

9

ENTRENAMIENTO CEREBRAL CON NEUROFEEDBACK EN AUTISMO Y DÉFICIT DE ATENCIÓN

Sandra Milena Camelo Roa^{*1}, Juan Ricardo
Díaz², Bertha Lucía Avendaño-Prieto¹.

¹ Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia;

² Training for Life, Florida, Estados Unidos.

Introducción

En los últimos años, el uso de la neuroretroalimentación o, en términos anglosajones, *neurofeedback* electroencefalográfico basado en el registro y en el análisis automático de la actividad eléctrica del cerebro, ha incrementado considerablemente. En particular, el entrenamiento cerebral interviene las ondas provenientes del Sistema Nervioso Central y permite la lectura electroencefalográfica de funciones cognitivas superiores. Según Pedrero-Pérez (2011), los parámetros indican procesos inconscientes que escapan al control racional, donde uno de los objetivos del entrenamiento es lograr que el individuo aprenda a ejercer control sobre el *feedback* que recibe de la información registrada, lo que permite optimizar su funcionamiento cerebral.

En el presente estudio se propuso evaluar la aplicabilidad del *neurofeedback* con protocolos de entrenamiento cerebral tradicionalmente utilizados, con el objetivo de ampliar su validez externa. Específicamente, se trabajó con 50 pacientes, 26 de ellos con diagnóstico de Déficit de Atención (ADD), 16 con diagnóstico de Déficit de Atención con Hiperactividad (ADHD) y ocho con trastorno autista; en general, con edades que oscilaron entre los 5 y los 38 años ($M = 12.65$; $DE = 7.73$) y con un número de sesiones que osciló entre 10 y 75 ($M = 27$; $DE = 14$). Los resultados finales expresan que el 4.1 % de los pacientes quedaron clasificados en relación a la evaluación del tratamiento en A+ (sobresaliente), el 57.1 % en A (excelente), el 24.5 % en B (bueno) y el 14.3 % en C (promedio); hallazgos que corroboran la efectividad del entrenamiento cerebral con neurofeedback en las patologías de estudio.

*smcamelo@ucatolica.edu.co

Antes de presentar el tema de la retroalimentación biológica con encefalografía se consideró pertinente revisar el origen de las diferentes técnicas que lo componen. Así, por una parte se encuentran los estudios, investigaciones y descubrimientos de Berger en los años veinte sobre la presencia de ondas eléctricas en la corteza del cerebro, en donde, al colocar una placa metálica en la parte posterior de la cabeza, se logró registrar y grabar la presencia de ondas eléctricas –medidas en microvoltios o millonésimas de voltio–; este descubrimiento reveló que el sistema nervioso producía electricidad y permitió reconocer las consecuencias fisiológicas en el funcionamiento básico del cerebro y, por ende, del sistema nervioso (Tudor, Tudor & Tudor, 2005). Con respecto a esto, los avances tecnológicos, como el Photon Emission Computed Tomography (SPECT) o el Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI), pueden dar evidencia de las interacciones eléctricas entre las neuronas motoras corticales, capaces de producir la intercomunicación entre ellas y crear nuevas rutas neuronales o sinapsis (Kim & Whalen, 2009).

Por otra parte, la creación de los primeros equipos rudimentarios de los principios de la biorretroalimentación, o biofeedback, a comienzos de los años cuarenta, y luego, a mediados de los años sesenta, cuando se comienza el uso de la palabra biofeedback (en inglés), en donde se ofrece la oportunidad de controlar y cambiar actividades autónomas del cuerpo (Schwartz & Andrasik, 2016). Para ese entonces ya se entendía que dichos equipos permitían leer actividades fisiológicas en tiempo real, suministrar datos a manera de respuesta auditiva al sujeto en entrenamiento, y desarrollar, de esta forma, la posibilidad de variar los ritmos o frecuencias de los parámetros presentados –los cuales se encontraban hasta ese momento fuera del dominio del manejo consciente del sujeto por corresponder a la parte autónoma del organismo, tal como sucede con la tensión arterial, el ritmo cardíaco o la tensión muscular–. Además, las personas sometidas a este tipo de entrenamiento desarrollaron la capacidad de alterar a su beneficio las variables antes mencionadas, lo que trae como consecuencia directa una notoria mejoría en sus síntomas principales y el desarrollo de un mayor estado de bienestar (Frank, Khorshid, Kiffer, Moravec & Mckee, 2010).

