



Bio/neurofeedback

José Antonio Carrobes*

Universidad Autónoma de Madrid, España



INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 7 de septiembre de 2016

Aceptado el 16 de septiembre de 2016

On-line el 12 de octubre de 2016

Palabras clave:

Biofeedback
Neurofeedback
Definición
Proceso
Aplicaciones clínicas
Resultados de eficacia

Keywords:

Biofeedback
Neurofeedback
Definition
Process
Clinical application
Efficacy and results

R E S U M E N

Las técnicas de *biofeedback* (BF) desarrolladas desde los años 60 por la psicología tienen ya una larga historia, en la que han demostrado su utilidad y eficacia terapéutica en una considerable variedad de trastornos clínicos: neurológicos, neuromusculares, cardiovasculares, gastrointestinales, dolores crónicos, problemas dermatológicos, de sueño, respiratorios, trastornos traumáticos y de estrés, entre muchos otros. Entre las aplicaciones prácticas del BF destaca de modo especial el *biofeedback* electroencefalo-gráfico (BF-EEG), denominado *neurofeedback* (NF), cuya importancia y aplicaciones clínicas ha crecido y continúa creciendo aceleradamente gracias al importante desarrollo acaecido en los campos de la neurociencia y la informática sobre los que se sustenta el NF. El trabajo presentado describe y analiza de forma práctica el proceso y la técnica del BF y del NF, además de sus fundamentos metodológicos, pero, sobre todo, examina desde un punto de vista crítico las principales aplicaciones clínicas de las mismas junto al nivel de utilidad y eficacia terapéutica alcanzado en la actualidad.

© 2016 Colegio Oficial de Psicólogos de Madrid. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Bio/neurofeedback

A B S T R A C T

Biofeedback (BF) techniques were developed by psychology in the 1960s having then a long history in which they have proved their usefulness and therapeutic efficacy in a considerable variety of clinical disorders: neurologic, neuromuscular, cardiovascular, gastrointestinal, chronic pain, dermatological, sleep, respiratory, trauma and stress, among many other disorders. Practical applications of the BF include in particular Electroencephalographic Biofeedback (BF-EEG), known as Neurofeedback (NF), whose importance and clinical applications have grown and continue to grow rapidly thanks to the significant development in the fields of neuroscience and computer science on which NF rests. This paper describes and analyzes the technique and process of BF and NF, apart from their methodological foundations but, above all, from a critical point of view, the paper examines their main clinical applications together with the level of utility and therapeutic effectiveness currently achieved.

© 2016 Colegio Oficial de Psicólogos de Madrid. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

El *biofeedback*

El término *biofeedback* (BF) hace referencia a la facilitación a un sujeto de información procedente de algún sistema o proceso biológico normalmente no asequible para él por estar fuera de

su conciencia, mediante la utilización de aparatos electrónicos y determinadas técnicas de aprendizaje, para que a través de esa información el sujeto pueda llegar a aprender a controlar voluntariamente el funcionamiento de ese sistema biológico y, como consecuencia de ello, los trastornos psicofisiológicos o psicosomáticos relacionados con el mal funcionamiento del mismo (Carrobes, 2016).

La actividad biológica que es posible monitorizar y llegar a controlar a través del *biofeedback* es muy extensa y variada, incluyendo en la actualidad la actividad de la práctica totalidad de las respuestas fisiológicas reguladas a través de los diversos sistemas nerviosos

* Autor para correspondencia. Dpto. Psicología Biológica y de la Salud. Facultad de Psicología. Universidad Autónoma de Madrid. Calle Ivan Pavlov, 6. 28049 Madrid, España.

Correo electrónico: joseantonio.carrobes@uam.es

que constituyen un organismo humano: el sistema nervioso central, el sistema nervioso autónomo, el sistema nervioso somático o músculo-esquelético, el sistema neuro-endocrino y el sistema neuro-inmunológico.

El *biofeedback* (BF) ha demostrado sobradamente, en sus más de cincuenta años de existencia, su utilidad práctica en la resolución de una considerable cantidad de problemas clínicos, entre los que cabe mencionar los siguientes tipos de trastornos: neurológicos, neuromusculares, cardiovasculares, gastrointestinales, dolores crónicos, problemas oftalmológicos y visuales, respiratorios, trastornos de estrés, dentales y dermatológicos, entre muchos otros (Carrolles y Godoy, 1987).

En términos metodológicos, el *biofeedback* constituye un campo aplicado desarrollado por la psicología y como tal se apoya en los principios y procedimientos del campo denominado psicología del aprendizaje, dentro de la misma. En este sentido, cabe decir que lo realmente útil o terapéutico del *biofeedback* no estriba en la simple utilización de unos sofisticados aparatos electrónicos, sino en la adecuada aplicación de los principios y técnicas de aprendizaje desarrolladas por la psicología, especialmente el condicionamiento operante.

Recientemente, el campo ha recobrado un inusitado incremento y un notable protagonismo ligado especialmente a los nuevos desarrollos tecnológicos y al aumento de las aplicaciones de la modalidad de *biofeedback* electroencefalográfico (BF-EEG), denominado genéricamente *neurofeedback* (NF) y en consonancia con el nombre de *neuroterapias* que se ha dado a los correspondientes tratamientos y aplicaciones del mismo en la resolución de una multitud de trastornos clínicos, controlados o mediados por la actividad cerebral.

