

# ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS ESPECTRALES DEL EEG PRODUCIDOS POR EL ENTRENAMIENTO NEUROCOGNITIVO MEDIANTE UNA INTERFAZ CEREBRO-ORDENADOR

Javier Gomez-Pilar

Grupo de Ingeniería Biomédica, Universidad de Valladolid. E. T. S. de Ingenieros de Telecomunicación,  
Paseo Belén 15, 47011 – Valladolid, España. [javier.gomez@gib.tel.uva.es](mailto:javier.gomez@gib.tel.uva.es)

Rebeca Corralejo Palacios, Víctor Martínez-Cagigal, Daniel Álvarez González, Roberto Hornero Sánchez

## Resumen

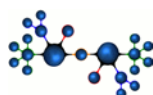
*Los sistemas cerebro-ordenador (Brain-Computer Interfaces, BCIs) se han convertido no sólo en una herramienta asistencial para personas con discapacidad, sino también en una manera de rehabilitar ciertas funciones motoras o cognitivas. La plasticidad cerebral puede ser restaurada en una función cerebral normal mediante la inducción de acontecimientos que varíen la actividad cerebral. La sincronización/desincronización voluntaria de la actividad del electroencefalograma (EEG) en las bandas espectrales alfa y beta están asociadas con diferentes áreas cognitivas. En este sentido, el entrenamiento neurocognitivo (Neurofeedback Trainin, NFT) ha de mostrado ser una herramienta eficaz para controlar la propia actividad cerebral. Por tanto, se abre la posibilidad de diseñar protocolos de entrenamiento combinando las virtudes del NFT y de los sistemas BCI. En anteriores estudios, hemos demostrado que el NFT produce cambios cognitivos en distintas funciones cerebrales. Sin embargo, para reforzar estos hallazgos, es importante encontrar evidencias de cambios en el EEG después de realizar el NFT. En el presente estudio, fueron analizados los cambios neurocognitivos utilizando un grupo de control (20 sujetos) y un grupo de entrenamiento (11 sujetos) antes y después de realizar el NFT. Además, se analizaron los cambios espectrales en las bandas entrenadas del EEG mediante la potencia relativa (PR). Después de únicamente 5 sesiones de entrenamiento, se encontraron mejoras significativas ( $p < 0.05$ ) en varias funciones cognitivas. Asimismo, se observó un aumento significativo de la PR en el grupo experimental en las bandas entrenadas. Este estudio pone de manifiesto, que los cambios en el EEG debidos al NFT se encuentran ligados a un aumento de la potencia en las bandas espectrales entrenadas. Estos cambios espectrales podrían ayudar a explicar las causas subyacentes de las mejoras cognitivas debidas al NFT.*

**Palabras Clave:** Neurofeedback, BCI, EEG.

## 1 INTRODUCCIÓN

Las personas mayores se ven sometidas a numerosos cambios que pueden implicar un peor rendimiento cognitivo en comparación con personas jóvenes. Algunas de las funciones cognitivas que pueden verse mermadas son la percepción visoespacial y la memoria o la atención [5]. Aunque algunas personas mayores realizan tareas cognitivas con la misma eficiencia los jóvenes, el déficit cognitivo es una de las características más extendidas entre las personas de edad avanzada [7]. Además, una de cada tres personas en los países desarrollados superará los 60 años en el año 2050 [15]. Por lo tanto, parece claro que el estudio de aplicaciones dirigidas a promover un envejecimiento saludable es de suma importancia.

