

NEUROFEEDBACK, APLICACIONES Y EFICACIA

NEUROFEEDBACK, APPLICATIONS AND EFFICIENCY

ALEXANDRA FAJARDO* Y ANA LUCÍA GUZMÁN**

*Estudiante del noveno semestre del Programa de Psicología de la Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud. Miembro del Semillero de Neurociencias SACLIPSY (Semillero de Psicología Clínica y Salud) y practicante de Psicología de la Salud en la Clínica Universitaria Colombia. E-Mail: mafajardo1@fucsalud.edu.co

**Psicóloga y Neuropsicóloga Clínica. Coordinadora del Laboratorio de Psicología y Docente de la Cátedra de Neuropsicología de la Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud y líder investigadora de la línea de Ciencias Cognitivas de SACLIPSY. E-Mail: alguzman@fucsalud.edu.co

Las autoras agradecen a la Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud, a los miembros de SACLIPSY, a los participantes de sus proyectos, a las divisiones de corrección de estilo y comité de investigaciones, a la docente Angélica Nieto por ser jurado del escrito y a todas las personas que en su momento contribuyeron a la elaboración del estudio que se informa.

Fundacion Universitaria de Ciencias de la Salud - CP 110221 Bogotá D.C. Colombia

RESUMEN

El objetivo del estudio que se informa fue describir la técnica de *neurofeedback*, sus aplicaciones y usos, como así también determinar su eficacia a lo largo de los estudios revisados. De esta forma se encuentra la compilación de 53 artículos científicos acerca de la técnica, que describen cómo los autores han demostrado su funcionalidad, cuando se trata de proyectar de manera tangible el *rendimiento* de algún tipo de población para la posterior formulación de un tratamiento o intervención particular. En la presente revisión se describe la definición del método y las *ondas cerebrales* analizadas por el mismo, para luego mencionar su uso y aplicación en distintas áreas de las neurociencias. Se concluye que el *neurofeedback* es una técnica efectiva y no invasiva usada como tratamiento y *entrenamiento* en diversos campos cuyo resultado ha sido satisfactorio.

Palabras clave: *Neurofeedback*; Ondas cerebrales; Electroencefalograma; Rendimiento; Entrenamiento.

ABSTRACT

Neurofeedback emerges as a way to teach the individual to modify some aspects of brain activity. The brain activity works through the brain waves: *Delta*, *Theta*, *Alpha*, *Beta*, and Sensorimotor Rhythm (SMR), which results in behavior, such as sleep, arousal and even anxiety. The theoretical basis of the technique in the early cognitive learning model is located and works according to the principles of operant conditioning. The individual learns how to influence the electrical activity of the brain by different states like relaxation and others, making the technique a chance to educate the brain.

Another objective of neurofeedback is to improve performance, based on partnerships between those measurements recorded, and those behaviors or states of concentration that refers wave pattern; the emotional states, relaxation and concentration of an individual can make the rate and wavelength go faster or slower, depending on the case, and how they influence the voltage amplitude. The *electroencephalogram* (EEG) is the best instrument to

measure the cerebral activity marked by brain waves, this record is used to establish under what factors (voltage, frequency, etc.) is the brain working which goes from the ideal mental state through pathological cases, identifying the pattern of neuronal interaction.

This in order to achieve multiple objectives of science: improvement of cognitive activity, optimizing *performance* in athletes (archery, golf, sky, tennis, swimming), stimulation of the artists skills, (performers and dancers) treating disorders of attention deficit hyperactivity disorder (ADHD), epilepsy, addiction disorder, posttraumatic stress disorder (PTSD) and autism, even cognitive functions such as concentration and memory, and other variables, as emotional control and personality.

This paper allows the reader to discover detailed aspects of multiple studies on the topic of neurofeedback as it use and technique. This review of articles applied to sporting, artistic and even cognitive domain, presented and described all of their results.

These studies suggest the application of technical features such as low global connectivity and neuroplasticity, most of these studies may be trained simultaneously with the application of neurofeedback and other techniques such as *training* mental skills and visualization; and in most cases are evaluated by psychometric instruments to notice the advances simultaneously with the results of EEG, for integral intervention.

It is also possible the application of the technique in order to find the reduced biological predisposition to certain diseases by stimulating the brain activity of the affected hemisphere, for each case has specific protocols depending on the type of wave, and obtains results performing the treatment from 20 through 40th session. In the case of learning disabilities, it has been reported, an increase of 12 to 19 IQ points after training with neurofeedback.

No significant side effects are reported, they may occur in the event that the sessions are too prolonged for the participant, including: headache, fatigue and anxiety, which are momentary states so that will not be considered risk factors to finalize the treatment.

Moreover, the article suggests how to study a population or a specific study on an individual, as describe how authors have demonstrated its

functionality to design treatments for a particular intervention in any population. Through the review of 53 scientific articles, it provides the definition of the method, analyzed brain waves and application in different areas of neuroscience.

The purpose of this article is expose neurofeedback. We conclude that neurofeedback is an effective noninvasive technique, and used as treatment and training in various fields whose outcomes has been satisfactory. As general recommendations for future research, there is a need to create and implement protocols to support technical for each particular situation, increasing its use, due to it has successfully demonstrated its effectiveness so far. technique, applications, uses and effectiveness.

Key words: Neurofeedback; Brainwaves; Electroencephalography; Training; Performance.

NEUROFEEDBACK

Puede situarse en el año 1884 el origen tanto de los estudios encefalográficos, como de la Neuropsicología computarizada, con los hallazgos encontrados ese año por Raymond acerca de las señales eléctricas presentes en los impulsos nerviosos. Años antes, cerca de 1875, se proponen estudios similares, que mostraban las ondas cerebrales en experimentos realizados con monos y conejos (Budzynski, T., Budzynski, H., Evans & Abardanel, 2009).