El impresionante desarrollo tecnológico y comercial del campo no deja ver en ocasiones con facilidad los logros reales científicamente probados de los resultados obtenidos en las aplicaciones prácticas del BF en los diferentes problemas y trastornos clínicos en los que está siendo aplicado y la necesidad, aun no satisfecha, de mejorar la validez y la verificación de los resultados alcanzados en la aplicación de estas terapias en comparación con los demás tratamientos disponibles en la actualidad para esos mismos problemas, tema al que también dedicaremos alguna atención en este trabajo.

Una cuestión igualmente importante, aún sin resolver de modo satisfactorio, es la de responder a las importantes preguntas y dudas, aún pendientes de respuestas concluyentes, sobre las bases y los fundamentos conceptuales y empíricos del *biofeedback*, que han quedado relegados en gran medida por el notable incremento del desarrollo tecnológico y de las aplicaciones prácticas del BF en problemas clínicos y especialmente por el gran auge que están teniendo las más modernas técnicas del *neurofeedback* y de las *neuroterapias* en general.

Definición y elementos básicos del BF

Entre las distintas definiciones propuestas sobre el BF, centradas principalmente en las diferentes metas u objetivos que se pretenden alcanzar o en la propia descripción de la técnica o el procedimiento en sí mismo del BF, cabe citar la definición propuesta por la Asociación de Psicofisiología Aplicada y *Biofeedback* [Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback - AAPB; Schwartz y Andrasik, 2003; Shaffer y Moss, 2006] como una de las más consensuadas y que incluye tanto elementos procesuales como de los objetivos a alcanzar en el tratamiento con BF:

El *biofeedback* es una técnica que permite a una persona aprender a modificar la actividad fisiológica con la finalidad de mejorar la salud y la actividad de la misma, por medio del empleo de instrumentos de gran precisión, a través de los cuales

se logra medir distintas respuestas o actividades fisiológicas, como las ondas cerebrales, la función cardíaca, la respiración, la actividad muscular o la temperatura de la piel. Estos instrumentos facilitan (*feed-back*) de forma rápida y precisa esta información al sujeto. La facilitación de esta información (con frecuencia conjuntamente con los cambios producidos en el pensamiento, en las emociones y en el comportamiento) produce los cambios fisiológicos deseados. Estos cambios pueden mantenerse posteriormente sin la utilización continuada de ningún instrumento.

Como se observa en la definición, los elementos básicos incluidos en la técnica del BF son los siguientes: 1) el registro de distintas respuestas o actividades fisiológicas o biológicas (*bio*) por medio del empleo de instrumentos de gran precisión, 2) la facilitación (*feed-back*) de esta información al sujeto de forma rápida y precisa y 3) la ayuda a la persona para que aprenda a través de esa información a modificar la actividad fisiológica registrada con la finalidad de mejorar la salud y la actividad fisiológica alterada de la misma.

Las respuestas fisiológicas o biológicas que es posible registrar en la actualidad son muy numerosas y variadas según los diversos sistemas (nerviosos) eferenciales o de respuesta que componen los distintos sistemas biológicos o fisiológicos humanos: sistema nervioso central, sistema nervioso autónomo y sistema nervioso somático o músculo-esquelético. Entre estos tres sistemas fisiológicos, que caracterizan a los sujetos humanos y a los que se aplican las técnicas del BF, en la actualidad está cobrando una gran relevancia el registro de la propia actividad cerebral y los correspondientes correlatos vivenciales o mentales que la acompañan y su modificación mediante la técnica del BF-EEG. Este campo particular aplicado dentro del BF se denomina *neurofeedback* (NF) y se define como un tipo específico de *biofeedback* centrado en la propia actividad del sistema nervioso central a través del registro de las señales bioeléctricas cerebrales (EEG) y a través de ellas permitir el control y la regulación de diversos procesos cerebrales. El *neurofeedback* se aplica en la actualidad en el tratamiento de diversas patologías como el TDAH, la ansiedad, las conductas impulsivas, las adicciones, las lesiones cerebrales o la epilepsia, entre otras.

El proceso de biofeedback: elementos y fases

Como comentábamos al describir la técnica del BF, el procedimiento seguido en la aplicación de la misma consiste en facilitar al sujeto o al paciente de forma inmediata y con exactitud información sobre el registro de la actividad biológica que está siendo monitorizada, transformándola en señales visuales y/o auditivas que al ser percibidas por la persona que las emite al mismo tiempo que se están produciendo le permite llegar a conocer (tener conciencia de) cómo se está desarrollando esa actividad fisiológica y a través de esa información poder llegar a regularla o controlarla. Este procedimiento puede ser visto de forma gráfica en la [figura 1](#) que se incluye a continuación, en la que se representan las distintas fases y elementos que constituyen característicamente el proceso de BF, tomando como ejemplo la detección o el registro de la actividad *electromiográfica* (EMG) del músculo frontal y cómo en las sucesivas fases esa actividad eléctrica extremadamente pequeña es amplificada y sometida electrónicamente al correspondiente procesamiento y conversión de la misma en señales auditivas o visuales que puedan ser perceptibles y comprensibles para un sujeto humano. En la última fase (5) la información debidamente transformada se facilita (*feedback*) al sujeto de forma directa (analógica) o indirecta (digitalizada) guiándole sucesivamente a través de este proceso en el control de la respuesta fisiológica monitorizada, en este caso la posible tensión o actividad excesiva de la respuesta EMG del músculo frontal, responsable de un trastorno clínico de cefalea tensional que, junto con las cefaleas vasculares (migrañas o

