

## Efectos del entrenamiento asistido con *neurofeedback* sobre el EEG, los procesos de función ejecutiva y el estado de ánimo en una muestra de población normal

Milena Vasquez, Marien Gadea, Evelio Garijo, Marta Aliño y Alicia Salvador

Departamento de Psicobiología, Facultat de Psicologia, Universitat de València

**Resumen:** El entrenamiento en *neurofeedback* (NF) consiste en enseñar a los individuos a modificar, regular y potenciar su patrón de actividad cerebral. El objetivo de nuestra investigación fue evaluar el efecto del entrenamiento sobre los procesos cognitivos de función ejecutiva y sobre el estado de ánimo en una muestra de población normal. Se seleccionó una muestra de 30 mujeres estudiantes universitarias, asignadas a tres grupos: HD: hemisferio derecho ( $n = 10$ ), HI: hemisferio izquierdo ( $n = 10$ ) y control ( $n = 10$ ). Se entrenó durante una sola sesión el predominio del patrón beta y la inhibición del patrón theta y se realizó una evaluación pre y post-entrenamiento de la función ejecutiva (*Iowa Gambling Test*) y del estado de ánimo mediante autoinforme. Se encontró que el entrenamiento en NF produjo cambios positivos significativos en el rendimiento ejecutivo en el grupo HD. En relación con el EEG, se encontró una tendencia al cambio tras el entrenamiento de ondas beta. Se encontraron correlaciones significativas entre el rendimiento ejecutivo, el estado de ánimo negativo, y la banda de frecuencia theta. Se concluye que el protocolo resulta efectivo para potenciar aspectos de la función ejecutiva y que la disminución de ondas theta parece favorecer la disminución del estado de ánimo negativo.

**Palabras clave:** *Neurofeedback*; EEG; función ejecutiva; *Iowa Gambling Test*; estado de ánimo; PANAS; POMS; ritmo theta; ritmo Beta.

**Title:** Effects of assisted training with *neurofeedback* on EEG measures, executive function and mood in a healthy sample.

**Abstract:** The training in *neurofeedback* (NF) consists of teaching individuals to modify, adjust and enhance their brain activity pattern. The aim of our research was to evaluate the effect of training on cognitive processes, specifically executive function, and mood in a non-clinical sample. A sample of 30 female college students were assigned to three groups: HD: right hemisphere ( $n = 10$ ), HI: left hemisphere ( $n = 10$ ) and control ( $n = 10$ ). The dominance pattern of beta and the inhibition of the theta pattern were trained in a single session. Measures of executive function (*Iowa Gambling Test*) and questionnaires of mood were taken pre and post training. We found that NF training produced significant positive changes in executive performance in the HD group. In the EEG a tendency to improve beta rhythm after the training emerged too. Additionally, significant correlations were found between executive performance and negative mood in relation to theta frequency band. We conclude that the protocol seems effective to enhance some aspects of executive function as well as to decrease theta power improves the negative mood.

**Key words:** *Neurofeedback*; EEG; executive function; *Iowa Gambling Test*; mood; PANAS; POMS; theta rhythm; beta rhythm.

### Introducción

El entrenamiento asistido con *neurofeedback* (NF) consiste en potenciar estados de activación favorables a través de la estimulación no invasiva del bucle tálamo-cortical. Con él se pretende enseñar al individuo a modificar y autorregular los distintos componentes de su patrón de actividad cortical eléctrica: amplitud, frecuencia o coherencia. De este modo, el sujeto aprende a identificar los estados de activación que le suponen ventaja y a producirlos voluntariamente a través del mantenimiento de su atención consciente en un estímulo ya sea visual, auditivo o ambos (Vernon, 2005). Según Holtmann, Steiner, Hohmann, Poustka, y Banaschewski (2011), la autorregulación de la actividad cortical se consigue mediante un proceso de aprendizaje operante usando la representación en tiempo real de los parámetros electroencefalográficos.

El uso del NF se justifica dada la relación bidireccional entre los patrones de actividad cortical y estados o aspectos específicos de la conducta (Vernon, 2005), por lo tanto, si se logra modificar farmacológica, conductual o electrofisiológicamente el patrón de activación cortical, se observarán efectos sobre la fisiología, la cognición y el estado de ánimo. Así, existen asociaciones entre los componentes de frecuencias específicas del EEG y los diferentes aspectos del procesamiento cognitivo y afectivo. En relación con la función ejecutiva como proceso de interés, Boynton (2001) y