Asimismo, es importante tomar en consideración toda la información y teoría contenida dentro de la psicología conductual propuesta por Skinner (1938), autor que propuso el condicionamiento operante como un proceso de aprendizaje y técnica eficaz para la implementación de nuevas conductas o comportamientos, ya que, bajo esta premisa, debe existir el objeto identificado como organismo en actividad, quien recibe una señal a manera de reforzamiento –un estímulo o situación reforzadora– que hace que el organismo en acción repita y refuerce su actividad primaria.

Posteriormente, la unión de la tecnología de la electroencefalografía con la retroalimentación biológica dio como resultado el primer equipo de neurofeedback que se tiene registrado en la historia (Schwartz & Andrasik, 2016); y lo que propone esta

técnica no es más que la lectura a tiempo real de las ondas cerebrales, por áreas, que le brinda una respuesta auditiva a su comportamiento. De esta forma, el refuerzo o inhibición de su actividad por frecuencia de onda funciona a manera de condicionamiento operante, y trae como resultado la posibilidad de manipular la actividad cerebral con el fin de incrementar su equilibrio y gestionar su óptimo funcionamiento (Schwartz & Andrasik, 2016).

De este tipo de entrenamiento se desprende una hipótesis manejada en el gremio profesional que pretende explicar el hecho de que, al regular de esta manera el disparo en potencia y frecuencia de las neuronas corticales, es posible la modificación de su funcionamiento básico, afectar su estructura eléctrica y química, al igual que el flujo sanguíneo y la oxigenación, lo que daría como resultado la posibilidad de crear nuevas sinapsis que eran inexistentes en el momento del inicio del entrenamiento (Pascual-Leone, Amedi, Fregni & Merabet, 2005). Esto traería como consecuencia inmediata la formación de nuevos aprendizajes a nivel cortical, y, a su vez, le permitiría al sujeto desempeñar actividades hasta ahora ausentes o imposibles de ejecutar, como, por ejemplo, el desarrollo del habla (Pineda, et al, 2008).

Cabe destacar que una diferencia notoria entre el Biofeedback tradicional y el neurofeedback es que para el primero el sujeto puede hacer uso de su conciencia a voluntad para ejercer protagonismo en el proceso de aprendizaje operante, mientras que con el segundo queda prácticamente excluida la parte consciente del sujeto, ya que la respuesta es primordialmente neurológica en respuesta al condicionamiento operante de la producción eléctrica cortical, así como a la respuesta auditiva, visual o kinestésica (por vibración) dada la estimulación (equipo) en tiempo real a esa actividad eléctrica particular (Schwartz & Andrasik, 2016). Esta interacción hace posible que el cerebro desarrolle la capacidad de autorregularse según la invitación y propuesta del equipo/programa que le guía a cambiar su patrón de activación actual a uno más funcional y equilibrado (Vernon, 2005).

Al respecto, los estudios realizados en los años sesenta por Sterman, Howe y Macdonald (1970) –de la universidad UCLA, en asociación con la NASA– dejan demostrado por primera vez en la historia que el reforzamiento de las ondas Low Beta (rango entre 12 a 15 Hz en adultos) conocidas como SMR (por sus siglas en inglés, Sensory Motor Rhythm; o Ritmo Sensorio Motor) crean una plasticidad cerebral que trae como consecuencia poder soportar estados de alta demanda cerebral, tal como lo fueron las pruebas en el proyecto Apolo en la NASA, el cual buscaba llevar al hombre al espacio.

Asimismo, tal como lo narra Jim Robbins (2000), autor del libro *Una Sinfonía en el cerebro*, fue casi una jugada del azar lo que trajo el descubrimiento de este incremento de la plasticidad cerebral; según los estudios realizados por Sterman con

gatos previamente entrenados con neurofeedback, estos animales fueron los únicos capaces de resistir la alta demanda de los combustibles utilizados en el proyecto Apolo de la NASA; hallazgo que generó la hipótesis luego demostrada de que al someter a un sujeto a la estimulación de mayor producción de ondas SMR en el cordón sensorio motor se puede crear mayor plasticidad cerebral y, como consecuencia, un incremento sustancial y notorio en la capacidad de funcionamiento para poder soportar estados extremos de operación (Serman, MacDonald & Stone, 1974).