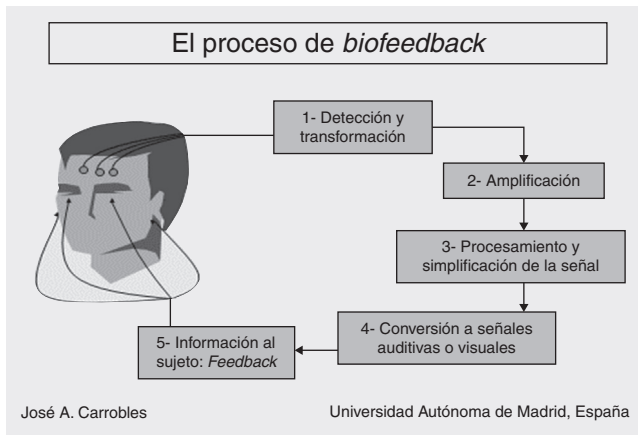


Figura 1. El proceso de la terapia de biofeedback.

Tabla 1 Principales aparatos y respuestas fisiológicas utilizadas en biofeedback (BFB)

Electromiografía (EMG)	Tensión muscular y movimiento motor
Termistor (termómetro electrónico)	Temperatura corporal
Electrodermógrafo (EDG)	Resistencia, conductancia, potencial e impedancia eléctrica de la piel
Electroencefalógrafo (EEG)	Ondas y ritmos cerebrales: delta, theta, alfa, beta, gamma,...
Fotopleletismógrafo (PPG o FPG)	Volumen y flujo sanguíneo
Electrocardiógrafo (ECG)	Tasa y arritmias cardíacas
Pneumógrafo	Tasa respiratoria, resistencia y obstrucción pulmonar
Capnógrafo/capnómetro	Medidor de CO ₂ en flujo respiratorio
Reoencefalógrafo (REG)	Flujo sanguíneo cerebral
Hemoencefalografía (HEG)	Imagen infra-roja funcional del cuero cabelludo cerebral

jaquecas), constituye las dos principales formas de dolores crónicos de cabeza.

Aplicaciones clínicas del biofeedback

El biofeedback ha demostrado sobradamente su utilidad clínica a través de la aplicación terapéutica de la técnica en los distintos campos clínicos aplicados según el tipo de sistema o de respuesta psicofisiológica implicada en los mismos. A modo de resumen, por no disponer de espacio en este lugar para examinar detenidamente los resultados de las investigaciones existentes sobre los mismos, presentamos a continuación en la tabla 1 un cuadro resumen de los distintos equipos técnicos de registros fisiológicos existentes y las principales respuestas fisiológicas que pueden ser registradas o medidas a través de los mismos (Arns, Ridder, Strehl, Bretelet y Coenen, 2009; Budzynski, Budzynski, Evans y Abarbanal, 2005; Coben y Evans, 2011; Kropotov, 2009; Larsen, 2012; Ros et al., 2009; Singer, 2004).

El neurofeedback

El neurofeedback (NF), por su parte, constituye una forma específica o un campo especializado de biofeedback (BF), centrado en el control de la propia actividad electrofisiológica (BF-EEG) del cerebro humano, aunque el procedimiento usado en el mismo no difiere sustancialmente del seguido en los demás campos aplicados del BF.

Un aspecto digno de ser destacado de este campo, sin embargo, es la complejidad, no solo técnica, relacionada con la propia dificultad del registro de la actividad EEG de las distintas áreas y centros

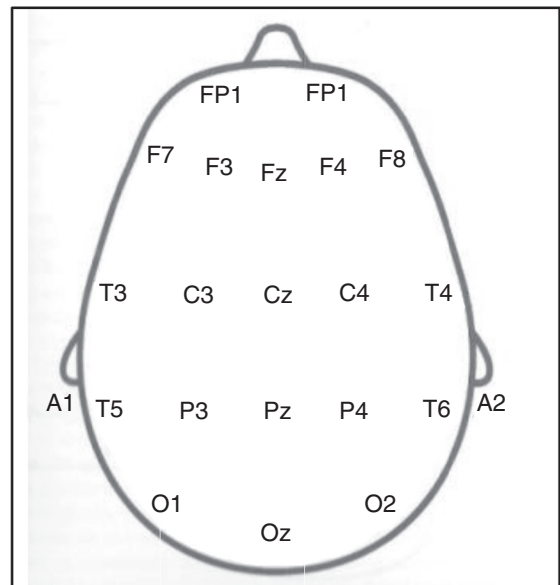
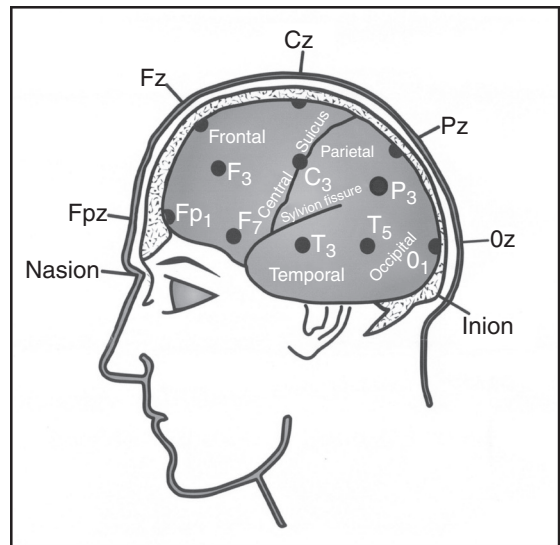


Figura 2. Imagen del cerebro con las principales localizaciones utilizadas en la colocación de los electrodos de registro EEG, según la Norma 10-20.