Angelakis, Stathopoulou, Frymiare, Green, Lubar y Kounios (2007) demuestran que el predominio de uno de los patrones neurofisiológicos, la banda alfa, se encuentra asociada con aumento de la eficacia cognitiva, incluida la función ejecutiva (flexibilidad mental, fluidez, inhibición) y la atención. Otro patrón asociado es la banda beta, en especial beta 1 o SMR (12-15hz) y beta 2 (15-21hz), que ha demostrado ser predominante en la corteza cingulada anterior, cortex temporal y cortex sensoriomotor durante tareas que requieren funciones ejecutivas (Bockova, Chládek, Jurák, Halánek, & Rektor, 2007). En trastornos como el déficit de atención e hiperactividad (TDAH), donde predominan alteraciones de la función ejecutiva, el incremento del ritmo SMR (12-15 hz) y la inhibición de theta (4-7hz) mejoran el funcionamiento ejecutivo, especialmente el déficit atencional y el control inhibitorio (Fuchs, Birbaumer, Lutzenberger, Gruzelier, & Kaiser, 2003; Lubar, 1991; Monastra, Monastra, & George, 2002; Rossiter & LaVaque, 1995). Monastra, Lubar y Linden (2001) afirman que los sujetos con TDAH suelen tener excesiva actividad de ondas lentas theta (4-7hz) en relación con la actividad de ondas rápidas beta (13-21hz) en las localizaciones central de la línea media (CZ) y frontal (FZ, F1, F2) de la corteza cerebral, por lo que se ha puesto en evidencia que los protocolos de NF que reducen theta y recompensan beta logran una mejora en la activación de la corteza cingulada anterior (CCA), región importante por su contribución al control cognitivo y a los procesos de función ejecutiva (Bush, Luu, & Posner, 2000; Kouijzer, de Moor, Gerrits, Congedo, & van Schie, 2009). En relación con el estado de ánimo, no se dispone de evidencia suficiente sobre el efecto del NF sobre el mismo en sujetos sanos. No obstante, estu-

**\* Dirección para correspondencia [Correspondence address]:**

Marien Gadea. Departamento de Psicobiología. Facultat de Psicologia.  
Universitat de València. Blasco Ibañez, 21. 46010 Valencia (España).  
E-mail: [marien.gadea@uv.es](mailto:marien.gadea@uv.es)

dios en condiciones patológicas asociadas, como depresión, revelan que el entrenamiento del ritmo SMR (12-15hz) puede ser eficaz en la modificación del afecto negativo. Siguiendo a Pavlenko, Chernyi y Goubkina (2009) el entrenamiento sobre el ritmo SMR promueve un aumento de la actividad del sistema dopaminérgico (DA) en el tegmentum ventral. Dado que este sistema se ha asociado con la facilitación de emociones positivas y el mantenimiento de la conducta de aproximación, promover un ritmo SMR óptimo podría considerarse un promotor para el afecto positivo y la estabilidad emocional, como ya evidenciaron Wu, Ding y Zhou (2004) en estudios sobre el predominio de la banda SMR en la depresión. En esta línea, Hammond (2005) plantea que el protocolo de NF más favorable para el tratamiento de la depresión consiste en la inhibición de ondas lentas, theta y alfa baja, en el refuerzo de ondas rápidas beta (15-18hz) y en algunas sesiones de SMR (12-15hz) en el hemisferio izquierdo dada su asociación con las emociones positivas (Davidson, 1998; Henriques & Davidson, 1991).

Teniendo en cuenta los antecedentes, este estudio se ha interesado en evaluar los efectos del entrenamiento en NF, aplicando un protocolo dirigido a la inhibición de ondas lentas y al refuerzo de ondas rápidas, sobre la función ejecutiva y el estado de ánimo en sujetos sanos. La hipótesis de la que partimos es que el entrenamiento es eficaz para mejorar ambos aspectos, por lo que esperamos que los índices que evalúan la función ejecutiva mejoren y que los cuestionarios de autoinforme nos indiquen que el sujeto experimenta un estado de ánimo más favorable (aumentando el estado de ánimo positivo y disminuyendo el negativo) tras el entrenamiento.

## Método

### Participantes

La muestra final se conformó por 30 mujeres estudiantes universitarias sanas con edades comprendidas entre los 18-31 años ( $M = 23.4$ ;  $DT = 3.2$ ), seleccionadas bajo los siguientes criterios de exclusión: antecedentes de enfermedades médicas o alteraciones hormonales, tener historial de abuso de sustancias psicoactivas, tener enfermedades psiquiátricas diagnosticadas, presentar alteraciones auditivas o visuales y tener conocimiento o experiencia con el uso de la técnica de NF. Para la verificación auditiva se tomaron medidas mediante audímetro tonal y se verificó preferencia manual diestra (Oldfield, 1971). Finalmente, 20 fueron asignadas aleatoriamente al grupo de entrenamiento en *neurofeedback*, 10 de ellas al grupo de entrenamiento hemisferio derecho (HD), y 10 al grupo de entrenamiento hemisferio izquierdo (HI). Las 10 restantes fueron asignadas al grupo control. Los tres grupos no diferían significativamente en cuanto a la edad o nivel educativo. Respecto al ciclo menstrual, se controló que las mujeres no tuvieran la menstruación durante el pase del experimento (en todos los grupos),

aunque no se contrabalanceó la variable respecto al periodo pre o postmenstrual.