Estudios recientes abordan la posibilidad del uso de sistemas cerebro-ordenador (*Brain-Computer Interfaces*, BCIs) para restaurar la plasticidad cerebral mediante la estimulación endógena repetitiva de la señal cerebral obtenida a partir del electroencefalograma (EEG) [11, 12]. Una forma de llevarlo a cabo es mediante el aprendizaje de la activación o desactivación de ciertas regiones corticales mediante tareas de imaginación motora. De esta forma, aparecen novedosos métodos basados en entrenamiento neurocognitivo (*NeuroFeedback Training*, NFT) que comienzan a demostrar su eficacia como herramienta de rehabilitación cognitiva [16]. Sin embargo, la fiabilidad del NFT aún se encuentra en entredicho. Aunque Bauer [3] encontró incrementos en la banda alfa después de la realización del NFT, varios estudios [9, 16] indicaron que, en ocasiones, no se encuentran efectos espectrales en el EEG ocasionados por el entrenamiento [20]. Sin embargo, estos estudios no llevaron a cabo ningún análisis acerca de los posibles cambios cognitivos producidos por el NFT. Por tanto, aunque existen varios estudios que evalúan cambios espectrales y cognitivos de manera conjunta [1, 20], hasta donde alcanza nuestro conocimiento, ninguno evaluó las virtudes conjuntas de los sistemas BCI y protocolos NFT orientados a mejorar la plasticidad cerebral mermada por los efectos del envejecimiento.



En este estudio, se verificaron los cambios en diferentes funciones cognitivas producidos por el NFT en personas mayores de 60 años, los cuales ya fueron puestos de manifiesto en anteriores estudios con un grupo experimental diferente [12]. Para ello, diferentes áreas cognitivas fueron evaluadas antes y después de la realización del NFT. En total, 31 sujetos participaron en el estudio: 11 realizaron el NFT (grupo experimental) y 20 no lo realizaron (grupo de control). El NFT diseñado consiste en 5 juegos diferentes presentados con un sistema BCI y controlados mediante tareas de imaginación motora. Además, se evaluaron los cambios espectrales en el grupo experimental en las tres bandas espectrales entrenadas, correspondientes a bandas centradas en 12, 18 y 21 Hz con anchos de banda de 3 Hz.

La hipótesis de partida sostiene que una estimulación endógena repetitiva de la actividad cerebral en ciertas áreas corticales mejora la plasticidad cerebral, produciendo cambios en el EEG e incrementos en diversas funciones cognitivas asociadas con los efectos del envejecimiento. Esta suposición se basa en indicios previos que relacionan el envejecimiento con una disminución de la función cognitiva cuyo origen se debe a cambios en la plasticidad [4]. Además, el NFT llega a producir cambios microestructurales en la materia blanca y gris cerebral [10]. Por lo tanto, es lógico pensar que el entrenamiento continuado de la actividad de distintas regiones cerebrales que han perdido plasticidad ayuda a reducir el deterioro cognitivo asociado al envejecimiento. Estos cambios en la plasticidad deberían repercutir en la actividad del EEG.

El objetivo de este estudio consiste en evaluar los posibles cambios espectrales en el EEG, al tiempo que se verifican los cambios cognitivos, ambos debidos al NFT realizado mediante un sistema BCI. Se abordan fundamentalmente dos preguntas de investigación: (i) ¿se verifican los cambios cognitivos debidos al NFT encontrados en anteriores estudios con un nuevo grupo experimental?; (ii) ¿se encuentran estos cambios asociados con cambios espectrales en el EEG?

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 SUJETOS BAJO ESTUDIO

Un total de 31 sujetos participaron en este estudio. Debido a que el estudio se centró en los efectos del envejecimiento, todos los participantes eran mayores de 60 años. Ninguno de ellos tenía experiencia previa BCI (BCI-naives). La población estaba dividida en un grupo de control (20 sujetos) y un grupo experimental (11 sujetos). El grupo de control estaba compuesto por 13 mujeres y 7 varones (edad =  $69,4 \pm 5,5$  años, rango = 61-80 media), mientras que el

grupo experimental consistió en 7 mujeres y 4 varones (edad media =  $69,4 \pm 5,7$  años, rango = 60 - 81). No se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ , test  $U$  de Mann-Whitney) en la edad ni en el sexo entre ambos grupos.