cerebrales, además de la dificultad de la interpretación del significado de esas señales EEG registradas sobre la corteza cerebral y su relación con determinados estados o trastornos mentales. En este sentido, en la actualidad se dispone de unos mapas de la cartografía EEG cerebral cada vez más complejos, y no solo de los ritmos básicos de la actividad EEG cerebral establecidos de acuerdo con la frecuencia de los mismos, medida en hercios (Hz) o ciclos por segundo: delta (0.5-4 Hz), theta (4-8 Hz), alfa (8-12 Hz), beta (12-30 Hz) y gamma (30-90 Hz). También se cuenta con la existencia de patrones EEG cuantitativos (QEEG), encontrados específicamente en diferentes áreas cerebrales, que permiten identificar determinados patrones anormales de funcionamiento cerebral relacionados con una gran variedad de trastornos neurológicos, mentales y del comportamiento (Hammond, 2005; La Vaque, 2003; Lubar, 1997). En la figura 2 puede verse la imagen de un cerebro en el que está indicada la colocación de los electrodos de registro utilizada en el entrenamiento en neurofeedback de distintos problemas clínicos o neurológicos.

En términos más precisos, el neurofeedback (NF) puede ser definido como una forma de entrenamiento en biofeedback que utiliza el registro de las ondas electroencefalográficas (EEG) cerebrales como

la señal para lograr a través del proceso de *feedback* el control de la propia actividad cerebral. Para ello, se aplican unos sensores en el cráneo del sujeto que está siendo entrenado para registrar la actividad cerebral. Estas ondas EEG cerebrales son convertidas, a través de un programa informático (*interface*) que conecta el cerebro con un ordenador, en la señal que va a ser utilizada como *feedback* (visual, auditiva o táctil) para enseñar al sujeto a controlar la actividad cerebral que está siendo registrada o estudiada. En síntesis, la técnica del *neurofeedback* incluye las siguientes fases o elementos, siguiendo a Collura (2014):

1. La producción por el sujeto de una actividad EEG cerebral.
2. El registro de la actividad EEG producida a través de los instrumentos adecuados.
3. La conversión de las señales EEG en señales digitales informatizadas.
4. El procesamiento informático de las características de las señales EEG.
5. La conversión de las señales digitales procesadas en señales sensoriales: visuales, auditivas o táctiles.
6. La presentación al sujeto de estas señales o información (*feedback*).
7. El aprendizaje por parte del sujeto de la modificación o el control de estas señales y a través del mismo de la modificación del proceso fisiológico monitorizado.

Un aspecto previo importante a tener en cuenta respecto al campo del *neurofeedback* es el relacionado con las señales fisiológicas EEG utilizadas como representación indirecta de la actividad de determinadas áreas cerebrales de la persona que está siendo valorada. A este respecto, cabe mencionar la distinción establecida actualmente entre dos tipos o modos diferentes de utilización de los registros EEG en general y dentro del campo del *neurofeedback* en particular. Estas dos formas de utilización se denominan EEG convencional y EEG cuantitativo (QEEG).

El EEG convencional se refiere a la inspección visual de las ondas cerebrales EEG directas registradas en un electroencefalograma, utilizando determinados montajes para facilitar este análisis, y a través de ellas poder diagnosticar determinados problemas o trastornos cerebrales por parte de los neurólogos profesionales o ser utilizadas como *feedback* para enseñar a una persona a conseguir cambios normalizados en las mismas o a alcanzar determinados estados mentales positivos que faciliten la rehabilitación de sus problemas neurológicos o mentales.

El QEEG (EEG cuantitativo), por el contrario, se refiere a la técnica en la que las señales EEG registradas son analizadas o procesadas mediante un programa de ordenador para convertir o transformar esas EEG en números o cantidades (*metrics*) según sus distintos componentes: intensidad, amplitud, frecuencia, tasa, fase, coherencia, etc. Los datos directos obtenidos y transformados numéricamente son, a su vez, vueltos a convertir a través de determinados programas estadísticos computerizados en lo que se denomina puntuaciones Z [*Z-scores*] estandarizadas, que nos permiten localizar y diagnosticar de forma específica los problemas o trastornos clínicos presentados por un sujeto en base a las señales EEG observadas en determinadas áreas cerebrales, respecto a las esperadas según el programa o la base de datos de puntuaciones z previamente establecido y utilizado como referencia de la actividad estandarizada o normalizada de esa determinada zona cerebral (Budzynski, Budzynski, Evans y Abarbanal, 2009; Thatcher, 1998; Thatcher y Lubar, 2014).

Otro modo de transformación de las señales EEG cada vez más utilizado en la actualidad, y sobre todo en el próximo futuro, es el de convertir las mismas puntuaciones z, mediante determinados programas estadísticos computerizados, en mapas topográficos de redes de conectividad cerebral relacionados con los distintos

Tabla 2

Zonas de registro EEG cerebral y su relación con una gran variedad de síntomas y problemas clínicos