El primer hallazgo de actividad eléctrica registrada en humanos es atribuido a Berger (1929), quien trabajó en casos normales y patológicos, utilizando el electroencefalograma como método principal para mostrar la representación gráfica de la funcionalidad y comportamiento de las ondas cerebrales. La etimología de la palabra *neurofeedback* sugiere retroalimentación (*feedback*) de la actividad neuronal por su raíz *neuro*, que se logra por medio del electroencefalograma (EEG). Ese registro es utilizado para establecer los factores (voltaje, frecuencia, etc.) bajo los cuales se encuentra el cerebro, cuál es el estado mental ideal, o en casos patológicos cuál

es el patrón de interacción neuronal que determina la patología (Menon, 2011).

Para Berger (1929) era posible modificar algunos comportamientos del ser humano por medio del condicionamiento clásico y operante, pero solo hasta el descubrimiento de la técnica se logró observar el estado mental ideal en la ejecución de una tarea y se pudo además clasificar el *neurofeedback* como un tipo de condicionamiento operante, en la medida que la retroalimentación brindada por la técnica suministra un aprendizaje al sujeto. Se identifica de esta forma la base teórica de la técnica en el modelo cognitivista de principios de aprendizaje. Pero, ¿cómo definen otros autores el método de *neurofeedback* y como nos permite obtener los resultados anteriormente descritos? ¿qué señales afectan el resultado final de un EEG? ¿cuáles son los campos de intervención del *neurofeedback*?

Para Jordanova y Demerdzieva (2010) el *neurofeedback* podría definirse como un paradigma específico basado en el condicionamiento operante, en el cual el individuo aprende cómo influir en la actividad eléctrica de su cerebro mediante diferentes estados tal como la relajación (Kerick, McDowell, Hung, Santa Maria, Spalding & Hatfield, 2001a).

“*Neurofeedback* (NFB), es un tipo de EEG, que entrena habilidades de autorregulación mediante tecnología computarizada. El hardware y el software tienen canales de audio y vídeo para corregir los patrones de ondas cerebrales irregulares y el flujo sanguíneo asociado con la salud mental y/o los problemas cognitivos” (Hammond, 2011, p. 27).

Entonces el *neurofeedback* puede llegar a ser tanto un tratamiento en casos clínicos, como un entrenamiento de habilidades mentales, por ejemplo, por medio de las llamadas *autorregulaciones aprendidas*, mediante las cuales el individuo asimila la ejecución del entrenamiento cerebral, de una manera distinta, pues esa conducta particular fue aprendida por él a través del entrenamiento con *neurofeedback* del área cerebral estimulada. Antes de estos estudios, la *Psicofisiología* fue descrita como la invisibilidad del dualismo men-

te-cuerpo que radica en la integración de las herramientas mentales y fisiológicas, método que fue también definido como *biofeedback* o control de estas herramientas para incrementar el rendimiento humano (Wagner, 1975).

De este modo, el *neurofeedback* se convierte en una forma sofisticada de *biofeedback* basada en el registro de la actividad cortical. Incluso se encuentran protocolos EEG *biofeedback* que muestran el comportamiento de las ondas en determinada región del cerebro, es decir su componente de ubicación biológica y el acompañamiento de las ondas o EEG (Sherlin, Arns, Lubar, Heinrich, Kerson, Strehl & Barry, 2011).

El objetivo del *neurofeedback* es lograr que el individuo aprenda a modificar algunos aspectos de su actividad cerebral. Es decir, es un aprendizaje para cambiar la amplitud y frecuencia de los componentes electrofisiológicos u ondas propias del cerebro. Por ejemplo, durante un entrenamiento con *neurofeedback*, el EEG registra los componentes relevantes acerca de la persona que utiliza un circuito de retroalimentación en línea conformado por información audiovisual (Egner, Strawson & Gruzelié, 2002).

Otro objetivo del *neurofeedback* consiste en mejorar el rendimiento, basado en asociaciones entre aquellas mediciones registradas en el EEG y aquellos comportamientos o estados de concentración que refiere dicho patrón de ondas; es decir, cómo los estados emocionales, de relajación y concentración de la persona pueden hacer que su ritmo y longitud de onda sea más rápido o lento, según sea el caso, y cómo influyen en su amplitud y voltaje (Sherlin, Larson & Rebecca, 2013).

Se encuentran estudios que indagan cómo la retroalimentación o *feedback* podría inducir un estado emocional en las personas. Por ejemplo, Egner y Gruzelié (2010) proponen técnicas de relajación, biorretroalimentación o *biofeedback* y descentralización sistemática, y de este modo se acercan a un enfoque más cognitivo de la utilización de la técnica, un aspecto que se relaciona con las variables psicológicas como regulación emocional, funciones cognitivas y concentración, entre

otros. Para la ejecución del estudio los autores describen el *software* utilizado para evaluar la activación neuronal junto con la aplicación del *Adjective Checklist (AD-ACL)*, instrumento que mide la activación emocional de cada participante. A partir de la tensión alta o baja y la desactivación de las ondas *alpha* y *theta*, los autores logran diferenciar la presencia de un estado emocional de otro, en cada sujeto evaluado.

ONDAS CEREBRALES

Las áreas corticales del cerebro producen ritmos diferentes, que son observados como señales desde un registro electrónico o EEG. Estas señales se clasifican en:

1.- Delta 1-4 Hz es una onda asociada con el sueño que está presente en los estados de relajación muscular, de modo que resulta muy útil en los estiramientos y calentamientos deportivos (Behncke, 2004).

2.- Theta 4-8 Hz está relacionada con la ansiedad pre-competencia, también con el estado emocional, más exactamente con las emociones positivas (Thompson, Steffert, Ros, Leach & Gruzelier, 2008).

3.- Alpha 8-12 Hz permite el enfoque, filtrando las distracciones, pensamientos y emociones (Beauchamp, M., Harvey & Beauchamp, P., 2012).