De igual manera, y coincidencialmente de forma paralela, Kamiya (Ancoli & Kamiya, 1978) de la Universidad de Chicago, en Estados Unidos, estimulaba y promulgaba el reforzamiento de ondas alfa en la parte posterior del cerebro en busca de un incremento sustancial en el desempeño de atletas. Este autor propuso la tesis de incrementar la producción de ondas alfa en estado de reposo y visualizar las actividades deportivas como una posible ayuda al mejoramiento del desempeño deportivo, en lo que hoy día se conoce como estar en “la zona” al momento de ejecutar actividades deportivas específicas. Después de muchos años de estudios e investigación, quedó demostrada la efectividad de esta hipótesis, y hoy en día este tipo de entrenamiento para deportistas –conocido con el nombre de entrenamiento alfa-theta– se utiliza en diversas partes del mundo (Thompson, Steffert, Redding & Gruzelier, 2008). En particular, en este tipo de entrenamiento se invita al cerebro a aprender a producir más energía en los rangos de las ondas Alfa y Theta en estado de descanso, regularmente con el escenario de ojos cerrados, donde se busca la creación de un estado de desempeño óptimo, sobre todo a la hora de ejecutar actividades específicas; efecto que se puede crear junto al uso de técnicas de visualización y autohipnosis (Peniston & Kulkosky, 1991).

Al respecto, los estudios realizados por Lubar (Lubar & Shouse, 1976; Lubar & Lubar, 1984; Lubar, 1991; Lubar, Mann, Gross & Shively, 1992; Lubar, Swartwood, Swartwood & O'Donnell, 1995; Rasey, Lubar, McIntyre, Zoffuto & Abbot, 1996; Lubar, 1997; Lubar & Lubar, 2001; Monastra, Lynn, Linden, Lubar, Gruzelier & LaVaque, 2005) en la universidad de Tennessee dejan en clara evidencia la alta efectividad de esta técnica en la población infantil con déficit de atención con y sin hiperactividad. Al igual que los estudios presentados por Othmer (Kaiser & Othmer, 2000; Othmer, Othmer & Marks, 1991; Scott, Kaise, Othmer & Sideroff, 2005; Legarda, McMahon, Othmer & Othmer, 2011; Othmer & Kaiser, 2000), que demuestran su alta eficacia en el tratamiento de dicho trastorno.

Asimismo, estudios como los presentados por Coben (Coben & Padolsky, 2007; Coben, Linden & Myers, 2010; Coben & Myers, 2010; Coben, 2007; Coben & Hudspeth, 2006; Coben & Myers, 2008; Coben & Evans, 2010) en Nueva York evidencian la

efectividad del neurofeedback en la población con el espectro autista, ya que asegura que por lo menos un cuarenta por ciento de los síntomas principales de la condición mejoran después de aproximadamente cuarenta sesiones.

Estudios más recientes, como el presentado en Alemania, en la 63ª Reunión Anual de la Academia Americana de Psiquiatría Infantil y Adolescentes (AACAP, por sus siglas en inglés) por Keeser y Simkin (2016) revelan la indiscutible eficacia de dicha técnica para el tratamiento y mejoramiento de este tipo de trastornos. Al respecto, cabe señalar que lo que había detenido hasta este momento el avance del uso científico y basado en evidencias de esta técnica era precisamente la carencia de este tipo de hallazgos con poblaciones de control, tema desatendido en los estudios preliminares.

En particular, en el caso del trastorno del déficit de la atención, los estudios realizados por los equipos de investigadores encabezados por Lubar y por Othmer, anteriormente citados, evidencian la presencia de estados alterados, o no comunes, en los patrones de activación cerebral, ya que, en su gran mayoría, reconocen varias áreas y activaciones típicas de dicho trastorno; dentro de las que cabe destacar el llamado patrón de activación cerebral de “discriminación”, el cual presenta un exceso de potencia en los rangos de ondas lentas –como Delta y Theta– sobre todo en la zona prefrontal y frontal del sujeto en estudio. Al respecto, se dice que estos cerebros no saben o no han aprendido aún a bloquear el exceso de este rango de ondas en esas zonas, lo que trae como consecuencia la incapacidad del buen desarrollo de funciones básicas características de dichas zonas, tales como la atención, la concentración y la memoria a corto plazo.

Simultáneamente, en otros estudios se ha encontrado un exceso de potencia en el rango de frecuencias de ondas rápidas –como Beta y Beta Alta– que dejan a las ondas medias –como Alfa y Beta Baja– con muy poca energía para trabajar, lo que desarrolla en el sujeto una incapacidad para poder entrar y salir de sus estados de conciencia interno y externo, en donde solo sabe estar dentro de sí mismo, con un estado de conciencia solo interno, o lo contrario, con su estado de conciencia orientado solo hacia lo externo, en donde corta todo tipo de filtro de revisión consciente y pierde la destreza de preguntarse si lo que está haciendo en ese momento es correcto o prudente. De allí emerge el entendimiento de la presencia de la impulsividad e hiperactividad en estos sujetos (Egner & Gruzelier, 2004).