### Aparatos e Instrumentos

**Equipo de Neurofeedback:** Se utilizó un sistema de *Software BioGraph Infinity EEG Suite* encargado de procesar, filtrar y representar el patrón de actividad cerebral y de la modificación de la amplitud de las bandas de frecuencia. Un sistema de *hardware Pro Comp 2 Infinity* encargado de llevar la señal al ordenador. La conexión de los electrodos fue de tipo monopolar, a través de la cual se registró el potencial de campo con un electrodo activo en la región central CZ y se manipuló la colocación del electrodo de referencia; al grupo HD se le colocó el electrodo en el lóbulo derecho de la oreja y al grupo HI se le colocó en el lóbulo izquierdo. Para fijar los electrodos se utilizó gel abrasivo y pasta conductora. Se seleccionó un protocolo estandarizado de refuerzo de la banda de frecuencia beta en un rango de 13 – 21 hz y de inhibición de la banda de frecuencia theta en un rango de 4 – 7 hz con umbrales estandarizados. La pantalla de *feedback* se basa en una imagen dinámica (estímulo visual) y un CD de música (estímulo auditivo). El protocolo se diseñó siguiendo las recomendaciones de Gruzelier, Egner, y Vernon (2006).

**Iowa Gambling Task:** instrumento en versión virtual construido por Bechara, Damasio y Damasio (2000) validado para la medición del proceso de toma de decisiones y postergación como elementos de la función ejecutiva (Damasio, 1996). Consiste en un juego de cartas de 4 mazos distintos cuyo propósito es maximizar la cantidad de dinero inicial. Para lograrlo el sujeto debe escoger cartas de los mazos 3 y 4 ya que estas ofrecen menor ganancia inmediata pero menos pérdidas a largo plazo. Sin embargo, si el sujeto elige las cartas 1 y 2, ganará a corto plazo más dinero pero perderá más de lo que tiene. (Bechara et al., 2000).

**Profile of Mood States (POMS, McNair, Lorr, & Droppelman, 1971):** instrumento utilizado para la estimación del estado de ánimo o emocionalidad negativa del sujeto. Se implementó una traducción española breve desarrollada por Balaguer, Fuentes, Meliá, García-Mérita y Pérez-Recio (1993), formada por 12 ítems extraídos de la versión original. La versión reducida ofrece una puntuación de emocionalidad negativa general, donde a mayor puntuación, el sujeto experimenta de forma subjetiva mayor nivel de emocionalidad negativa.

**Positive and Negative Affect Schedule (PANAS, Watson, Clark, & Tellegen, 1988):** utilizada para llevar a cabo la evaluación del estado de ánimo, distinguiendo entre positivo (PA) y negativo (PN). Específicamente, se compone de 20 ítems, de los cuales 10 hacen referencia a emocionalidad positiva, mientras que el resto a emociones negativas. El sujeto debe otorgar puntuación a los ítems en una escala *likert* del 1-5 (siendo 1 nada y 5 mucho). De este modo, las puntuaciones totales en cada categoría varían de 10 a 50.

## Procedimiento

En un primer momento las participantes fueron informadas telefónicamente de las características básicas del estudio y de la duración prevista de la sesión. Al inicio de la sesión propiamente dicha se completaba el cuestionario de antecedentes médicos y el de preferencia manual y, si procedía, se seleccionaba definitivamente a la participante. A continuación, ésta daba su consentimiento informado y realizaba las medidas dependientes pre-test (previas al entrenamiento con neurofeedback): Cuestionarios de auto-informe POMS y PANAS y administración de la versión computarizada del *Iowa Gambling Test*. A continuación se tomaba una medida previa de EEG de 4 minutos, con ojos abiertos y en estado de relajación. Después se iniciaba el entrenamiento online, con retroalimentación en tiempo real, donde el sujeto era instruido para aprender a controlar su actividad cerebral. Todos los sujetos escucharon las mismas instrucciones: “durante 30 minutos observarás una imagen en la pantalla y escucharas una música, ambas son de carácter dinámico y se mantendrán así según tu estado. Tu tarea es mantener la concentración en que la música y la imagen continúen en movimiento, así que sólo debes mantenerte concentrada en ello y lo más relajada posible. Durante el entrenamiento es importante no moverse y no hablar”. La contingencia de aprendizaje fue la interrupción del movimiento y la música. Transcurridos 30 minutos se informaba al sujeto que el entrenamiento había terminado y se detenía el programa de retroalimentación. Finalmente, se realizaba una medición inmediata de 4 minutos del EEG post-entrenamiento, se retiraban los electrodos y se procedía con las medidas post-test (completar de nuevo los cuestionarios POMS y PANAS y la administración del test *Iowa*).

## Análisis de datos

Para el análisis estadístico de los cambios relativos del EEG espectral, se utilizaron los valores promedio de amplitud de tres bandas de frecuencia: theta, alfa alta y beta estándar. Para el análisis de los cambios en cuanto a la función ejecutiva y el estado de ánimo se utilizaron las puntuaciones directas de las pruebas Iowa, PANAS y POMS respectivamente. Las puntuaciones de las diferentes variables dependientes se sometieron previamente a prueba de normalidad a través de análisis con pruebas no paramétricas (*Kolmogorov Smirnov* para una muestra) confirmándose ésta en todos los casos ( $K-S > .05$ ). Para el análisis de las diferencias pre y post-tratamiento entre grupos, se utilizó un modelo de ANOVA con medidas repetidas 2X3 y se usaron pruebas *T* para muestras relacionadas post-hoc con el fin de realizar contraste de medias. Se añadió el índice *d* de Cohen como prueba del tamaño del efecto. Finalmente se realizaron correlaciones bivariadas para establecer posibles relaciones entre las variables EEG y IOWA, EEG y POMS y EEG y PANAS, escogiéndose la prueba *Rho de Spearman* debido al reducido *n* de los respectivos grupos. Todos los análisis se

realizaron mediante el software SPSS. Los datos se presentan en medias y desviaciones típicas.