4.- SMR 12-15 Hz, ritmo sensoriomotor. Es la expresión de la actividad oscilatoria sincronizada, reflejada en la corteza motora sensorial y está asociada con el movimiento del cuerpo y la capacidad de concentración (Gruzelier, Inoue, Smart, Steed & Steffert, 2010).

5.- Beta 13-30 Hz son las ondas de mayor velocidad, asociadas a estados de vigilia y actividad mental, los estados de alerta y concentración activa. Su estimulación directa puede causar cambios importantes en el estado emocional (Beuchmamp et al., 2012).

- Beta I 15-20 Hz son ondas bajas de Beta relacionadas con las habilidades mentales y la medición de CI (Hammond, 2005).

- Beta II 20-30 Hz son ondas altas de Beta, estados alerta, posibles estados de ansiedad (Hammond, 2005).

Para Sherlin y colaboradores (2013), la importancia de obtener la información cerebral radica en la posterior justificación del cambio logrado, a partir de la información esclarecida por *neurofeedback*, acerca del funcionamiento de cada una de las ondas cerebrales. En otras palabras, el conocimiento de la Neurofisiología y las neurociencias resulta de suma importancia para hacer uso de la técnica de manera interdisciplinaria (Raymond, Sajid, Parkinson & Gruzelier, 2005).

Luego de conocer los objetivos de *neurofeedback*, en cuanto a ondas cerebrales se refiere, es pertinente revisar lo encontrado acerca de los aspectos técnicos, tema en el que varios autores se dedican a explicar el funcionamiento, aplicación y soporte técnico de los dispositivos e instrumentos de electroencefalografía (EEG).

Hammond (2008) menciona dos modelos de *neurofeedback* que difieren acerca del área o actividad cerebral modificada por cada uno. Por un lado está el *Energy Neurofeedback System (ENS)*, que se trata de una pequeña señal electromagnética que hace al cerebro más flexible frente al exceso de amplitud y variabilidad de ondas. El otro molde es el *Hemoencephalography and passive infrared hemoencephalography (HEG)* que modifica el fluido sanguíneo cerebral, aumentándolo en las áreas donde parece insuficiente.

Son modelos que adquieren importancia para las personas con enfermedades en el sistema nervioso central, en quienes existe una afectación en los biomarcadores del líquido cefalorraquídeo expresado en un patrón específico demostrado por medio de la neuroimagen funcional por emisión de positrones (PET) (Comesaña & Vivas, 2015).

En otro estudio se encontró la aplicación no lineal de medidas dinámicas del EEG realizada en sesiones pre y post a pacientes con Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH) (Cerquera, Arns, Buitrago, Gutiérrez & Freund, 2012). Uno de los objetivos de este estudio colombiano es revisar la efectividad de cinco medidas basadas en técnicas de dinámica no lineal, para detectar diferencias en los registros de EEG de pacientes con TDAH antes y después de la terapia de *neurofeedback*. Para tal fin se revisaron los trabajos de Monastra, Lubar y Linden (2001), quienes sugieren el uso de la relación *beta / theta* para diferenciar el patrón de ondas en el TDAH y los pacientes control. Ello se realiza mediante la cuantificación del EEG en la revisión de la conectividad entre bandas y canales, que permite establecer cuáles son los que aportan más información, así como la interpretación de esta información por medio de algoritmos y modelos matemáticos.

En sus conclusiones los autores plantean que entre los 26 canales de respuesta que generalmente posee un registro EEG, el tres es el más representativo, teniendo en cuenta que esta interpretación cambiará en la medida en que se establezca un objetivo de evaluación particular (Cerquera et al., 2012).

Cabe destacar que Vernon, Egner, Cooper, Compton, Neilands, Sheri y Gruzeliar (2003) realizan mediciones pre y post de los entrenamientos y actividades cognitivas, pues las consideran como la manera adecuada de interpretar los resultados del EEG, en términos de efectividad y cambio. Tiempo atrás Landres, Petruzzello, Salazar, Crews, Kubitz, Gannon y Han (1991) ya habían mencionado como evidencia la utilización de un paradigma entre los resultados del EEG y una prueba de concentración, describiendo cómo el mayor componente para la concentración es la capacidad para mantener el foco de atención en la ejecución de la tarea (Kerick et al., 2001b).

Thompson y colaboradores (2008) describen cómo el movimiento corporal y en general la actividad motora y visual influyen en los estudios electroencefalográficos. Por esta

razón estos estudios se realizan pre y post, incluso medidos en un período muy corto en el caso de deportes de precisión como tiro con arco (Medición de los 7 segundos anteriores al disparo) (Bird, 1987).

En esta misma línea los autores proponen cómo cada acción física y motora en los deportes de precisión es dibujada en el registro EEG, cómo la interpretación de este registro constituye una aproximación al criterio que muestra y de qué manera la ejecución de cada actividad motora se corresponde con la activación de una onda cerebral particular. Además, esta onda puede a su vez responder al desarrollo de las funciones cognitivas superiores, relación que será explicada en el siguiente apartado:

El uso del *10-20 System* en el estudio de los autores citados recientemente, permite una división de los hemisferios cerebrales en zonas de medición, es decir, la separación de los cuatro hemisferios: frontal, parietal, temporal y occipital; y la subdivisión de ellos en pequeñas áreas (F3 - F4...) en las cuales el registro EEG define la región cerebral a la que le es asignada el desarrollo de una función cognitiva particular (Jasper, 1958). Resulta pertinente el estudio de dichos autores por la relación que sostienen entre el deporte y los movimientos que este implica para quien lo practica y la actividad cerebral reflejada producto de dicha interacción electrofisiológica (Thompson et al., 2008).

