://doi.org/10.1177/0891988709332944>
- Lappin, M. S., Lawrie, F. W., Richards, T. L., & Kramer, E. D. (2003). Effects of a pulsed electromagnetic therapy on multiple sclerosis fatigue and quality of life: A double-blind, placebo-controlled trial. *Alternative therapies in health and medicine*, 9(4), 38-48.
- Larsen, E. R., Licht, R. W., Nielsen, R. E., Lolk, A., Borck, B., Sørensen, C., Christensen, E. M., Bizik, G., Ravn, J., Martiny, K., Vinberg, M., Jankuvienė, O., Jørgensen, P. B., Videbech, P., & Bech, P. (2020). Transcranial pulsed electromagnetic fields for treatment-resistant depression: A multicenter 8-week single-arm cohort study. *European psychiatry: the journal of the Association of European Psychiatrists*, 63(1), e18. <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2020.3>
- Li, Y., Zhang, Y., Wang, W., Zhang, Y., Yu, Y., Cheing, G. L.-Y., & Pan, W. (2019). Effects of pulsed electromagnetic fields on learning and memory abilities of STZ-induced dementia rats. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 38(2), 123-130. <https://doi.org/10.1080/15368378.2019.1591437>
- Liew, S.-L., Santarnecchi, E., Buch, E., & Cohen, L. (2014). Non-invasive brain stimulation in neurorehabilitation: Local and distant effects for motor recovery. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 378. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00378>

- Longo, R. (2010). The use of biofeedback, CES, brain mapping and neurofeedback with youth who have sexual behavior problems. *International Journal of Behavioral Consultation and Therapy*, 6, 142-159. <https://doi.org/10.1037/h0100902>
- Louis, E. K. S., Frey, L. C., Britton, J. W., Frey, L. C., Hopp, J. L., Korb, P., Koubeissi, M. Z., Lievens, W. E., Pestana-Knight, E. M., & Louis, E. K. S. (2016). Introduction. *Electroencephalography (EEG): An Introductory Text and Atlas of Normal and Abnormal Findings in Adults, Children, and Infants [Internet]*. American Epilepsy Society. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK390346/>
- Maestú, C., Blanco, M., Nevado, A., Romero, J., Rodríguez-Rubio, P., Galindo, J., Bautista Lorite, J., de las Morenas, F., & Fernández-Argüelles, P. (2013). Reduction of pain thresholds in fibromyalgia after very low-intensity magnetic stimulation: A double-blinded, randomized placebo-controlled clinical trial. *Pain Research & Management*, 18(6), e101-106. <https://doi.org/10.1155/2013/270183>
- Marcheggiani Muccioli, G. M., Grassi, A., Setti, S., Filardo, G., Zambelli, L., Bonanzinga, T., Rimondi, E., Busacca, M., & Zaffagnini, S. (2013). Conservative treatment of spontaneous osteonecrosis of the knee in the early stage: Pulsed electromagnetic fields therapy. *European Journal of Radiology*, 82(3), 530-537. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.11.011>

- Marmotti, A., Peretti, G., Mattia, S., Mangiavini, L., de Girolamo, L., Viganò, M., Setti, S., Bonasia, D., Blonna, D., Bellato, E., Ferrero, G., & Castoldi, F. (2018). Pulsed Electromagnetic Fields Improve Tenogenic Commitment of Umbilical Cord-Derived Mesenchymal Stem Cells: A Potential Strategy for Tendon Repair—An In Vitro Study. *Stem Cells International*, 2018, 1-18. <https://doi.org/10.1155/2018/9048237>
- Martiny, K., Lunde, M., & Bech, P. (2010). Transcranial low voltage pulsed electromagnetic fields in patients with treatment-resistant depression. *Biological Psychiatry*, 68(2), 163-169. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2010.02.017>
- Mennella R, Patron E, Palomba D. Frontal alpha asymmetry neurofeedback for the reduction of negative affect and anxiety. *Behav Res Ther*. 2017 May; 92:32-40. doi: 10.1016/j.brat.2017.02.002. Epub 2017 Feb 20. PMID: 28236680.
- Miranda de Sá, A. M. F. L., & Infantosi, A. F. C. (2005). Evaluating the entrainment of the alpha rhythm during stroboscopic flash stimulation by means of coherence analysis. *Medical Engineering & Physics*, 27(2), 167-173. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2004.09.011>
- Morberg, B. M., Malling, A. S., Jensen, B. R., Gredal, O., Bech, P., & Wermuth, L. (2018). Effects of transcranial pulsed electromagnetic field stimulation on quality of life in Parkinson's disease. *European Journal of Neurology*, 25(7), 963-969. <https://doi.org/10.1111/ene.13637>