## Resultados

### Efectos sobre la Función Ejecutiva

No se encontraron cambios significativos en el efecto principal  $F(1,27) = 2.18; p = .15$ , pero sí se encontró una interacción significativa entre el tratamiento y la variable grupo, con diferencias significativas antes y después del tratamiento en función del grupo  $F(2, 27) = 3.68; p < .03$  para las puntuaciones del *Iowa Gambling Task*. Se realizaron análisis post-hoc a través de pruebas *T* para muestras relacionadas, encontrando que el grupo control no exhibe diferencias significativas en su rendimiento en el *Iowa* después del entrenamiento ( $p = .12$ ). Así mismo, en el caso del grupo HI, no se observan diferencias significativas con el entrenamiento en NF ( $p = .31$ ), si bien sí se observa una disminución en el rendimiento. Finalmente el grupo HD sí exhibe cambios estadísticos significativos post-entrenamiento ( $t = -2.519, p < .01$ ; tamaño del efecto según índice *d* de Cohen = .92). En la Figura 1 se puede observar el aumento significativo de la media en la ganancia obtenida en el *Iowa Gambling Test* para el grupo HD.

### Efectos sobre el estado de ánimo

Encontramos diferencias significativas en la variable estado de ánimo Positivo medido a través del PANAS entre las condiciones pre y post-entrenamiento, observándose un efecto principal intrasujeto significativo  $F(1,27) = 27.724, p < .001$  sin interacciones entre los grupos. En la Figura 2 se puede observar el descenso significativo de las puntuaciones medias del PANAS positivo de manera similar para los tres grupos. Si bien no hubo diferencias significativas entre los grupos, se debe notar que el índice *d* de Cohen fue mayor para el grupo HD ( $d = 1.25$ ) respecto al HI ( $d = .78$ ) o al control ( $d = .55$ ). No se encontraron diferencias significativas entre las puntuaciones del PANAS negativo ni en las puntuaciones del POMS.

### Efectos sobre el EEG

No se encontraron cambios significativos en la banda theta ( $F(2,27) = 1.005; p = .37$ ), aunque sí una tendencia a la significación en la banda beta estándar ( $F(2,27) = 2.608; p = .09$ ). Se exploró esta última con pruebas post hoc para encontrar que, aunque no hubo cambios estadísticamente significativos en ningún grupo, se destacó un aumento mayor de las medias en el grupo HD (índice *d* de Cohen = .21) con respecto al HI (índice *d* de Cohen = .08), y observando al mismo tiempo que el grupo control presenta una disminución no significativa con el entrenamiento (índice *d* de Cohen = .30). La Figura 3 representa estos cambios en las medias para los tres grupos.

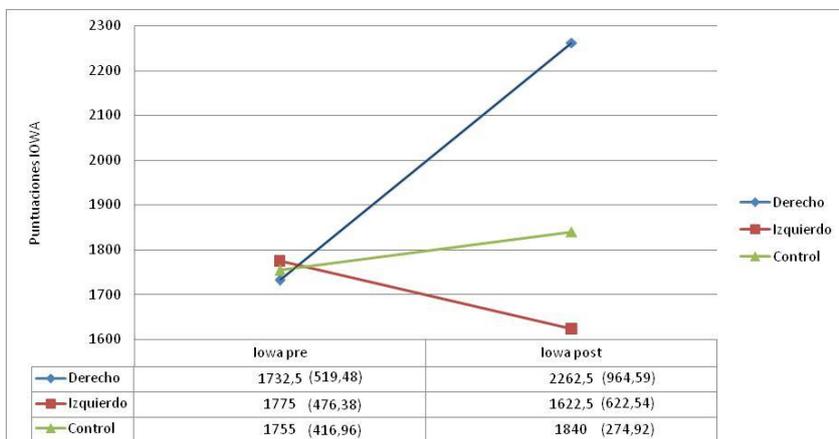


Figura 1. Diferencia de medias (y desviación típica), entre el pre y post-entrenamiento del rendimiento en el Iowa Gambling Test para cada grupo de estudio.