En la descripción de cómo se refleja el comportamiento de cada onda con el uso de *neurofeedback*, Heinrich, Gevensleben y Strehl (2007) explican cómo cada amplitud de onda estará representada en un extremo de la pantalla por una barra que mostrará el nivel alcanzado por el participante, con una línea base que determina cuánto sube o baja esta amplitud, de manera que se convierte en un indicador de progreso o retroceso para la habilidad entrenada. El mismo autor recomienda a los profesionales que aplican la técnica que además de contar con la formación necesaria, deben también asignar deberes para el hogar a los participantes, de modo tal que implementen la habilidad obtenida como estrategia en la resolución de conflictos de la vida cotidiana.

METODOLOGÍA

Se informa una revisión de estudios que abordan el *neurofeedback* aplicado al ámbito deportivo, artístico y cognitivo, y que se encuentran registrados en distintas bases de datos tales como *Science Direct*, Springer link, Dialnet y Pubmed, como así también la revisión de trabajos de grupos de investigación de Colciencias, además de información obtenida con la asistencia a seminarios, eventos e instituciones relacionados con el tema. También se incluye la revisión de un documento acerca de bioinformación publicado por la Facultad Libre de Altos Estudios para Científicos de Barcelona y la consulta de varios portales de internet que reflejan la actividad registrada en diversos países con el instrumento de *neurofeedback*. Se encontró información extranjera, a excepción de dos artículos de carácter nacional. Se excluyeron aquellos artículos referidos a enfermedades médicas específicas y aquellos que solo incluían información técnica del instrumento más no su utilidad en un ámbito determinado.

APLICACIONES DEL NEUROFEEDBACK

El *neurofeedback* es una técnica utilizada como método terapéutico para las disfunciones cognitivas (Thompson et al., 2008) y puede presentarse bajo tres ámbitos cerebrales: la conectividad global que suponen los circuitos neuronales, la neuroplasticidad o capacidad del cerebro tanto para reintegrar información en las distintas localizaciones, como para categorizar la totalidad del contenido percibido por los sentidos y el refuerzo automático de la red ejecutivo central y de prominencia; es decir, la red de atención responsable de la supervisión y regulación del control atencional voluntario y de las capacidades atencionales necesarias para realizar tareas cognitivas complejas que requieren un grado de atención particular para ser ejecutadas. Un ejemplo de estas tareas son los juegos y los deportes de precisión (Wilson & Gunkelman, 2001).

Un estudio que da cuenta de la medición de funciones cognitivas mediante la aplica-

ción de *biofeedback* es el de Behncke (2004), quien realizó una revisión acerca de las diferentes técnicas existentes para el entrenamiento de las habilidades mentales y su relación cognitivo somática, que referida al ámbito deportivo mostraría efectos positivos para la ejecución y concentración dentro de la disciplina. Entre estas técnicas se encuentran: el ensayo mental, las imágenes mentales y la visualización, la terapia cognitivo-conductual, la biorretroalimentación, la relajación muscular progresiva y la meditación (Vernon, 2005). Las habilidades psicológicas son evaluadas aquí con métodos que separan los componentes cognitivo y somático (*biofeedback*), de modo que Behncke (2004) incluye la variable de las emociones a propósito de la motivación como elemento esencial para la aplicación y funcionamiento de *neurofeedback* o *biofeedback*. Otro aporte se refiere a cómo el *neurofeedback* es utilizado terapéuticamente en patologías de orden neuropsicológico, para las cuales este tipo de retroalimentación referiría una intervención efectiva.

El inicio del uso clínico de *neurofeedback* en la Psiquiatría Infanto-juvenil tiene su origen hace 30 años y sus primeros estudios estuvieron dedicados a epilepsia y TDAH (Cantor, Thatcher, Hrybyk & Kaye 1986). En los niños, de hecho, la técnica está dirigida al entrenamiento en la adquisición de una estrategia adecuada para la regulación y mantenimiento de su motivación en una tarea determinada (Kleinnijenhuis, 2007), teniendo en cuenta que los desórdenes atencionales son factores de riesgo que afectan el rendimiento académico y social del niño (Monteoliva, Ison & Pattini, 2014).

En este caso vale la pena mencionar como principales patologías: TDAH, autismo, dificultades de aprendizaje, epilepsia (Kotchoubey, Strehl, Uhlmann, Holzapfel, König & Fröscher, 2001), uso de sustancias psicoactivas (Koob & Volkow, 2010) y TEPT (Trastorno por Estrés Postraumático - Coben & Padolsky, 2007; Gevensleben, Holl, Albrecht, Schlamp, Kratz & Studer et al., 2010).

Asimismo, Hammond (2007) explica cómo el entrenamiento con *neurofeedback* pue-

de atacar la predisposición biológica de enfermedades como ansiedad y depresión y en su estudio muestra los resultados de la comparación entre el entrenamiento con 30 sesiones de *neurofeedback* y la administración de medicamentos ansiolíticos y antidepresivos. Como resultado, obtuvo una disminución en la predisposición biológica a partir de la estimulación de la actividad *alpha* del hemisferio izquierdo.

Además de la aplicación de *neurofeedback* a patologías mentales, hay un estudio de Raymond, Varneya, Lesley y Gruzelier (2005) que está dirigido a aspectos tales como la personalidad, mediante la evaluación de un grupo de sujetos con escalas como el *Profile of Mood States* (POMS) y el *Minnesota Multiphasic Personality Inventory* (MMPI), aplicando sesiones del protocolo *alpha/theta*, simultáneamente con las escalas psicométricas. El estudio refleja cómo la técnica bajo el protocolo mencionado, podría normalizar rasgos desviados de personalidad y aumentar los sentimientos de bienestar. Los resultados muestran cambios de personalidad a partir de las mejoras en el estado de ánimo; de esta forma los sujetos se concibieron emocionalmente más estables, socialmente más audaces y en general lograron sentirse mejor consigo mismos (Kleinnijenhuis, 2007).