### 2.2 REGISTRO DE EEG

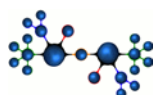
El EEG se adquirió mediante 8 electrodos activos (F3, F4, T7, C3, Cz, C4, T8 y PZ) colocados en un gorro elástico, de acuerdo con el sistema internacional 10-20. Las señales se referenciaron al potencial asociado a un electrodo situado en el lóbulo de la oreja. Por su parte, el electrodo de tierra se encontraba en el canal AFZ. Los registros de EEG fueron filtrados en tiempo real mediante un filtro *hardware* con un ancho de banda entre 0.1 y 60 Hz. Además, se realizó un filtrado de ranura con el fin de eliminar la interferencia de la red eléctrica (50 Hz). Las señales fueron adquiridas mediante un amplificador g.USBamp (Guger Technologies OG, Graz, Austria) y fueron almacenadas digitalmente con una frecuencia de muestreo de 256 Hz. Se utilizó un filtrado espacial laplaciano sobre C3 y C4 para proporcionar realimentación a los usuarios. En concreto, las bandas espectrales de 3 Hz centradas en 12, 18 y 21 Hz se utilizaron con el fin de entrenar las bandas de frecuencia alfa y beta. Para llevar a cabo el registro y procesamiento en tiempo real de la señal se utilizó el sistema de propósito general BCI2000 [14].

### 2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento consistió en cuatro pasos:

1. Pre-test. Ambos grupos realizaron el test neuropsicológico de adultos de Luria [7]. Este pre-test sirve como base para conocer el punto de partida de las características neuropsicológicas de todos los sujetos antes del NFT. El test de Luria supone una manera más exhaustiva de medición de habilidades cognitivas que las pruebas generalmente aplicadas en estudios similares anteriores (por ejemplo, tareas de rotación mental).

2. NFT. El grupo NFT realizó diferentes tareas NFT durante 5 sesiones (una por semana). La duración de cada sesión fue de alrededor de una hora. Este paso es una de las principales novedades de este estudio. La utilización de tareas de imaginación motora como método para estimular ciertas regiones corticales se presenta como una alternativa a las técnicas aplicadas en otros estudios como la evocación de emociones [16] o la presentación de caras que simulan estados de ánimo [17]). Gracias a este sistema BCI, el protocolo de NFT es relativamente simple de realizar. Además, los sistemas BCI también permiten un diseño amigable de forma que los participantes se encuentran más predisuestos a realizar las tareas de entrenamiento.



La aplicación utilizada así como las diferentes tareas realizadas pueden consultarse en [11].

3. Post-test. Todos los sujetos (grupo de control y experimental) realizaron nuevamente el test de Luria. Por lo tanto, los posibles cambios en las diferentes áreas cognitivas pudieron ser evaluadas.

4. Análisis *offline*. Se llevó a cabo diferentes análisis estadísticos para verificar los cambios en las funciones cognitivas, así como técnicas espectrales de procesamiento para evaluar los cambios en la potencia en las bandas entrenadas del EEG.

## 2.4 PROCESADO OFFLINE

### 2.4.1 Análisis Luria

En primer lugar, se realizó un análisis global para comprobar las tendencias en las puntuaciones de las puntuaciones de las nueve funciones cognitivas evaluadas. Una vez que observadas estas variaciones, se analizó si los cambios eran significativos.

### 2.4.2 Análisis del EEG

Los datos del EEG fueron procesados utilizando Matlab R2011b. Se eliminó el ruido procedente de artefactos oculares mediante un análisis de componentes independientes (*Independent Component Analysis*, ICA) [13]. A continuación, se obtuvo la potencia relativa (*PR*) para cada uno de los canales para las bandas espectrales entrenadas (bandas de 3 Hz centradas en 12, 18, y 21 Hz). Para ello se utilizó el EEG registrado en reposo (2 minutos) de cada uno de los 11 sujetos del grupo experimental adquirido antes y después de cada una de las 5 sesiones de entrenamiento. La *PR* se define como la relación entre el área encerrada bajo la curva de la densidad espectral de potencia (PSD) en la banda de frecuencia de interés entre el área total:

$$PR = \frac{\sum_{f_i=f_l}^{f_N} PSD(f_i)}{\sum_{f_L}^{f_U} PSD(f_i)}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

donde  $f_l$  es -1.5 Hz and  $f_N$  es +1.5 Hz a partir de la frecuencia central de interés,  $N$  es el número de muestras de la PSD en dicha región,  $f_l$  representa 0.1 Hz y  $f_U$  60 Hz. Para ello, la PSD se calculó usando el método no paramétrico de Welch, el cual es adecuado para el análisis de señales no estacionarias [18]. Se utilizó una ventana de Hamming de  $2^{13}$  muestras, con solapamiento del 90% y transformada rápida de Fourier (*Fourier Fast Transform*, FFT) de  $2^{13}$  puntos. Finalmente, los cambios de la *PR* encontrado fueron analizados estadísticamente.

### 2.4.3 Análisis estadístico

Se llevó a cabo un análisis descriptivo en las puntuaciones del test de Luria con el fin de explorar la distribución de las puntuaciones en el pre- y post-test. Para ello, se aplicaron el test de Kolmogorov Smirnov y el test de Levene para evaluar la normalidad y la homocedasticidad, respectivamente. Ya que no se cumplían los supuestos paramétricos, se utilizaron test no paramétricos para realizar el análisis estadístico. Las puntuaciones de los test se analizaron de dos formas: (i) se utilizó el test *U* de Mann-Whitney ( $p < 0.05$ ) para evaluar las diferencias estadísticas en las puntuaciones de cada función neuropsicológica entre ambos grupos (análisis intergrupo) y (ii) se aplicó el test de signos con rango de Wilcoxon ( $p < 0.05$ ) para evaluar las diferencias estadísticas entre las puntuaciones pre- y post-test (análisis intragrupo). Se obtuvieron un total de tres *p*-valores por cada función cognitiva:

- Comparación de las puntuaciones pre- entre los grupos control y experimental (Mann-Whitney).
- Comparación entre los resultados pre- y post- en el grupo de control (Wilcoxon).
- Comparación de los resultados pre- y post- en el grupo de experimental (Wilcoxon).

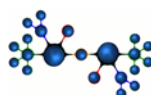
En cuanto a los datos de EEG, se evaluaron los cambios en la *PR* entre el registro basal antes de comenzar el protocolo NFT y al finalizar las 5 sesiones del mismo. Las bandas evaluadas fueron las entrenadas, es decir, las utilizadas para proporcionar realimentación en tiempo real a los usuarios: bandas de 3 Hz centradas en 12, 18, y 21 Hz. Puesto que de nuevo los datos no cumplieron con los supuestos paramétricos, se aplicó el test estadístico de Wilcoxon a cada uno de los canales registrados.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 RESULTADOS NEUROCOGNITIVOS

En primer lugar, se analizó las tendencias de las puntuaciones pre- y post-test para el grupo de control y experimental. Dichas tendencias se reflejan en la figura 1. En dicha figura se aprecia que las puntuaciones en el grupo de control permanecen prácticamente sin cambios, las puntuaciones del grupo experimental se ven claramente incrementadas después de la realización del NFT.

Para evaluar si las variaciones en los test eran significativas, se llevó a cabo un estudio estadístico. Los resultados se muestran en la tabla 1. Dichos resultados muestran que no existen diferencias cognitivas significativas entre la población de control y la experimental antes de realizar en NFT. Tampoco se observaron cambios significativos entre las



puntuaciones ambos test en el grupo de control. Por el contrario, se aprecian variaciones significativas en las puntuaciones del grupo experimental en memoria lógica, dibujos temáticos y actividad conceptual.