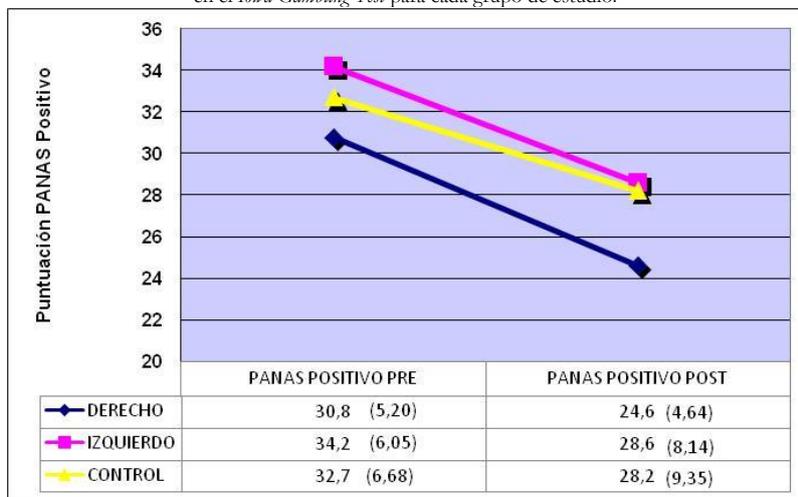


Figura 2. Efecto principal del entrenamiento en NF sobre el Afecto Positivo en las tres condiciones de estudio (medias y desviaciones típicas).

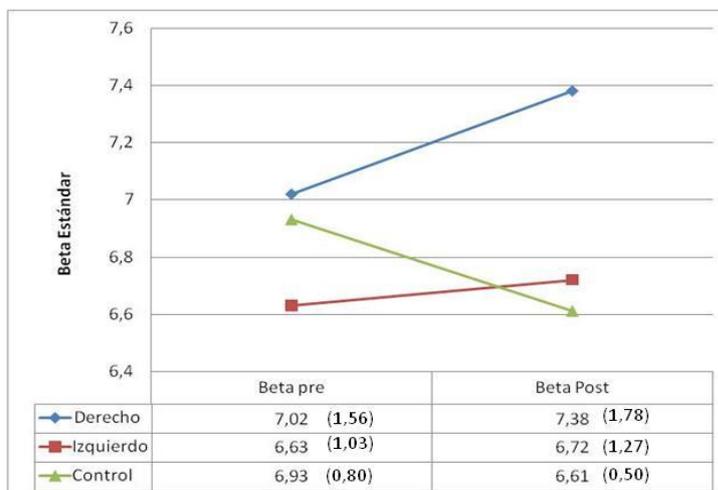


Figura 3. Diferencias de cambios post-tratamiento en la banda Beta Estándar (13-21hz) entre grupos (medias y desviaciones típicas)

### Relación entre los cambios del EEG y la función ejecutiva post-entrenamiento

Se identificó una correlación negativa tendente a la significación entre la banda de frecuencia theta y el rendimiento en el *Iowa Gambling Task* en el grupo HD ( $R_{ho} \text{ de Spearman} = -.57; p = .08$ ). No se identificaron correlaciones significativas ni en el grupo HI ni el grupo control a nivel de post-entrenamiento.

### Relación entre los cambios del EEG y el Afecto positivo y negativo

Se obtuvieron correlaciones significativas para el grupo HD. Tanto las puntuaciones del PANAS negativo como el POMS se correlacionaron positivamente con el ritmo theta (PANAS negativo,  $R_{ho} = .69; p < .02$  y POMS,  $R_{ho} = .65; p < .04$ ). Adicionalmente, las puntuaciones obtenidas en el POMS presentaron una correlación significativa positiva con la banda alfa baja ( $R_{ho} = .67; p < .03$ ). No se hallaron correlaciones entre las variables EEG y Afecto ni para el HI ni para el grupo control.

## Discusión

En relación con los efectos sobre la función ejecutiva, los resultados obtenidos apoyan la eficacia del entrenamiento en *neurofeedback* para potenciar habilidades cognitivas específicas desde la primera sesión. Los cambios significativos en el rendimiento en la tarea del *Iowa Gambling Task* en comparación con el grupo control y el grupo HI, apoyan la evidencia de estudios previos (Boynton, 2001; Doppelmayr, Klimesch, Stadler, Polhuber, & Heine, 2002; Egner & Gruzelier, 2004; Klimesch, Doppelmayr, Russegger, Pachinger, & Schwaiger, 1998; Vernon, Egner, Cooper, Compton, Neilands, Sheri, & Gruzelier, 2004) para potenciar algunos de los elementos de la función ejecutiva como la toma de decisiones y la postergación de la gratificación, aspectos que englobarían funciones supramodales como flexibilidad, fluidez y control inhibitorio (Bockova et al., 2007; Boynton, 2001; Lubar, 1991). Hanslmayer, Sauseng, Doppelmayr, Schabus y Klimesch (2005) observaron en una muestra de 18 estudiantes sanos la efectividad del entrenamiento en una única sesión sobre la optimización del rendimiento cognitivo en una tarea de rotación mental. Nuestros hallazgos proveen similar evidencia al observar efectos favorables en tiempo breve, apoyando el uso de la técnica en el ámbito de la potenciación cognitiva, y convirtiéndose en una alternativa para población clínica donde las técnicas de intervención suelen ser largas y pueden conllevar una baja adherencia a largo plazo.