Es pertinente nombrar nuevamente el estudio de Vernon (2005) acerca de la aplicación de la técnica en distintas actividades con demanda cognitiva. De esta forma, el autor refiere no solamente el ámbito deportivo como posible área de intervención, sino que además menciona la aplicación de *neurofeedback* en el arte y en tareas cognitivas específicas como la lectoescritura.

Ahora bien, para las ciencias de la salud es importante recordar aquellas mediciones realizadas en condiciones saludables y patológicas. No obstante, Vernon dirige su estudio a los músicos o intérpretes de un instrumento musical, para resaltar cómo la técnica no evalúa únicamente criterios de salud-enfermedad sino que también resulta útil en la elaboración de perfiles neuropsicológicos dentro del marco de distintas disciplinas.

Con referencia al área artística se encontró que la actividad *alpha* y *beta*, cuya frecuencia muestra un grado de elevación significativo en el registro EEG, describirá con precisión el perfil neuropsicológico de un músico o intérprete de un instrumento. Así se perfila otra utilidad metodológica del *neurofeedback* que no es otra forma de medición o un comprobante de diagnósticos patológicos, sino un patrón guía para la elaboración de perfiles en disciplinas como la música y el deporte, con el fin de optimizar el rendimiento de artistas y deportistas, cualquiera que sea la disciplina (Petsche, Lindner, Rappelsberger & Gruber, 1988).

En el área deportiva se describe un patrón de actividad cortical de la onda *alpha* y se explica cómo los resultados del EEG exhiben una asimetría específica entre la ejecución de una tarea determinada y la estimulación del lóbulo temporal derecho con un espectro significativo de 10-12 Hz, precisamente en el área donde es relacionada la actividad de la onda *theta* con los procesos de memoria y cognición (Vernon et al., 2003).

El estudio realizado por Arns, Kleinnijenhuis, Fallahpour y Bretler (2007) describe los alcances que el *neurofeedback* ha obtenido en la mejoría de la actividad cerebral en pacientes deportistas y no deportistas. Esta mejoría se refleja en los logros obtenidos en la ejecución de deportes como golf, ski, tiro con arco y nadadoras profesionales según un estudio de Faridnia, Shojaei y Rahimi (2012). Además describe el entrenamiento que el *neurofeedback* puede realizar no solo sobre las funciones cognitivas tales como la concentración y memoria, sino incluso sobre otras variables, como el control emocional (Niv, 2013).

En el ámbito deportivo se debe resaltar un estudio que muestra el desarrollo de la implementación del *neurofeedback* en un equipo de patinaje de velocidad, tres años antes de los juegos olímpicos de Canadá del 2010. En él se muestra la influencia de las habilidades psicológicas en los entrenamientos. Este estudio se realiza a partir de *Neurofeedback Training for Relaxation* o técnica de relajación, examinando dos ondas diferen-

tes, la onda *alpha* para reducir el diálogo interno negativo, o palabras dirigidas a sí mismo en los momentos de pre competencia, práctica comúnmente realizada en deportistas, y la onda *beta* para evaluar cómo llegaron los deportistas hasta allí, de modo que tengan en cuenta este tipo de información a la hora de la competencia (Beauchamp et al., 2012).

El diálogo interno negativo es un fenómeno de vital importancia, pues en deportes como tiro con arco se presenta de una manera constante en los 7 segundos anteriores al disparo (Berman et al., 2011). Esta es una variable psicológica interna que mostrará resultados en el deportista y su rendimiento a partir de los procesos emocionales que se presentan en el momento del disparo, por ello resulta oportuno el estudio citado anteriormente, que tiene en cuenta variables como la ansiedad, el estrés, la concentración y la confianza en sí mismo. Cabe anotar que en este caso la aplicación de *neurofeedback* se apoya en algunas escalas, para la medición de las variables mencionadas.

Para la concentración como variable cognitiva, el estudio ejecuta el llamado *Vision Training* o estrategias visuales para la especificación de la información visual disponible para los atletas en el transcurso de la competencia y se refiere a la importancia de los elementos presentes en el campo de visión del deportista (Beauchamp et al., 2012).

Además de Vernon, otros autores también exploran los protocolos de *neurofeedback* para el desarrollo de actividades que requieren un entrenamiento cognitivo y emocional. Egner y Gruzelier (2010) hablan acerca del Protocolo *Alpha / Theta* aplicado en relajación, por la relación de *theta* en la línea frontal media y los procesos cognitivos y afectivos. Luego de haber tratado en el 2005 el valor de *theta* para actividades artísticas, onda que describen como un factor positivo para las tareas visoespaciales y que requieren la creatividad (Gruzelier & Egner, 2005). Este hallazgo es confirmado en un estudio posterior del mismo autor, esta vez para encontrar la imagen del funcionamiento mental que presente mejor el proceso creativo (Gruzelier, 2014).

Se citó anteriormente a Gruzelier con respecto a aspectos relacionados con la personalidad y cómo el *neurofeedback* podría corregir algunos de sus rasgos desviados, pero en otro estudio del mismo año, el autor relaciona estos aspectos con el rendimiento en artes escénicas, de modo que la creatividad y la capacidad imaginativa podrían unirse al control y la confianza adquiridas en el *neurofeedback* aplicado a la personalidad, llevando al artista a mejorar su rendimiento en base a estar mejor consigo mismo (Gruzelier, 2008).

Sin dejar la línea de las artes escénicas de lado, Raymond y colaboradores (2005) hicieron un estudio acerca de *neurofeedback* en bailarines de salón en Norte América que muestra mejorías en la ansiedad cognitiva pre competencia, así como en la gestualidad y expresión facial en el rendimiento de bailarines de otro tipo e incluso gimnastas.