### 5.1 RESULTADOS ESPECTRALES

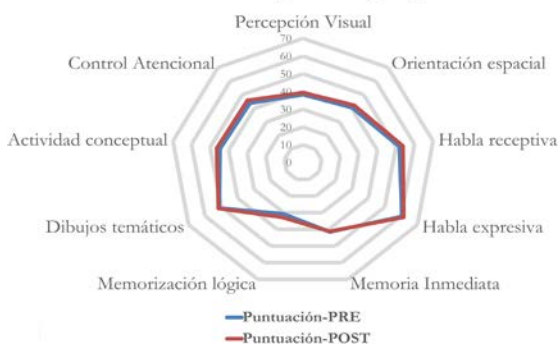
Las señales de EEG fueron procesadas para obtener los valores de *PR* en cada una de las bandas bajo estudio (bandas espectrales de 3 Hz centradas en 12, 18 y 21 Hz). Por tanto, se obtuvieron 264 valores de *PR* pre-NFT (11 sujetos × 8 canales × 3 bandas espectrales) y otros tantos para el post-NFT. La figura 2 muestra las diferencias de la *PR* entre el pre-NFT y el post-NFT. Cuando los cambios son positivos significa que la *PR* post-NFT es mayor que la *PR* pre-NFT ( $PR_{post} - PR_{pre}$ ) para la banda y el canal evaluados. Todas las diferencias fueron positivas en este estudio. Por tanto, la *PR* se incrementó en cada uno de los canales y bandas espectrales. En particular, los canales marcados con un asterisco (\*) implican un  $p < 0.05$ , mientras que dos asteriscos (\*\*) significan  $p < 0.01$ . Las regiones frontales muestran un incremento generalizado. Además, las regiones temporales y centrales mostraron también un incremento significativo aunque menor.

## 5 DISCUSIÓN

En el presente estudio, se ha evaluado el protocolo de NFT realizado por medio de un sistema BCI basado en ejercicios de imaginación motora. El análisis se centró en su aplicación para minimizar los efectos del envejecimiento, por lo que la población bajo estudio fue mayor de 60 años. La evaluación metodológica se llevó a cabo siguiendo dos vías. En primer lugar se analizaron los resultados cognitivos obtenidos a partir del test neuropsicológico de Luria. Por otra parte, se estudiaron las variaciones espectrales del EEG mediante la obtención de la *PR*.

Respecto a las estudio cognitivo, no se encontraron diferencias significativas entre el grupo de control y el experimental antes de realizar el entrenamiento.

#### Puntuaciones Luria para el grupo de control



Esto indica que la distribución de las puntuaciones era similar antes de realizar el NFT. Este hecho es relevante, ya que proporciona una base sólida para los posteriores hallazgos en las comparaciones intragrupo. En relación con las puntuaciones intragrupo, los resultados mostraron que los leves cambios en las puntuaciones del test de Luria en el grupo de control entre el pre- y el post-test no fueron significativos. Algo lógico ya que no realizaron entrenamiento alguno y pasó un tiempo insuficiente entre ambos test (aproximadamente 2 meses) para apreciar deterioro cognitivo debido a los efectos del envejecimiento. Sin embargo, las puntuaciones en el grupo experimental se vieron significativamente incrementadas ( $p > 0.05$ ) en diferentes características cognitivas: memoria lógica, dibujos temáticos y actividad conceptual. Estos resultados son coherentes con anteriores estudios [11, 12].

Por otra parte, se analizaron los cambios espectrales en el EEG. Se observó, que la potencia en las distintas áreas entrenadas aumentó significativamente en varios canales después de realizar el entrenamiento. Gracias al NFT se aprende a autorregular la propia actividad cerebral, produciendo sincronizaciones/desincronizaciones en distintas bandas espectrales (las que se hayan elegido para suministrar realimentación al usuario). Esto se traduce en un aumento de la potencia en dichas bandas, al menos, a corto plazo. Dicho aumento de la potencia se refleja en la *PR* de los registros basales adquiridos después del NFT. Estos hallazgos refuerzan los resultados cognitivos obtenidos.

Las bandas espectrales elegidas en este estudio para suministrar realimentación han sido escogidas por motivos muy concretos. Con respecto a la banda centrada en 12 Hz, estudios previos mostraron que las frecuencias superiores de la banda alfa se encuentran íntimamente relacionadas con distintos aspectos del área de la memoria y el área intelectual [3, 8]. Otros estudios también sugieren relación con la función visoespacial [6] o la memoria semántica [16]. Sin embargo, algunos estudios no encontraron mejoras significativas en ningún área cognitiva [3].