Por otra parte, es importante resaltar que tan solo hasta el año 2014 la Asociación Americana de Pediatra en los Estados Unidos de América reconoció y aprobó el uso de neurofeedback en su nivel I como posible solución al tratamiento del trastorno en la atención con o sin hiperactividad (American Academy of Pediatrics, 2011).

Ahora bien, para el caso del espectro del autismo, los patrones de activación cerebral más comunes que se han encontrado a través de los diferentes estudios antes mencionados (Pineda et al., 2008) son el exceso de potencia en los rangos de frecuencia de ondas Delta y Theta, generalizados en prácticamente toda la corteza cerebral, haciendo que el cerebro esté funcionando en su mayoría dentro de los rangos de ondas lentas, lo que trae como consecuencia un estado de conciencia predominantemente interno. De esta manera, el sujeto va a tener predilección o prioridad por prestar atención en su mundo interno, y, en muchos casos, puede hasta bloquear sensorialmente las entradas de su mundo externo, lo que le incapacitaría para prestar atención a lo que le rodea.

Asimismo, otro patrón importante de estudio dentro de esta categoría es el de la “hipercoherencia”, en la cual se explica que el cerebro se engancha o acopla en funciones específicas, que, en teoría, deberían ser ejecutadas de manera unilateral y específica. Así, cuando se disparan de manera paralela y simultánea en ambos hemisferios, en el rango de las ondas rápidas (Beta y Beta Alta) estas crean o generan estados de repetición de conductas, como lo son las compulsiones, la incapacidad de habla y los bloqueos sensoriales. A este tipo de activación cerebral se le conoce como “Acoplamiento” (Díaz, 2011).

Por otra parte, la teoría plantea que el cerebro puede y debe ser coherente en su funcionamiento en los rangos de frecuencias bajas y media (desde Delta hasta Alfa), pero para los rangos de frecuencias más rápidas (Low Beta, Beta y Hi Beta), es ideal que el cerebro sepa activarse por área de ejecución, ya que este rango de frecuencia es el que permite hacer funcionar las destrezas específicas de cada área cerebral. Un ejemplo clásico para explicar el funcionamiento del acoplamiento en el cerebro es el de la activación de un exceso de coherencia en el rango de las ondas Beta en la zona frontotemporal del lado izquierdo –en el área de Broca, reconocida como unas de las áreas fundamentales para el habla– y su posición espejo en el hemisferio derecho del cerebro. Si dichas áreas se comportan de manera similar en ese rango de frecuencias, generan lo que se conoce como tartamudeo, o incapacidad de expresión vocal fluida (Díaz, 2011). Y, asimismo, si algo similar ocurriese en la zona frontal (puntos F3 y F4), se puede esperar la presencia de incapacidades en el control emocional, en donde al sujeto se le dificulta regular la ira y el miedo (Díaz, 2011).

Todos estos descubrimientos de patrones cerebrales activados en ambos trastornos ofrecen una nueva ventana para entender y comprender mejor las enfermedades y condiciones médicas, y, con esto, brindar servicios y terapias que ayuden y faciliten el diario vivir y la integración al mundo que les rodea de quienes las padecen.

Por último, en la literatura empírica se encuentra un determinado número de estudios (Barabasz & Barabasz, 1995; Beauregard & Levesque, 2006; Levesque, Beauregard & Mensour, 2006; Thompson, Thompson & Reid, 2010; Gevensleben et al., 2009) que han aplicado el neurofeedback en el tratamiento de diferentes psicopatologías, y sus resultados apuntan a una considerable utilidad de esta técnica. Es por esto que en el presente estudio se propuso evaluar la aplicabilidad del neurofeedback en 50 pacientes con previo diagnóstico de déficit de atención con y sin hiperactividad, así como el diagnóstico por trastorno autista.

Método

Tipo de estudio

En el presente estudio se utilizó un diseño intrasujeto, preexperimental, con manipulación de una VI de tratamiento administrada a un grupo con los mismos participantes (Ato, López & Benavente, 2013).