En relación con los efectos sobre el estado de ánimo, encontramos una disminución significativa del estado de ánimo positivo medido por el PANAS sin diferencias entre los grupos de estudio después del entrenamiento en NF. Esto puede deberse en parte a la percepción ligeramente “perturbadora” de la técnica, pues el participante (tanto en los

grupos experimentales como en el control sin NF) debe mantenerse 30 minutos observando una imagen en movimiento monótono que se interrumpe a intervalos de tiempo, lo cual podría generar algún tipo de incomodidad física o emocional, que debe ser medido en futuras investigaciones. Johnston, Boehm, Healy, Goebel y Linden (2010) encontraron que los participantes lograron la auto-regulación de la red emocional (amígdala y la ínsula) a través de un breve entrenamiento con NF, evaluado en tiempo real a través de resonancia magnética funcional (RMf). Los cambios subjetivos en el estado de ánimo fueron medidos con el POMS y PANAS, anotando una perturbación del mismo que los autores explicaron como una posible disonancia entre los efectos sobre la propia auto-regulación neural y las estrategias usadas por los participantes para lograrla. Alternativamente, una explicación tentativa para la disminución del afecto positivo en el PANAS pudiera ser que los ítems que forman la escala (entusiasmado, despierto, decidido...) describan un estado de ánimo positivo pero activado y que el entrenamiento en NF tuviera el efecto de calmar y sosegar al sujeto, con lo que la disminución del PANAS positivo reflejaría relajación y baja actividad aunque no necesariamente un estado de ánimo “menos positivo”; La ausencia de cambios en la escala PANAS negativa podría confirmar esta hipótesis explicativa.

En relación con los efectos del NF sobre el EEG, la inhibición de ondas theta (4-7hz) y el refuerzo de ondas beta (13-21hz) ha resultado ser efectivo en estudios que relacionan el entrenamiento en NF y los procesos de función ejecutiva ya sea a nivel clínico o en sujetos sanos (Fuchs et al., 2003; Monastra et al., 2001; Monastra et al., 2002; Rossiter & LaVaque, 1995). Si bien los resultados en nuestro estudio no muestran cambios significativos en la amplitud de ninguna de las bandas de frecuencia, sí muestran una tendencia a la modificación respecto del aumento de beta, con una tendencia a la significación ( $p = .09$ ) que hace relevante la magnitud del cambio, observándose que especialmente el grupo HD cambia en la dirección esperada ( $d \text{ Cohen} = 0.21$ ), contrario al grupo control que cambia en la dirección opuesta. Los hallazgos en beta son consistentes con estudios previos como el de Rasey, Lubar, McIntyre, Zoffuto y Abbott (1996), quienes entrenaron a estudiantes universitarios para aumentarla, obteniendo resultados positivos en la modificación de su EEG y mejorando su rendimiento en una tarea de inhibición *Go-no-Go*. Así mismo, varias investigaciones (Egner & Gruzelier, 2004; Vernon, Egner, Cooper, Compton, Neilands, Sheri, & Gruzelier, 2003) centradas en incrementar el rendimiento cognitivo en personas sanas así como estudios con población clínica con disfunción ejecutiva (Mann, Lubar, Zimmerman, Miller & Muenchen, 1992; Monastra et al., 2001), presentan evidencia a favor de la potenciación del patrón 12-15 hz que corresponden a una parte del espectro de la banda de Beta (13-21hz). Respecto a la banda theta (4-7hz), ésta está asociada normalmente con estados de somnolencia, ensoñación, distracción, inatención y daño cerebral (Duffy, Iyer, & Surwillo, 1989), y esa es quizás la razón por la cual estudios relacionados con la función ejecutiva en po-

blación clínica muestran que un patrón anormal de esta banda se presenta en trastornos como el TDAH, el autismo y el deterioro cognitivo (Becerra et al., 2012, Kouijzer et al., 2009, Lubar et al., 1995). Esto conlleva que los cambios significativos en la onda theta sean más probables en población clínica con actividad basal de theta anormal, no observándose cambios significativos en sujetos sanos. Vernon et al. (2003) evidencia lo anterior en un estudio con dos grupos de estudiantes sanos, uno en el que entrena ondas SMR (12–15 Hz) y otro en el que entrena la banda theta, encontrando que solo el grupo entrenado para incrementar ondas SMR obtuvo cambios tanto en EEG como en rendimiento, mientras que quienes fueron entrenados para modificar theta no obtuvieron cambios ni en EEG ni en rendimiento cognitivo. De todas maneras, en este estudio, aunque no se encontró un cambio pre-post que fuera estadísticamente significativo, sí se observó una correlación negativa entre theta y el *Iowa*, indicando una interferencia negativa aunque no patológica sobre el rendimiento ejecutivo, por lo que su supresión mediante la técnica de NF podría ser favorable. Apoyando esta idea, la banda theta presentó correlaciones positivas con las puntuaciones del PANAS negativo y el POMS en el grupo HD, sugiriendo que su incremento promueve un estado de ánimo negativo y validando los hallazgos de algunos estudios (Davidson, 1998; Henriques & Davidson, 1991) en los que se califica el predominio de esta banda como inapropiado tanto para estados de relajación como para el rendimiento óptimo. Por otra parte, y aplicable tanto a beta como a theta, recordar que es posible que los cambios cognitivos puedan observarse desde la primera sesión, pero los cambios fisiológicos y la huella neuronal que los acompaña y los consolida, tal vez, sólo pueda alcanzarse tras un entrenamiento repetido como podría esperarse en cualquier tipo de aprendizaje o entrenamiento.