#### Puntuaciones Luria para el grupo experimental

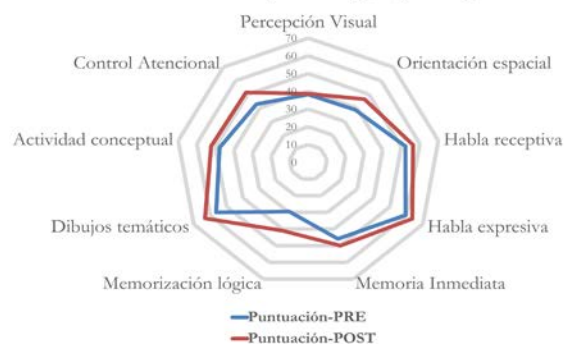


Figura 1: Gráficos radiales para el grupo de control (izquierda) y el grupo experimental (derecha) de las puntuaciones del test de Luria. Las puntuaciones del grupo de control permanecen sin cambios, mientras que las puntuaciones del grupo experimental se incrementan después de realizar el entrenamiento.

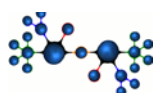




Tabla 1: Estadísticos asociado al test U Mann-Whitney (análisis intergrupo) y al test de rangos con signo de Wilcoxon (análisi intergrupo) para las puntuaciones del test de Luria en cada característica neuropsicológica. Los valores significativos ( $p < 0.05$  han sido remarcado en negra.

Área Neuropsicológica	Característica	Grupo de control vs. Grupo experimental (Pre vs. Pre)	$\Delta$ Grupo de control (Pre vs. Post)	$\Delta$ Grupo experimental (Pre vs. Post)
Visoespacial	Percepción visual	0.9502	0.5000	0.0781
	Orientación espacial	0.3351	0.5000	0.0625
Lenguaje oral	Habla receptiva	1.0000	0.6250	0.1094
	Habla expresiva	0.3651	1.0000	0.1875
Memoria	Memoria inmediata	0.4169	0.4169	0.2500
	Memoria lógica	0.6032	0.6032	<b>0.0195</b>
Intelectual	Dibujos temáticos	0.8179	0.8179	<b>0.0313</b>
	Actividad conceptual	1.0000	1.0000	<b>0.0156</b>
Atención	Control de atención	0.9664	0.9664	0.3438

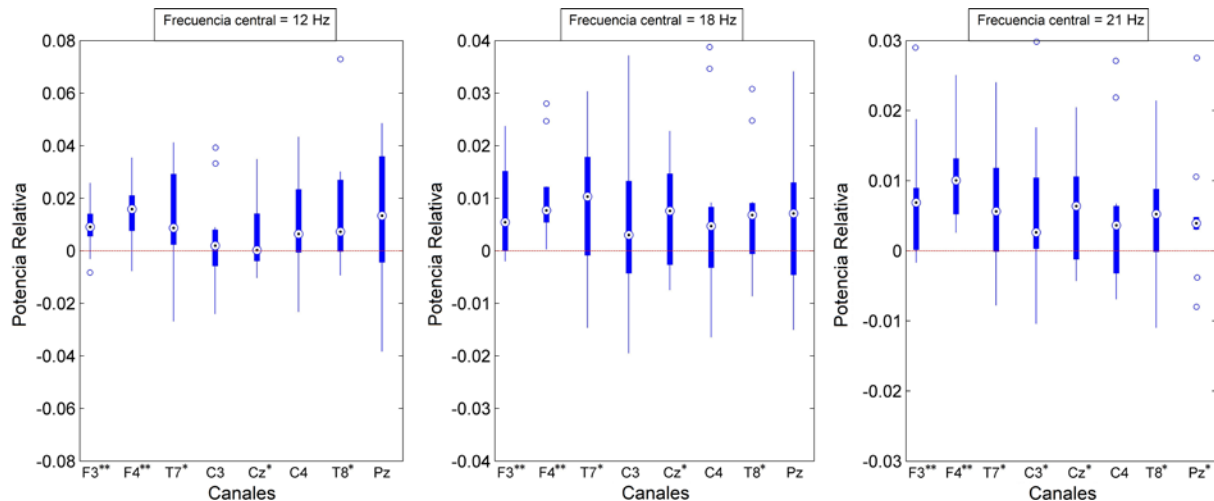
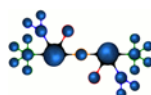