POSICIÓN 10/20 (electrodos de registro)	REGIÓN CEREBRAL	SÍNTOMAS O PROBLEMAS CLÍNICOS TRATADOS
P3, Pz, P4	Lóbulo parietal	Dislexia, discalculia, problemas de integración sensorial, retraso en el desarrollo, déficits en relajación mental y corporal.
Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz	Giro cingulado	Trastornos obsesivo-compulsivos, tics, perfeccionismo, problemas de atención.
C3, Cz, C4	Cortex sensoriomotor	Parálisis, epilepsia, problemas de coordinación motora, trastorno por déficit atencional, hiperactividad, piernas inquietas.
Fp1, Fp2, Fpz, Fz, F3, F7, F4, F8	Lóbulos frontales, polos frontales	Mejora de funciones ejecutivas, déficit de planificación, falta de motivación. Depresión, ansiedad, miedos, conducta agresiva.
T3, T4, T5, T6	Lóbulos temporales	Cólera, ira, dislexia, déficits y pérdida de memoria, epilepsia.
O1, O2, Oz	Lóbulos occipitales	Visión doble, trastorno de procesamiento de visión central, trauma.
F7, T3	Área de Broca	Dislexia, problemas de lenguaje, problemas de escritura.
Unión parietotemporal P3, T5	Área de Wernicke	Dificultades en la comprensión del contenido del lenguaje, problemas de comprensión gramatical.

problemas clínicos o situaciones experienciales que puedan experimentar los sujetos. Uno de estos programas o bases de datos muy utilizados actualmente es el Programa LORETA (*Low-resolution EEG tomographic analysis*) que permite la visualización coloreada en tres dimensiones de la actividad cerebral monitorizada y cuyas imágenes pueden ser utilizadas tanto para el diagnóstico como para el tratamiento de una considerable variedad de problemas clínicos (Thatcher, 1998, 2010; Thatcher y Lubar, 2014).

En la tabla 2 puede verse un resumen de la variedad de posibilidades de registro de la actividad electrofisiológica cerebral en las diferentes localizaciones y regiones o estructuras cerebrales referidas en la figura 2 presentada anteriormente, junto a los distintos síntomas o problemas clínicos que están siendo tratados actualmente por medio del tratamiento con *neurofeedback* con un apreciable éxito terapéutico, pero que lamentablemente no podemos comentar con más extensión en este lugar.

Modelo conceptual sobre el funcionamiento del *neurofeedback*

Siguiendo a Collura (2014) puede afirmarse que el cerebro humano está constituido globalmente por un sistema dinámico complejo hiperconectado a través de un extenso sistema de conexiones y de controles recíprocos entre sus núcleos o partes. A su vez, dentro del cerebro existen pequeños núcleos o grupos con ciertas propiedades dinámicas que determinan su funcionamiento e interacciones con una subunidad o subasamblea especializada dentro del sistema. Estas subasambleas neuronales tienden a operar de forma colectiva, aunque mantienen la capacidad de poder aislarse de las asambleas vecinas.

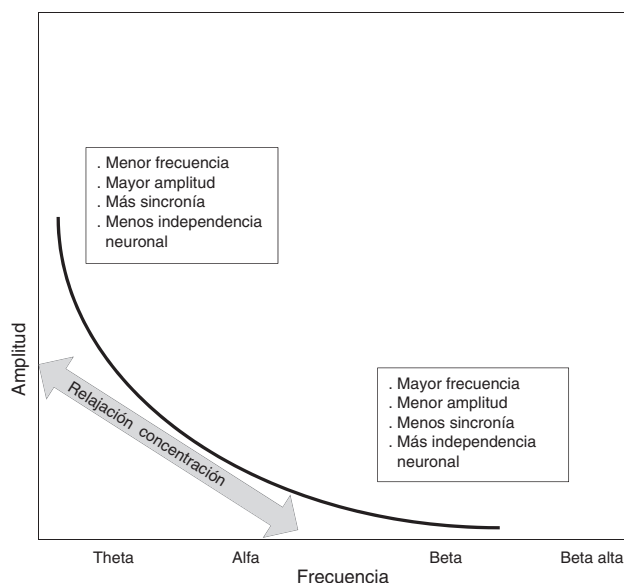


Figura 3. Modelo de la activación cíclica de concentración/desactivación de las distintas partes del cerebro propuesto por Collura (2014).

La corteza cerebral está formada por billones de neuronas organizadas en grupos funcionales interconectados a través de un complejo sistema de vías o tractos que conectan las distintas partes o regiones de la corteza cerebral entre sí y con las estructuras subcorticales (Capilla y Carretié, 2015). Durante el funcionamiento normal del cerebro, estas redes y estructuras neuronales muestran una actividad rítmica con una frecuencia entre 1 y 100 Hz o más y puede ser medida externamente a través del espectro de registro EEG. Estos núcleos o conjuntos neuronales corticales producen constantes ciclos de actividad en los que secuencialmente las neuronas son reclutadas, activadas en tareas de procesamiento y desactivadas. La actividad coordinada de diferentes regiones puede observarse a través de la actividad rítmica EEG específica para las distintas localizaciones cerebrales. De este modo, cuando examinamos la actividad EEG de una determinada localización cerebral podemos identificar la actividad rítmica dominante de la misma, indicativas del estado general de activación o relajación de esa región cerebral (Maestú, Pereda y Del Pozo, 2015).

En base a esta actividad cíclica, podemos establecer un continuo de actividad para cada parte del cerebro entre los extremos de máxima activación (concentración) y relajación (desactivación). En la figura 3, propuesta por Collura (2014), puede verse de forma gráfica la representación de este modelo, en el que en el extremo izquierdo se encuentra el caso de máxima relajación, caracterizado por un patrón de actividad neuronal EEG con una baja frecuencia, una elevada amplitud y una actividad altamente sincronizada pero dependiente. Este estado o condición es la caracterizada por las regiones en las que se registra una actividad EEG theta o alfa lenta. Si nos movemos hacia la derecha en la figura, el registro neuronal EEG observado aumenta su frecuencia, disminuye su amplitud y es menos sincronizado y más independiente. Estas características, como se recordará, son las propias del estado de activación cerebral beta, asociado con un mayor nivel de actividad cerebral. Ninguno de estos estados es mejor o peor que el otro, puesto que lo propio de la actividad de un cerebro normal y saludable es el de cambiar continuamente su nivel de actividad neuronal de un modo flexible entre estos extremos, activando las distintas regiones del cerebro al nivel más apropiado de actividad neuronal en cada caso de acuerdo con las exigencias del medio.