En el área médica se ha aplicado el *neurofeedback* como entrenamiento obteniendo los resultados esperados. Para mejorar las habilidades quirúrgicas bajo medidas cronometradas y valoración de expertos usando videograbación, Ros, Moseley, Bloom, Benjamin, Parkinson y Gruzelier (2009) realizaron un entrenamiento con 20 jóvenes del Servicio Nacional de Salud de Microcirugías Oftálmicas en Londres. Los resultados de los participantes muestran mejoras en la técnica global, tarea de sutura y una disminución considerable en los niveles de ansiedad, así como una ejecución más rápida, que podría estar asociada con un cambio en SMR y una disminución en *theta*. *Neurofeedback* es también aplicado a pacientes diagnosticados con fibromialgia según un estudio de Barrera, Gómez y Prieto (2013) (Kayiran, Dursun, E., Dursun, M., Ermutlu & Karamürsel, 2010).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Finalmente se pueden nombrar algunos de los beneficios del *neurofeedback*, teniendo en cuenta que es un método respaldado por la evidencia, lo que resuelve las inquietudes acerca de su fiabilidad, cualquiera que sea su uso.

Además, la formación en *neurofeedback* se adapta a la persona y sus necesidades particulares (Kleinnijenhuis, 2007), aunque con respecto a esto existen aún recomendaciones dirigidas a futuras investigaciones que refieren la implementación de nuevos protocolos para la aplicación de *neurofeedback* en pro de optimizar el entrenamiento individual según el patrón de ondas de cada individuo (Bazanov, Jafarova, Mazhirina, Mernaya & Shtark, 2008).

Entre otros beneficios a nivel cerebral, se descubre a partir de la aplicación de la técnica un aumento de 12 a 19 puntos en el CI, para el caso de los sujetos cuyo motivo de consulta se refiere a problemas de aprendizaje (Doppelmayr, Klimesch, Stadler, Polhuber & Heine, 2002; Moss & Wilson, 2011).

El resultado del entrenamiento efectivo con *neurofeedback* puede aparecer entre la sesión 20 y en la sesión número 40 del entrenamiento (Barrera et al., 2013). Justo en este rango se encuentra otra de las condiciones de su uso: la constancia y compromiso de cada paciente o participante debe coincidir con el objetivo plasmado, con el fin de que la efectividad de *neurofeedback* aparezca en el momento mencionado.

Algunos estudios mencionan que la actividad cerebral de un sujeto diagnosticado con epilepsia se diferenciará del grupo sin este diagnóstico y no permitirá una medición confiable del mejoramiento en el rendimiento. Por tanto deben elaborarse criterios de exclusión e inclusión de participantes para cada caso (Faridnia et al., 2012).

Hammond (2011) establece algunos de los efectos secundarios que pueden presentarse en el caso de que las sesiones sean demasiado prolongadas para el participante, por ejemplo: dolor de cabeza, fatiga y ansiedad, los cuales son estados momentáneos de modo que no deben ser considerados factores de riesgo ni de exclusión durante el tratamiento.

Se concluye que la intervención integral es posible con el uso de la técnica, pues ha sido usada con éxito tanto en el tratamiento de di-

versas patologías como en el proceso de optimización y mejoramiento en otras áreas como el deporte, el arte y la ciencia (Beauchamp et al., 2012).

El *neurofeedback* es una técnica o procedimiento no invasivo, construido a partir de los distintos instrumentos encefalográficos, que permiten determinar la relación existente entre la actividad de las ondas cerebrales y la ejecución de tareas cognitivas, de las cuales se realiza una observación complementaria (Niv, 2013).

La mayoría de los estudios citados recalca la importancia de la interpretación de los resultados, de modo que es necesario conocer la descripción y funcionalidad de cada onda cerebral para atribuirle un papel a dicha onda y su posterior ubicación en el desarrollo cognitivo de una tarea particular. Ello adquiere mayor importancia si la intencionalidad de usar la técnica radica en realizar un diagnóstico particular, pues distintos estudios dan cuenta de cómo dicha técnica ha sido utilizada principalmente en el tratamiento de TDAH, pero no como diagnóstico de la patología.

Una forma de reconocer el *neurofeedback* como algo complementario a una intervención, es examinar qué otras técnicas de intervención se han utilizado previamente. Es el caso del estudio canadiense citado, en el cual el *neurofeedback* es una de las técnicas aplicadas a los patinadores para optimizar su entrenamiento y que constituye precisamente, en términos de tratamiento, el rol que mejor desempeña la técnica en la mayoría de los estudios revisados. Esta búsqueda se basó principalmente en estudios de autores que continúan siendo vigentes, aunque se considera que puede ser complementada con información escrita en los últimos años.