Figura 2: *Boxplots* de los cambios en la  $PR$  ( $PR_{post} - PR_{pre}$ ) para (i) la banda espectral centrada en 12 Hz (izquierda; (ii) la banda espectral centrada en 18 Hz (centro); la banda espectral centrada en 21 Hz (izquierda). Las diferencias significativas con  $p < 0.05$  se encuentran marcadas con un asterisco, mientras que las diferencias significativas con  $p < 0.01$  se marcaron con dos asteriscos.



Por otro lado, también se decidió incluir en el estudio bandas de frecuencia centradas en 18 y 21 Hz con el fin de estudiar el comportamiento cognitivo al entrenar la banda beta (13-30 Hz). Diversos estudios muestran una relación entre el entrenamiento de la banda beta y mejoras en el lenguaje y la memoria [2, 17]. Si bien es cierto que la mayor parte de los trabajos se centran en el entrenamiento de una única banda de frecuencia [1, 20], el entrenamiento de varias bandas espectrales permitió un incremento de la media en 8 de las 9 características cognitivas estudiadas. Sin embargo, dada la baja potencia estadística (11 sujetos) sólo resultaron significativo 3 de esos 8 incrementos. Estos resultados se obtuvieron en tan sólo 5 sesiones de entrenamiento, mientras que estudios similares necesitaron más de 30 sesiones para conseguir cambios cognitivos significativos [1]. Es probable que esto sea debido a la implementación del protocolo de entrenamiento mediante un sistema BCI, que proporciona un entorno atractivo y amigable consiguiendo una gran implicación por parte de los usuarios, lo cual es fundamental para un entrenamiento eficaz y efectivo.

El presente estudio tiene algunas limitaciones que es conveniente remarcar. En primer lugar, sería deseable aumentar la población bajo estudio, principalmente de los sujetos que realizan el NFT. De esta forma los resultados serían más robustos y generalizables. Además, un seguimiento de los participantes que realizaron el entrenamiento podría proporcionar información sobre el mantenimiento a largo plazo de los resultados cognitivos y espectrales encontrados. De esta forma, sería posible afirmar si el protocolo de NFT sirvió como un refuerzo circunstancial para las personas de edad avanzada o por el contrario se perpetúa en el tiempo, convirtiéndose en una clara mejora para la autonomía y la calidad de vida de las personas mayores. Finalmente, podría ser conveniente un análisis en mayor profundidad de los cambios producidos en el EEG. Un estudio de la conectividad de mismo mediante teoría de redes complejas ayudaría a mejorar la comprensión de los cambios en la plasticidad cerebral debidos al NFT.

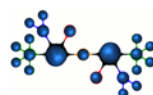
En resumen, el presente estudio mostró prometedores resultados acerca del uso de una plataforma BCI para realizar el NFT. Se encontraron mejoras en distintas funciones cognitivas al tiempo que se reforzaron dichos resultados con cambios espectrales en el EEG. Además, gracias al uso de una plataforma BCI se consiguió una interfaz atractiva que permitió reducir el número de sesiones de entrenamiento. Por tanto, este estudio apoya anteriores resultados y sienta la base para el futuro diseño de aplicaciones más complejas que mejoren la calidad de vida y aumenten la autonomía en personas de edad avanzada.

## Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado parcialmente por el proyecto TEC2014-53196-R del Ministerio de Economía y Competitividad y FEDER, y el proyecto VA059U13 de la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León. Martínez-Cagigal se encuentra financiado con una beca de investigación de la Fundación Villalar-Castilla y León.

## Referencias

- [1] Angelakis, E., Stathopoulou, S., Frymiare, J. L., Green, D. L., Lubar, J. F., and Kounios, J. (2007). "EEG neurofeedback: a brief overview and an example of peak alpha frequency training for cognitive enhancement in the elderly". *The Clinical Neuropsychologist*, 21, 110–129.
- [2] Bastiaansen, M., and Hagoort, P. (2006). "Oscillatory neuronal dynamics during language comprehension". *Progress in Brain Research*, 159(6), 179–196.
- [3] Bauer, R. H. (1976). "Short-term memory: EEG alpha correlates and the effect of increased alpha.". *Behavioral Biology*, 17(5219), 425-433.
- [4] Burke, S. N., and Barnes, C. A. (2006). "Neural plasticity in the ageing brain.". *Nature Reviews Neuroscience*, 7, 30–40.
- [5] Craik, F. I., and Salthouse, T. A. (2011). *The handbook of aging and cognition*. Psychology Press.
- [6] Chartock, H. E., Glassman, P. R., Poon, L. W., and Marsh, G. R. (1975). "Changes in alpha rhythm asymmetry during learning of verbal and visuospatial tasks". *Physiology and Behavior*, 15, 237–239.
- [7] Christensen, A.L. (1979). "A practical application of the luria methodology". *Journal of Clinical Neuropsychology*.
- [8] Doppelmayr, M., Klimesch, W., Stadler, W., Pöllhuber, D., and Heine, C. (2002). "EEG alpha power and intelligence". *Intelligence*, 30, 289–302.
- [9] Egner, T., Zech, T. F., and Gruzelier, J. H. (2004). "The effects of neurofeedback training on the spectral topography of the EEG". *Clinical Neurophysiology*, 115, 2452–2460.
- [10] Ghaziri, J., Tucholka, A., Larue, V., Blanchette-Sylvestre, M., Reyburn, et al (2013). "Neurofeedback training induces changes in white and gray matter.". *Clinical EEG and Neuroscience*, 44, 265–72.
- [11] Gomez-Pilar, J., Corralejo, R., Nicolas-Alonso, L. F., Álvarez, D., and Hornero, R. (2014). "Assessment of neurofeedback training by means of motor imagery based-BCI for cognitive rehabilitation". In *Proceedings of the*



- 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference, 1, 3630–3633.
- [12] Gomez-Pilar, J., Corralejo, R., Nicolas-Alonso, L. F., Álvarez, D., and Hornero, R. (2014). "Diseño y desarrollo de una plataforma de entrenamiento cognitivo basada en BCI para prevenir los efectos del envejecimiento". *Libro de Actas del Simposio CEA de Bioingeniería 2014*, 1, 25–31.
- [13] Hyvärinen, A. (2013). "Independent component analysis: recent advances.". *Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences*, 371, 20110534.
- [14] Schalk, G., McFarland, D. J., Hinterberger, T., Birbaumer, N., and Wolpaw, J. R. (2004). "BCI2000: A general-purpose brain-computer interface (BCI) system". *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 51(6), 1034–1043.
- [15] United Nations, Department of Economic and Social Affairs (2013). "World Population Ageing".
- [16] Vernon, D. J. (2005). "Can neurofeedback training enhance performance? An evaluation of the evidence with implications for future research.". *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30(4), 347–364.
- [17] Weiss, S., and Mueller, H. M. (2012). "“Too many betas do not spoil the broth”: The role of beta brain oscillations in language processing". *Frontiers in Psychology*, 3, 1–15.
- [18] Welch, P. (1967). "The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms". *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, 15.
- [19] Zoefel, B., Huster, R. J., and Herrmann, C. S. (2011). "Neurofeedback training of the upper alpha frequency band in EEG improves cognitive performance". *NeuroImage*, 54(2), 1427–1431.