En síntesis, el registro EEG incluye una considerable mezcla de frecuencias (oscilaciones) de onda, aunque suele tender a

predominar un tipo particular de onda o estado que denominamos delta, theta, alfa, beta o gamma. Estas ondas o frecuencias pueden ser sometidas a determinadas operaciones de filtrado o de procesamiento para poder aislar su principal componente de banda o de frecuencia respecto de los demás componentes o señales EEG que también pueden estar presentes de forma simultánea.

Las frecuencias o bandas EEG tienen normalmente una forma sinusoidal y por ello pueden ser identificadas a través de una simple inspección visual en la que se pueden observar sus distintos componentes o propiedades temporales y espaciales y su relación con determinados estados fisiológicos. Los principales rangos o distribuciones de los componentes de banda EEG observados son los siguientes, de acuerdo con los dos principales parámetros utilizados de frecuencia y amplitud de los registros EEG tipificados (Demos, 2005).

Nombre	Frecuencia (Hz)
Delta	0.5-3.5
Theta	4-7
Alfa	8-12
Beta baja	12-15 (RSM)
Beta	15-20
Beta alta	20-35
Gamma	35-40

Cada uno de estos ritmos o componentes de banda están asociados a unas determinadas características fisiológicas (y psicológicas) que las definen con una mayor propiedad que sus características temporales (frecuencia u oscilación) y espaciales (amplitud). Así, por ejemplo, el ritmo *delta*, el más lento de todos (0.5-3.5 Hz), no tiene una clara forma rítmica sinusoidal, sino que es más bien irregular en su apariencia visual y la aparición de una pequeña cantidad de actividad delta cortical es normal en la mayoría de las personas. Sin embargo, la existencia de una actividad delta excesiva, tanto focal como global, suele ser indicativa de la existencia de lesiones, daño o disfunciones en las áreas afectadas. En estos casos, el entrenamiento en *neurofeedback-EEG* suele estar centrado en la reducción del exceso del estado delta para la mejoría clínica de los pacientes.

El ritmo *theta* (4-7 Hz) está mediado por mecanismos subcorticales y también suele tener una apariencia visual irregular o no rítmica (sinusoidal). La manifestación de una cierta cantidad de actividad theta es normal, especialmente en las áreas frontales, asociadas con la volición y el movimiento. Sin embargo, el exceso de actividad theta está asociado con distintas formas de desregulación cerebral, como los problemas de atención. El entrenamiento en *neurofeedback* está centrado en estos casos en la reducción de los niveles de actividad theta en las regiones observadas.

Las ondas *alfa* se encuentran entre las frecuencias de 8-12 Hz y la principal característica de este ritmo cerebral es su asociación con el sistema visual, registrado principalmente en la zona o área occipital, que se incrementa claramente cuando cerramos los ojos. El ritmo alfa tiene una forma visual sinusoidal y simétrica, con subidas y bajadas rítmicas de la onda. El origen de este ritmo está asociado con la reverberación tálamo-cortical y parecen estar implicadas las vías visuales y la corteza visual primaria (O1, O2). A nivel experiencial, la persona en este estado se encuentra relajada, pero consciente.

Ritmo *beta bajo*. Este ritmo es uno de los ritmos cerebrales más interesantes, en gran medida por la inclusión dentro del mismo del ritmo *sensoriomotor* (RSM: 12-15 Hz) registrado en la corteza cerebral sensoriomotora, que se solapa en gran medida con las ondas alfa, debidas a la reverberación tálamo-cortical. El entrenamiento de *neurofeedback* para el control de este ritmo se ha mostrado de utilidad clínica en pacientes con trastornos epilépticos (Sterman, 2010; Sterman y Egner, 2006), en niños con trastornos de atención

Tabla 3
Principales aplicaciones clínicas y nivel de eficacia del tratamiento con bio/neurofeedback

NIVEL 5	NIVEL 4	NIVEL 3	NIVEL 2	NIVEL 1
- Incontinencia urinaria en mujeres	- Ansiedad - Trastorno por déficit atencional e hiperactividad (TDAH) - Dolor crónico - Epilepsia - Estreñimiento en adultos - Dolor de cabeza en adultos - Hipertensión - Problemas de movimiento - Enfermedad de Raynaud - Trastorno temporomandibular	- Alcoholismo - Drogadicción - Artritis - Diabetes mellitus - Trastornos fecales en niños - Incontinencia fecal en adultos - Insomnio - Dolor de cabeza (en niños) - Lesiones traumáticas cerebrales - Incontinencia urinaria en hombres - Vestivulitis vulvar	- Asma - Autismo - Parálisis de Bell - Parálisis cerebral - Enfermedad pulmonar obstructiva (EPOC) - Enfermedad arterial coronaria - Fibrosis cística - Trastornos depresivos - Disfunción eréctil - Fibromialgia y Síndrome de Fatiga Crónica - Distonía de la mano - Síndrome del intestino irritable - Trastorno de Estrés Postraumático - Lesiones musculares por tensión crónica - Problemas respiratorios (respiración asistida) - Infartos (accidentes cardiovasculares) - Tinnitus - Incontinencia urinaria en niños	- Trastornos alimentarios - Problemas inmunológicos - Lesiones de columna vertebral Síncope (neurocardiogénico)

Nota. En negrita, aplicaciones de *neurofeedback*. Los niveles que encabezan las columnas se refieren al nivel de eficacia de las distintas aplicaciones, que van desde el nivel 1 (sin base empírica) al nivel 5 (gran eficacia terapéutica).

e hiperactividad (TDAH; Arns et al., 2009) y en problemas de insomnio (Basar, 1999).