Como recomendaciones generales para futuras investigaciones es claro que existe una necesidad de crear e implementar protocolos que respalden la técnica para cada situación particular, incrementando su uso, ya que hasta el momento su eficacia ha sido demostrada con éxito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arns, M., Kleinnijenhuis, M., Fallahpour, K. & Bretler, R. (2007). Golf performance enhancement and real-life neurofeedback training using personalized event-locked EEG profiles. *Journal of Neurotherapy*, 11(4), 11-18. <http://dx.doi.org/10.1080/1087420080214965>
- Barrera, L., Gómez, E. & Prieto, L. (2013). *Efectividad del tratamiento con neurofeedback. Programa de Psicología* [Effectiveness of treatment with neurofeedback. Psychology Program]. Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud. Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia. Recuperado el 21 de septiembre de 2014 de <http://hdl.handle.net/10336/4458>
- Bazanova, O., Jafarova, O., Mazhirina, K., Mernaya, E. & Shtark, M. (2008). Optimal functioning: Psychophysiological bases and neurofeedback training. *Symposium Abstracts International Journal of Psychophysiology*, 69, 139-205. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.05.422>
- Beauchamp, M., Harvey, R. & Beauchamp, P. (2012). An Integrated Biofeedback and Psychological Skills Training Program for Canada's Olympic Short-Track Speedskating Team. *Journal of Clinical Sport Psychology. Science Direct*, 6, 67-84.
- Behncke, L. (2004). Mental skills training for sports: A brief review. *Athletic Insight Journal of Sport Psychology*, 6(1), 1-12.
- Berger, H. (1929). Über das Elektrenkephalogramm des Menschen [About the electroencephalogram of man]. *Archiv Fur Psychiatrie Nervenkrankheiten*, 87, 527-570.
- Berman, M., Nee, D., Casement, M., Kim, H., Deldin, P., Kross, E. et al. (2011). Neural and behavioral effects of interference resolution in depression and rumination. *Cognitive Affective & Behavioral Neuroscience*, 11, 85-96. <http://dx.doi.org/10.3758/s13415-010-0014-x>
- Bird, E. (1987). Psychophysiological processes during rifle shooting. *International Journal of Sports Psychology*, 18, 9-18. Academic Press is an imprint of Elsevier.
- Budzynski, T., Budzynski, H., Evans, J. & Abardanel, A. (2009). *Introduction to quantitative EEG and neurofeedback*. Academic Press is an imprint of Elsevier.
- Cantor, D., Thatcher, R., Hrybyk, M. & Kaye, H. (1986). Computerized EEG, analyses of autistic children. *Journal of Autism & Developmental Disorders*, 16(2), 169-187. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01531728>
- Cerquera, A., Arns, M., Buitrago, E., Gutiérrez, R. & Freund, J. (2012). *Nonlinear dynamics measures applied to eeg recordings of patients with attention deficit/hyperactivity disorder: Quantifying the effects of a neurofeedback treatment*. Trabajo presentado en la 34th Annual International Conference of the IEEE EMBS San Diego, California, USA. <http://dx.doi.org/10.1109/EMBC.2012.6346116>
- Coben, R. & Padolsky, I. (2007). Assessment-guided neurofeedback for autistic spectrum disorders. *Journal of Neurotherapy*, 11(1), 5-23. http://dx.doi.org/10.1300/J184v11n01_0
- Comesaña, A. & Vivas, J. (2015). Evolución de la categorización semántica en adultos mayores con diagnóstico de DCL-A y DTA y sin patología neurológica [Evolution of semantic categorization in older adults with and without neurological disease]. *Interdisciplinaria*, 32 (1), 7-29. <http://dx.doi.org/10.16888/interd.2015.32.1.1>
- Doppelmayr, M., Klimesch, W., Stadler, W., Polhuber, D. & Heine, C. (2002). EEG alpha power and intelligence. *Intelligence*, 30, 289-302. [http://dx.doi.org/10.1016/S0160-2896\(01\)00101-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0160-2896(01)00101-5)
- Egner, T. & Gruzelier, J. (2010). The temporal dynamics of electroencephalographic responses to alpha / theta neurofeedback training in healthy

- subjects. *Journal of Neurotherapy*, 8, 43-57. http://dx.doi.org/10.1300/J184v08n01_04
- Egner, T., Strawson, E. & Gruzelić, J. (2002). EEG signature and phenomenology of alpha / theta b Neurofeedback Training Versus Mock Feedback. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 27(4), 261-270. PMID: 12557453
- Faridnia, M., Shojaei, M., Rahimi, A. (2012). The effect of neurofeedback training on the anxiety of elite female swimmers. *Scholars Research Library Annals of Biological Research*, 3(2), 1020-1028.
- Gevensleben, H., Holl, B., Albrecht, B., Schlamp, D., Kratz, O., Studer, P. et al. (2010). Neurofeedback training in children with ADHD: 6-Month follow-up of a randomised controlled trial. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 19(9), 715-724. <http://dx.doi.org/10.1007/s00787-010-0109-5>
- Gruzelić J. (2008). *A theory of alpha / theta neurofeedback, creative performance enhancement, long distance functional connectivity and psychological integration*, *Cogn Process*, 10, 101-109. <http://dx.doi.org/10.1007/s10339-008-0248-5>
- Gruzelić J. (2014). EEG-neurofeedback for optimising performance. II: Creativity, the performing arts and ecological validity. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 44, 142-158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.11.004>
- Gruzelić, J. & Egner, T. (2005). Critical validation studies of neurofeedback. *Child Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, 14, 83-104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chc.2004.07.002>
- Gruzelić, J., Inoue, A., Smart, R., Steed, A. & Steffert, T. (2010). Acting performance and flow state enhanced with sensory-motor rhythm neurofeedback comparing ecologically valid immersive VR and training screen scenarios. *Neuroscience Letters*, 480, 112-116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2010.06.019>
- Hammond, C. (2005). Neurofeedback treatment of depression and anxiety. *Journal of Adult Development*, 12(2-3). <http://dx.doi.org/10.1007/s10804-005-7029-5>
- Hammond, C. (2007). Neurofeedback for the enhancement of athletic performance and physical balance. *The Journal of the American Board of Sport Psychology*, (1), 2-6.
- Hammond, C. (2008) What is neurofeedback? *Journal of Neurotherapy: Investigations in Neuromodulation, Neurofeedback and Applied Neuroscience*, 10(4), 25-36. http://dx.doi.org/10.1300/J184v10n04_04
- Hammond, C. (2011). What is neurofeedback: An update. *Journal of Neurotherapy*, 15(4), 305-336. <http://dx.doi.org/10.1080/10874208.2011.623090>
- Heinrich, H., Gevensleben, H. & Strehl, U. (2007). Annotation: Neurofeedback - train your brain to train behavior. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48(1), 3-16. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-7610.2006.01665.x>
- Monteoliva, J.M., Ison, M.S. & Pattini, A.E. (2014). Evaluación del desempeño atencional en niños: Eficacia, eficiencia y rendimiento [Evaluation of attentional performance in children: Effectiveness, efficiency and performance]. *Interdisciplinaria*, 31(2), 213-225. <http://dx.doi.org/10.16888/interd.2014.31.2.2>
- Jasper, H. (1958). The 10-20 electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Jordanova, N. & Demerdzieva, A. (2010). Biofeedback training for peak performance in sport. Case study. *Macedonian Journal of Medical Sciences. Basic Science*, 3(2), 113-118. <http://dx.doi.org/10.3889/MJMS.1857-5773.2010.0098>
- Kayiran, S., Dursun, E., Dursun, N., Ermutlu, N. & Karamürsel, S. (2010). Neurofeedback. A randomized, controlled, rater blind clinical trial. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*,