Finalmente, en este estudio se aplicó un diseño adaptado de la práctica clínica habitual con la posibilidad de identificar

posibles asimetrías inter-hemisféricas en la administración del entrenamiento en NF dado que no hay estudios que refieran resultados al respecto y la mayoría de los protocolos clínicos aplican el entrenamiento en el HD sin especificar una justificación teórica. En esta línea, se observó que la mayor parte de cambios significativos y no significativos de relevancia se observaron efectivamente en el HD y no en el HI. Este dato no está claro en la literatura ya que no se han explorado estas asimetrías, sin embargo un aspecto relacionado puede tener que ver con la hipótesis del *arousal* asimétrico entre hemisferios. El HD se ha asociado con un nivel de *arousal* mayor, como se refleja en los resultados de este estudio. Esto es, el nivel de ondas rápidas Beta antes del entrenamiento es mayor en el grupo de HD, apoyando la anterior conclusión y permitiendo sugerir que un protocolo para entrenar el *arousal* y favorecer procesos de función ejecutiva puede tener efectos más notables sobre el hemisferio de mayor activación cortical y responsable de procesos atencionales. Esto resulta relevante si se tiene en cuenta que el entrenamiento en NF tiene como objetivo equilibrar el *arousal* y mejorar el nivel de alerta, el cual se basa en el control voluntario de la atención, siendo funciones en las cuales el HD tiene la principal participación (Heilman, Bowers, Valenstein, & Watson, 1986; Posner & Driver, 1992).

Como conclusión, este estudio ha demostrado que un grupo de mujeres a las que se les sometió a una sola sesión de entrenamiento en neurofeedback, con el objeto de inhibir ondas lentas y reforzar ondas rápidas sobre el hemisferio derecho, obtuvo una mejora significativa en la función ejecutiva y una modificación parcial de su EEG, aumentando la amplitud de beta de manera no significativa aunque razonable, teniendo en cuenta que se sometieron a una sola sesión. El estado de ánimo de la muestra sometida a estudio varió significativamente tras el entrenamiento, indicando que la realización de la técnica podría resultar perturbadora, lo cual se debe investigar en futuros estudios.

## Referencias

- Angelakis, E., Stathopoulou, S., Frymiare, J., Green, D., Lubar, J. y 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.
- Balguer, I.; Fuentes, I.; Meliá, J. L., García-Mérita, M. L.; y Pérez-Recio, G. (1993). El Perfil de los estados de ánimo (POMS): baremo para estudiantes valencianos y su aplicación en el contexto deportivo. *Revista de Psicología del Deporte*, 4, 39–52.
- Becerra, J., Fernández, T., Roca-Stapping, M., Díaz-Comas, L., Galán, L., Bosch, J., Espino, M., Moreno, A. J., y Harmony T. J. (2012). Neurofeedback in healthy elderly human subjects with electroencephalographic risk for cognitive disorder. *Alzheimer Disease*, 28 (2), 357–67.
- Bechara, A., Damasio, H., y Damasio, A. (2000). Emotion, Decision Making and Orbitofrontal Cortex. *Cerebral Cortex*, 10 (3), 295–307.
- Bocková, M., Chládek, J., Jurák, P., Haláček, J., y Rektor, I. (2007). Executive functions processed in the frontal and lateral temporal cortices: Intracerebral study. *Clinical Neurophysiology*, 118 (12), 2625–2636.
- Boynnton, T. (2001). Applied research using alpha/theta training for enhancing creativity and well-being. *Journal of Neurotherapy*, 5(1/2), 5–18.
- Bush, G., Luu, P., y Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Science*, 4 (6), 215–222.
- Damasio, A. R. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 351, 1413–1420.
- Davidson, R. J. (1998). Anterior electrophysiological asymmetries, emotion, and depression: Conceptual and methodological conundrums. *Psychophysiology*, 35, 607–614.
- Doppelmayr, M., Klimesch, W., Stadler, W., Polhuber, D., y Heine, C. (2002). EEG alpha power and intelligence. *Intelligence*, 30, 289–302.
- Duffy, F. H., Iyer, V. G., y Surwillo, W. W. (1989). Clinical electroencephalography and topographic brain mapping: Technology and practice. *New York: Springer-Verlag*.
- Egner, T. y Gruzeliér, J. (2004). EEG Biofeedback of low beta band components: Frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*, 115, 131–139.
- Fuchs, T., Birbaumer, N., Lutzenberger, W., Gruzeliér, J. H. y Kaiser, J. (2003). Neurofeedback treatment for attention-deficit/hyperactivity disorder in children: a comparison with methylphenidate. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 28, 1–12.
- Gruzeliér, J., Egner, T., y Vernon, D. (2006). Validating the efficacy of neurofeedback for optimising performance. *Progress in Brain Research* 159:421–31.
- Hammond, D. (2005). Neurofeedback Treatment of Depression and Anxiety. *Journal of Adult Development*, 12, 131–137.