Ondas beta. Las ondas beta (15-20 Hz) están claramente relacionadas con un estado de activación cerebral y mental asociado a una actividad cognitiva de alerta y de conciencia de uno mismo y del entorno. El entrenamiento de *neurofeedback* en beta es uno de los recursos más utilizados como forma de incrementar la activación de áreas específicas cerebrales con déficits de actividad y los problemas clínicos sobrevenidos: cognitivos y de comportamiento.

Beta alta (20-35 Hz). La actividad beta alta puede registrarse en zonas próximas a las regiones frontales y el estado beta alto se encuentra asociado, igualmente, con activación cerebral y con una mejor comunicación entre centros corticales (Buzsaky, 2006), y por ello con las mejoras del rendimiento en diversas tareas cognitivas. En cuanto a sus posibles aplicaciones prácticas y clínicas, la actividad beta, en general, se encuentra asociada a estados incrementados de conciencia y con tareas mentales deliberadas superiores, aunque también se han observado asociaciones con estados de preocupación excesiva, rumiaciones y síntomas obsesivos (Demos, 2005).

Ritmo gamma (35-45 Hz). Es el de más elevada frecuencia y de una extremadamente baja amplitud, razón por la cual ha sido detectado mucho más recientemente e incorporado a los demás ritmos cerebrales convencionales. La apariencia de este ritmo es la de un patrón desincronizado (Buzsaky, 2006) y su detección es difícil si no se utilizan filtros de banda muy ancha. El estado gamma se encuentra asociado con la actividad y la integración cognitiva, el procesamiento de la información de nivel elevado y la vinculación e integración de nueva información. Entre sus principales aplicaciones prácticas se encuentran las relacionadas con los problemas de percepción y la mejora de la eficacia mental y del lenguaje asociados a distintos problemas de aprendizaje. Una curiosa asociación observada por algunos autores sobre la actividad gamma es la encontrada con los estados de meditación profunda en sujetos practicantes experimentados en estas técnicas

(Basar, 1999; Buzsaky, 2006; Collura, Guan, Tarrant, Bailey y Starr, 2010; Thatcher, 2009).

Utilidad y eficacia del bio/neurofeedback

Aunque las técnicas de *biofeedback* han demostrado extensamente su eficacia a lo largo de sus más de cincuenta años de existencia y la enorme variedad de problemas y trastornos clínicos a los que terapéuticamente se ha aplicado, aún persisten muchas cuestiones por responder y clarificar respecto a la eficacia y la eficiencia de estas técnicas en sí mismas y comparativamente con las demás técnicas terapéuticas aplicadas a problemas clínicos similares, con las que con frecuencia se combinan para asegurar el mejor beneficio de los pacientes.

A modo de resumen, en la *tabla 3* presentamos una síntesis de las principales aplicaciones del campo del *biofeedback*, incluyendo el *neurofeedback* (resaltados estos estudios en negrilla) y el nivel de eficacia de las mismas de acuerdo con el trabajo de revisión periódica del campo realizado por Yucha y Montgomery (2008), una de las principales fuentes de información disponibles al respecto, patrocinada por la asociación internacional *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, de acuerdo con los cinco niveles de eficacia científicamente establecidos, que van del nivel 1, sin base empírica y basado solo en trabajos anecdóticos y estudios de caso no suficientemente controlados; el nivel 2, de tratamiento posiblemente eficaz, donde se cuenta con al menos un estudio con suficiente poder estadístico y con resultados beneficiosos evaluados, pero que carece de asignación al azar a una condición de control interna para el estudio, y el nivel 3, considerado como un tratamiento probablemente eficaz, en el que existen múltiples estudios observacionales, estudios clínicos, estudios controlados de lista de espera y estudios replicables inter e intrasujetos que demuestran la eficacia.

El nivel 4 es, por su parte, el nivel ideal para cuya inclusión se requiere el cumplimiento de los 6 criterios siguientes: 1) que, en comparación con un grupo de control sin tratamiento,

un grupo de tratamiento alternativo o un grupo de control placebo, utilizando una asignación al azar, el tratamiento investigado sea superior de modo estadísticamente significativo a la condición de control o equivalente a un tratamiento de eficacia probada en un estudio con poder suficiente para poder detectar diferencias moderadas; 2) que los estudios se hayan realizado en una población de pacientes en tratamiento por un problema específico y para quienes los criterios de inclusión se hayan establecido de un modo fiable; 3) que en el estudio se hayan utilizado medidas válidas y claramente especificadas en relación con el problema tratado para que permitan evaluar los resultados; 4) que los datos hayan sido sometidos a un apropiado análisis estadístico; 5) que las variables de diagnóstico y tratamiento y los procedimientos estén claramente definidos y de un modo que permita la replicación del estudio por investigadores independientes, y 6) que la superioridad o la equivalencia del tratamiento investigado se haya demostrado en al menos dos estudios de investigación independientes.