- 35(4), 293–302. <http://dx.doi.org/10.1007/s10484-010-9135-9>
- Kerick, S., Mc Dowell, K., Hung, T., Santa Maria, D., Spalding, T. & Hatfield, B. (2001a). The role of the left temporal region under the cognitive motor demands of shooting in skilled marksmen. *Biological Psychology*, *58*, 263-277. [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-0511\(01\)00116-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-0511(01)00116-8)
- Kerick, S., McDowell, K., Hung, T., Santa Maria, D., Spalding, T. & Hatfield, B. (2001b). The role of the left temporal region under the cognitive motor demands of shooting in skilled marksmen. *Biological Psychology*, *58*, 352-35. [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-0511\(01\)00116-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-0511(01)00116-8)
- Kleinnijenhuis, M. (2007). *Comparison of SMR and SCP training employing a newly developed discrete-trial based biofeedback system. Implications for brain-computer interfaces, neurofeedback and the interrelationship between SCP and SMR networks*. Tesis de Maestría no publicada. Radboud Universiteit Nijmegen. Holanda.
- Koob, G. & Volkow, N. (2010). *Neurocircuitry of addiction*. *Neuropsychopharmacology*, *35*(1), 217-238. <http://dx.doi.org/10.1038/npp.2009.110>
- Kotchoubey, B. et al. (2001). Modification of slow cortical potentials in patients with refractor epilepsy: A controlled outcome study. *Epilepsia*, *42*(3), 406-416. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1528-1157.2001.22200.x>
- Landres, D., Petruzzello, S., Salazar, W., Crews, D., Kubitz, K., Gannon, T. & Han, M. (1991). The influence of electrocortical biofeedback on performance in pre-elite archers. Exercise and Sport Research Institute. Arizona State University. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, *23*(1). PMID: 1997806.
- Menon, V. (2011). Large-scale brain networks and psychopathology: A unifying triple network model. *Trends in Cognitive Neuroscience*, *15*, 483-506. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2011.08.003>
- Monastra, J. Lubar, F. & Linden, M. (2001). The development of a quantitative electroencephalographic scanning process for attention deficit-hyperactivity disorder: reliability and validity studies. *Neuropsychology*, *15*(1), 136-144. <http://dx.doi.org/10.1037/0894-4105.15.1.136>
- Moss, D. & Wilson, S. (2012). *The use of general biofeedback in the pursuit of optimal performance. Case studies in applied psychophysiology: Neurofeedback and biofeedback treatments for advances in human performance*. Chichester, UK: Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119959984.ch1>
- Niv, S. (2013). Clinical efficacy and potential mechanisms of neurofeedback. *Personality and Individual Differences*, *54*, 676-686. <http://dx.doi.org/10.1016/j.paid.2012.11.037>
- Petsche, H., Lindner, K., Rappelsberger, P. & Gruber, G. (1988). The EEG: An adequate method to concretize brain processes elicited by music. *Music Perception*, *6*, 133-159. <http://dx.doi.org/10.2307/40285422>
- Raymond, J., Sajid, I., Parkinson, L. & Gruzelier, J. (2005). Biofeedback and dance performance: A preliminary investigation. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, *30*(1). PMID: 15889586.
- Raymond, J., Varneya, C., Lesley, A. & Gruzelier, J. (2005). The effects of alpha/theta neurofeedback on personality and mood. *Cognitive Brain Research*, *23*, 287–292. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.10.023>
- Ros, T., Moseley, M., Bloom, P., Benjamin, L., Parkinson, L. & Gruzelier, L. (2009). *Optimizing microsurgical skills with EEG neurofeedback*. Department of Psychology, Goldsmiths, University of London. BMC Neuroscience. <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2202-10-87>
- Sherlin, L., Arns, M., Lubar, J., Heinrich, H., Kerison, C., Strehl, U. & Barry, S. (2011). Neurofeedback and basic learning theory: Implica-

- tions for research and practice. *Journal of Neurotherapy: Investigations in Neuromodulation, Neurofeedback and Applied Neuroscience* 15(4), 292-304. <http://dx.doi.org/10.1080/10874208.2011.623089>
- Sherlin, L, Larson N. & Rebecca M. (2013). Developing a performance brain training TM Approach for baseball: A process analysis with descriptive data. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 38, 29-44. <http://dx.doi.org/10.1007/s10484-012-9205-2>
- Thompson, T., Steffert, T., Ros, T., Leach, J. & Gruzelier, J. (2008). EEG applications for sport and performance. *Methods, Department of Psychology*, 3(45), 279-288. <http://dx.doi.org/10.016/j.ymeth.2008.07.006>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1007/s10484-005-8421-4>
- Vernon, D., Egner, T., Cooper, N., Compton, T., Neilands, C. Sheri, A. & Gruzelier J. (2003). The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *International Journal of Psychophysiology*, (47), 75-85. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8760\(02\)00091-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8760(02)00091-0)
- Wagner, M. (1975). Brainwaves and biofeedback: A brief history. Implications for music research. *Journal of Music Therapy*, 12(2), 46-58. <http://dx.doi.org/10.1093/jmt/12.2.46>
- Wilson, V. & Gunkelman, J. (2001). Neurofeedback in sport. *Biofeedback*, 29(1), 16-18.

Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud
Bogotá D.C.
Colombia

Fecha de recepción: 5 de junio de 2015
Fecha de aceptación: 28 de abril de 2016