Murray, H. B., & Pethica, B. A. (2016). A follow-up study of the in-practice results of pulsed electromagnetic field therapy in the management of nonunion fractures. *Orthopedic Research and Reviews*, 8, 67-72. <https://doi.org/10.2147/ORR.S113756>

Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J. L., & Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: A Brief Screening Tool For Mild Cognitive Impairment. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(4), 695-699. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x>

Nitsche MA. Transcranial direct current stimulation of the human brain. from basic principles to clinical application *Klinische Neurophysiologie*. 43: 220-227. DOI: [10.1055/s-0032-1316307](https://doi.org/10.1055/s-0032-1316307)

Ojeda del Pozo, N.; del Pino Sáez, R.; Ibarretxe Bilbao, N.; Schretlen, D.J.; Peña Lasa, J. Test de evaluación cognitiva de Montreal: Normalización y estandarización de la prueba en población española. *Rev. Neurol.* 2016, 63, 488.

Palermo, A., Giglia, G., Vigneri, S., Cosentino, G., Fierro, B., & Brighina, F. (2011). Does habituation depend on cortical inhibition? Results of a rTMS study in healthy subjects. *Experimental Brain Research*, 212(1), 101-107. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2701-4>

Premi, E., Benussi, A., La Gatta, A., Visconti, S., Costa, A., Gilberti, N., Cantoni, V., Padovani, A., Borroni, B., & Magoni, M. (2018). Modulation of long-term potentiation-like cortical

- plasticity in the healthy brain with low frequency-pulsed electromagnetic fields. *BMC Neuroscience*, 19(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s12868-018-0434-z>
- Ramsay, I. S., Lynn, P. A., Schermitzler, B., & Sponheim, S. R. (2021). Individual alpha peak frequency is slower in schizophrenia and related to deficits in visual perception and cognition. *Scientific Reports*, 11(1), 17852. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97303-6>
- Reed, T., & Cohen Kadosh, R. (2018). Transcranial electrical stimulation (tES) mechanisms and its effects on cortical excitability and connectivity. *Journal of Inherited Metabolic Disease*. <https://doi.org/10.1007/s10545-018-0181-4>
- Richards, T. L., Lappin, M. S., Acosta-Urquidi, J., Kraft, G. H., Heide, A. C., Lawrie, F. W., Merrill, T. E., Melton, G. B., & Cunningham, C. A. (1997). Double-blind study of pulsing magnetic field effects on multiple sclerosis. *Journal of Alternative and Complementary Medicine (New York, N.Y.)*, 3(1), 21-29. <https://doi.org/10.1089/acm.1997.3.21>
- Rodriguez-Larios, J., & Alaerts, K. (2019). Tracking transient changes in the neural frequency architecture: Harmonic relationships between theta and alpha peaks facilitate cognitive performance. *The Journal of Neuroscience*, 39(32), 6291–6298. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2919-18.2019>
- Saby, J. N., & Marshall, P. J. (2012). The utility of EEG band power analysis in the study of infancy and early childhood. *Developmental neuropsychology*, 37(3), 253–273. <https://doi.org/10.1080/87565641.2011.614663>