Por último, el nivel 5 de eficacia terapéutica constituye un tratamiento altísimamente eficaz y específico, en el que se incluyen como requisitos, además de cumplir todos los criterios del nivel 4, que el tratamiento investigado haya demostrado ser estadísticamente superior a un tratamiento simulado o de un placebo creíble, a un tratamiento farmacológico o a un tratamiento alternativo bien intencionado (*bona fide*) en al menos dos investigaciones independientes.

Conflicto de intereses

El autor de este artículo declara que no tiene ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Arns, M., de Ridder, S., Strehl, U., Bretelet, M. y Coenen, A. (2009). Efficacy of neurofeedback treatment in ADHD: the effects on inattention, impulsivity and hyperactivity: a meta-analysis. *Clinical EEG and Neuroscience*, 40, 180–189.
- Basar, E. (1999). *Brain function and oscillations: II. Integrative brain function. Neurophysiology and Cognitive Processes*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Budzynski, T., Budzynski, H. K., Evans, J. R. y Abarbanal, A. (2005). *Introduction to Quantitative EEG and Neurofeedback*. Amsterdam: Elsevier.
- Budzynski, T., Budzynski, H. K., Evans, J. R., y Abarbanal, A. (Eds.). (2009). *Quantitative EEG and Neurofeedback*. San Diego, CA: Academic Press.
- Buzsaky, G. (2006). *Rhythms of the brain*. New York: Oxford Press.
- Capilla, A. y Carretié, L. (2015). Bases neurofisiológicas de las oscilaciones cerebrales. En F. Maestú, E. Pereda, y F. del Pozo (Eds.), *Conectividad Funcional y Anatómica en el Cerebro Humano* (2nd ed., pp. 29–37). Barcelona: Elsevier.
- Carrolles, J. A. (2016). *Biofeedback. Metodología y aplicaciones clínicas*. Conferencia impartida en el Congreso internacional BFE European conference on neurotherapies.
- Carrolles, J. A. y Godoy, J. (1987). *Biofeedback. Principios y aplicaciones*. Barcelona: Ediciones Martínez Roca.
- Coben, R. y Evans, J. R. (2011). *Neurofeedback and Neuromodulation Techniques and Applications*. Amsterdam: Elsevier.
- Collura, T. F. (2014). *Technical Foundations of Neurofeedback*. New York: Routledge.
- Collura, T. F., Guan, J., Tarrant, J., Bailey, J. y Starr, F. (2010). EEG biofeedback case studies using live z-scores training (LST) and a normative database. *Journal of Neurotherapy*, 14(2), 22–46.
- Demos, J. N. (2005). *Getting started with Neurofeedback*. New York: Norton and Company.
- Kropotov, J. (2009). *Quantitative EEG, Event-Related Potentials and Neurotherapy*. Amsterdam: Elsevier.
- Hammond, D. C. (2005). Neurofeedback treatment of depression and anxiety. *Journal of Adult Development*, 12, 131–137.
- Larsen, S. (2012). *The Neurofeedback Solution*. Rochester, VT: Healing Arts Press.
- La Vaque, T. J. (2003). Neurofeedback, neurotherapy, and QEEG. En D. Moss, A. McGrady, T. Davies y I. Wickramasekera (Eds.), *Handbook of Mind Body Medicine for Primary Care* (pp. 123–135). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Lubar, J. F. (1997). Neocortical dynamics: Implications for understanding the role of Neurofeedback and related techniques for the enhancement of attention. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 22(2), 111–126.
- Maestú, F., Pereda, E., y Del Pozo, F. (Eds.). (2015). *Conectividad Funcional y Anatómica en el Cerebro Humano*. Barcelona: Elsevier.
- Ros, T., Moseley, M. J., Bloom, P. A., Benjamin, L., Parkinson, L. A. y Gruzelier, J. H. (2009). Optimizing microsurgical skills with EEG neurofeedback. *BMC Neuroscience*, 10, 87.
- Schwartz, M., y Andrasik, F. (Eds.). (2003). *Biofeedback: A Practitioner's Guide*. New York: Guilford.
- Shaffer, F. y Moss, D. (2006). Biofeedback. En C. S. Yuan, E. J. Bieber y B. A. Bauer (Eds.), *Textbook of Complementary and Alternative Medicine* (2nd ed., pp. 291–312). Abingdon, UK: Informa Healthcare.
- Singer, K. (2004). The effect of neurofeedback on performance anxiety in dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 8(3), 78–81.
- Sterman, M. B. (2010). Biofeedback in the treatment of epilepsy. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 77(Suppl. 3), S60–S67. Review.
- Sterman, M. B. y Egner, T. (2006). Foundation and practice of neurofeedback for the treatment of epilepsy. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 31(1), 21–35. Review.
- Thatcher, R. W. (1998). EEG normative databases and EEG biofeedback. *Journal of Neurotherapy*, 2(4), 8–39.
- Thatcher, R. W. (2009). EEG evaluation of traumatic brain injury and EEG biofeedback treatment. En T. Budzynski, H. K. Budzynski, J. R. Evans y A. Abarbanal (Eds.), *Quantitative EEG and Neurofeedback*. San Diego, CA: Academic Press.
- Thatcher, R. W. (2010). LORETA Z score biofeedback. *Neuroconnections*, 9–13.
- Thatcher, R. W. y Lubar, J. F. (Eds.). (2014). *Z score neurofeedback. Clinical applications*. London: Elsevier.
- Yucha, C. y Montgomery, D. (2008). *Evidence-Based Practice in Biofeedback and Neurofeedback*. Wheat Ridge, CO: Association for Applied Psychophysiology & Biofeedback.