- Hanslmayer, S., Sauseng, P., Doppelmayr, M., Schabus, M. y Klimesch, W. (2005). Increasing individual upper alpha power by neurofeedback improves cognitive performance. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30, 1–10.
- Heilman, K. M., Bowers, D., Valenstein, E. y Watson, R.T. (1986). The right hemi-sphere: Neuropsychological functions. *Journal of Neurosurgery*, 64, 693-704.
- Henriques, J. B. y Davidson, R. J. (1991). Left frontal hypoactivation in depression. *Journal of Abnormal Psychology*, 100, 534–545.
- Holtmann, M., Steiner, S., Hohmann, S., Poustka, L. y Banaschewski, T. (2011). Neurofeedback in autism spectrum disorders. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 53, 986–993
- Johnston, S. J., Boehm, S. G., Healy, D., Goebel, R. y Linden, D. (2010). Neurofeedback: A promising tool for the self-regulation of emotion networks. *NeuroImage*, 49, 1066–1072
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Russegger, H., Pachinger, T., y Schwaiger, J. (1998). Induced alpha band power changes in the human EEG and attention. *Neuroscience Letters*, 244 (2), 73–76.
- Kouijzer, M E., de Moor, J. M., Gerrits, B. J., Congedo, M. y van Schie, H.T. (2009). Neurofeedback improves executive functioning in children with autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 3, 145–62.
- Lubar, J. F. (1991). Discourse on the development of EEG diagnostics and biofeedback for attention-deficit/hyperactivity disorders. *Biofeedback Self Regulation*, 16, 201–25.
- Lubar, J.F., Swartwood, M.O., Swartwood, J.N., O'Donnell, P.H. (1995). Evaluation of the effectiveness of EEG neurofeedback training for ADHD in a clinical setting as measured by changes in T.O.V.A. scores, behavioral ratings, and WISC-R performance. *Biofeedback Self Regul.* 20, 83-99.
- Mann, J., Lubar, A., Zimmerman, C., Miller, C. A., y Muenchen, R. (1992). Quantitative analysis of EEG in boys with attention deficit hyperactivity disorder: controlled study with clinical implications. *Pediatric Neurology*, 8, 30–36.
- McNair, D., Lorr, M. and Droppleman, L. (1971) Profile of Mood States. Educational and Industrial Testing Service, San Diego, CA.
- Monastra, V. J., Lubar, J. F., y Linden, M. (2001). The development of a quantitative electroencephalographic scanning process for attention deficit-hyperactivity disorder: Reliability and validity studies. *Neuropsychology*, 15, 136–144.
- Monastra, V. J., Monastra, D. M., y George, S. (2002). The effects of stimulant therapy, EEG biofeedback, and parenting style on the primary symptoms of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 27, 231–49.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97–113.
- Pavlenko, V., Chernyi, S., y Goubkina, D. (2009). EEG Correlates of Anxiety and Emotional Stability in Adult Healthy Subjects. *Neurophysiology*, 41, 400-408.
- Posner, M. I., y Driver, J. (1992). The neurobiology of selective attention. *Current Opinion in Neurobiology*, 2, 165-169.
- Rasey, H. W., Lubar, J. E., McIntyre, A., Zoffuto, A. C., y Abbott, P. L. (1996). EEG biofeedback for the enhancement of attentional processing in normal college students. *Journal of Neurotherapy*, 1, 15–21.
- Rossiter, T. R., y LaVaque, T. J. (1995). A comparison of EEG biofeedback and psychostimulants in treating attention deficit hyperactivity disorders. *Journal of Neurotherapy*, 1, 48–59.
- Vernon, D. (2005). Can neurofeedback training enhance performance? An evaluation of the evidence with implications for future research. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30 (4), 347-364
- Vernon, D., Egner, T., Cooper, N., Compton, T., Neilands, C., Sheri, A., y Gruzelie, J. (2004). The effect of distinct neurofeedback training protocols on working memory, mental rotation and attention performance. *Journal of Neurotherapy*, 8 (1), 100–101.
- Vernon, D., Egner, T., Cooper, N., Compton, T., Neilands, C., Sheri, A. y Gruzelie, J. (2003). The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *International Journal of Psychophysiology*, 47, 75–85.
- Watson D., Clark L. A. y Tellegen A. (1988). Development and Validation of Brief Measures of Positive and Negative Affect: The PANAS Scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54 (6), 1063-1070.
- Wu, H., Ding, Y., Zhou, J., y Yang, H. (2004). A comparative study of brain wave in depression, schizophrenia and neurosis. *Chinese Journal of Behavioral Medical Science*, 13 (5), 522-523.

(Artículo recibido: 23-1-2013; revisión recibida: 29-4-2014; aceptado: 6-6-2014)