- Sander, P., & Sanders, L. (2007). Gender, psychology students and higher education. *Psychology Learning & Teaching*, 6(1), 33-36. <https://doi.org/10.2304/plat.2007.6.1.33>
- Shupak, N. M., Prato, F. S., & Thomas, A. W. (2004). Human exposure to a specific pulsed magnetic field: Effects on thermal sensory and pain thresholds. *Neuroscience Letters*, 363(2), 157-162. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2004.03.069>
- Shupak, N. M., McKay, J. C., Nielson, W. R., Rollman, G. B., Prato, F. S., & Thomas, A. W. (2006). Exposure to a specific pulsed low-frequency magnetic field: A double-blind placebo-controlled study of effects on pain ratings in rheumatoid arthritis and fibromyalgia patients. *Pain Research & Management*, 11(2), 85-90. <https://doi.org/10.1155/2006/842162>
- Sokhadze, E. M., El-Baz, A. S., Tasman, A., Sears, L. L., Wang, Y., Lamina, E. V., & Casanova, M. F. (2014). Neuromodulation integrating rTMS and neurofeedback for the treatment of autism spectrum disorder: An exploratory study. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 39(0), 237-257. <https://doi.org/10.1007/s10484-014-9264-7>
- Sutbeyaz, S. T., Sezer, N., Koseoglu, F., & Kibar, S. (2009). Low-frequency pulsed electromagnetic field therapy in fibromyalgia: A randomized, double-blind, sham-controlled clinical study. *The Clinical Journal of Pain*, 25(8), 722-728. <https://doi.org/10.1097/AJP.0b013e3181a68a6c>

- Thomas, A. W., Graham, K., Prato, F. S., McKay, J., Forster, P. M., Moulin, D. E., & Chari, S. (2007). A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Clinical Trial Using a Low-Frequency Magnetic Field in the Treatment of Musculoskeletal Chronic Pain. *Pain Research and Management, 12*(4), 249-258. <https://doi.org/10.1155/2007/626072>
- Uzunca, K., Birtane, M., & Taştekin, N. (2007). Effectiveness of pulsed electromagnetic field therapy in lateral epicondylitis. *Clinical Rheumatology, 26*(1), 69-74. <https://doi.org/10.1007/s10067-006-0247-9>
- Vadalà, M., Vallelunga, A., Palmieri, L., Palmieri, B., Morales-Medina, J. C., & Iannitti, T. (2015). Mechanisms and therapeutic applications of electromagnetic therapy in Parkinson's disease. *Behavioral and Brain Functions, 11*.
- van Belkum, S. m., Bosker, F. J., Kortekaas, R., Beersma, D. G. M., & Schoevers, R. A. (2016). Treatment of depression with low-strength transcranial pulsed electromagnetic fields: A mechanistic point of view. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry, 71*, 137-143. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2016.07.006>
- van Belkum, S. M., de Boer, M. K., Opmeer, E. M., Kortekaas, R., Mulder, T., Woonings, F., Hoenders, H. J. R., Kamphuis, H., Aleman, A., & Schoevers, R. A. (2021). No antidepressant effects of low intensity transcranial pulsed electromagnetic fields for treatment resistant depression. *Journal of Affective Disorders, 294*, 679-685. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.07.087>

van der Hoek, M. D., Nieuwenhuizen, A., Keijer, J., & Ashford, J. W. (2019). The MemTrax Test Compared to the Montreal Cognitive Assessment Estimation of Mild Cognitive Impairment. *Journal of Alzheimer's disease: JAD*, 67(3), 1045-1054.

<https://doi.org/10.3233/JAD-181003>

Vlaicu A & Bustuchina Vlaicu M. (2020). New neuro modulation techniques for treatment resistant depression. *International journal of psychiatry in clinical practice*, 24(2), 106-106-115. MEDLINE Complete. <https://doi.org/10.1080/13651501.2020.1728340>

Jonathan E. Walker MD, Gerald P. Kozlowski PhD & Robert Lawson MS (2007): A Modular Activation/Coherence Approach to Evaluating Clinical/QEEG Correlations and for Guiding Neurofeedback Training: Modular Insufficiencies, Modular Excesses, Disconnections, and Hyperconnections, *Journal of Neurotherapy: Investigations in Neuromodulation, Neurofeedback and Applied Neuroscience*, 11:1, 25-44

Wang, T., Xie, W., Ye, W., & He, C. (2019). Effects of electromagnetic fields on osteoarthritis. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 118, 109282.

<https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.109282>

Wuschech, H., von Hehn, U., Mikus, E., & Funk, R. H. (2015). Effects of PEMF on patients with osteoarthritis: Results of a prospective, placebo-controlled, double-blind study.

Bioelectromagnetics, 36(8), 576-585. <https://doi.org/10.1002/bem.21942>

Xiao, R., Shida-Tokeshi, J., Vanderbilt, D. L., & Smith, B. A. (2018). Electroencephalography power and coherence changes with age and motor skill development across the first half year of life. *PLoS ONE*, *13*(1), e0190276. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190276>