Participantes

La muestra estuvo conformada por 50 pacientes provenientes del Centro de Entrenamiento Cerebral Training For Life de La Florida, Estados Unidos, con edades entre los 5 y 38 años, quienes se encontraban en el grupo de pacientes para entrenamiento cerebral con *neurofeedback*. Específicamente, 26 de ellos tenían diagnóstico de Déficit de Atención (ADD), otros 16 presentaban diagnóstico de Déficit de Atención con Hiperactividad (ADHD) y los ocho restantes presentaron trastorno autista. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: (a) presentar previo diagnóstico clínico para cualquiera de las tres patologías contempladas en el estudio, (b) no recibir ningún otro tipo de tratamiento clínico, (c) tener una edad entre los 5 y los 40 años, (d) ausencia de enfermedades orgánicas que generen déficit cognoscitivo o psicopatologías graves, (e) ausencia de incapacidad física para realizar las tareas requeridas, y (f) ausencia de deficiencias auditivas o visuales no corregidas que puedan afectar la realización de las diferentes pruebas.

Instrumentos

Equipo Neurobit Optima para biorretroalimentación electroencefalográfica (EEG).

Este equipo cuenta con cuatro canales universales de bajo ruido que permiten medir señales de tensión, conductancia, resistencia efectiva y temperatura; también posee alta

resistencia a la interferencia eléctrica, aislamiento galvánico total del cuerpo de la persona examinada, opción de apantallamiento activo de los cables de medición para reducir artefactos móviles, tiene cooperación con múltiples aplicaciones informáticas que permiten el procesamiento y presentación de señales flexibles (también en tiempo real), y es compatible con diferentes *software* para *biofeedback* (Neurobit Systems, 2018).

Software Bioexplorer.

Consiste en un *software* para el procesamiento y análisis de señales fisiológicas, así como para la presentación audiovisual de la retroacción. En particular, facilita una proyección visual de la red de procesamiento de datos con ayuda de bloques universales, e incluye la posibilidad de definir cualquier tipo de protocolo de *biofeedback*; además, es compatible con ordenadores dotados de sistemas operativos Microsoft Windows (BioPLAY Bio-interactive FLASH games, 2010).

Protocolos de entrenamiento.

Se seleccionaron protocolos de entrenamiento para: (a) regiones prefrontales, destinados a incrementar la concentración, organización y control de impulsos, así como la disminución de la reactividad emocional; (b) zonas frontales, con el objetivo de potenciar atención espacial y coordinación de la motricidad gruesa así como articulación, prosodia, canto e inicio del habla; (c) el área central, para el tono emocional y el déficit motriz y somato-sensorial tanto al lado derecho como izquierdo del cuerpo y (d) la zona temporal, para el reconocimiento facial y de patrones, así como la conciencia social y compostura (véase Tabla 35).

Tabla 35. Protocolos de entrenamiento

| Participante | Canales | Frecuencias (Hz) | Tiempo (minutos) | Sesiones | Función cerebral | Diseño utilizado |
|--------------|---------|------------------|------------------|----------|--------------------------------|------------------------|
| 1 | T3/A1 | 19-38 | 20 | 2 | Regulación emocional y escucha | 1C oneinhibit |
| 2 | T4/A2 | 19-38 | 20 | 2 | Regulación emocional y escucha | 1C oneinhibit |
| 3 | T3-T4 | Arousal | 30 | 4 | Regulación emocional y escucha | 1C twoinhibitonereward |
| 4 | T3-FP1 | 13-16 | Arousal | 4 | Atención/Concentración | 1C twoinhibitonereward |
| | T4-FP2 | 10-13 | Arousal | | Atención/Concentración | 1C twoinhibitonereward |
| 5 | T3-F7 | 13.5-16.5 | Arousal | 4 | Habla/Social | 1C twoinhibitonereward |
| | T4-F8 | 10.5-3.5 | Arousal | | Habla/Social | 1C twoinhibitonereward |

| | | | | | | |
|----|-------|-----------|---------|---|--|------------------------|
| 6 | T3-F3 | 13.5-16.5 | Arousal | 4 | Atención/Concentración/ estado anímico | 1C twoinhibitonereward |
| | T4-F4 | 10.5-13.5 | | | Atención/Concentración/ estado anímico | 1C twoinhibitonereward |
| 7 | T3-C3 | 14-17 | Arousal | 4 | Motor/ Cognición /Lectura | 1C twoinhibitonereward |
| | T4-C4 | 11-14 | Arousal | | Motor/ Cognición / Lectura | 1C twoinhibitonereward |
| 8 | C3-C4 | Arousal | 30 | 4 | Motor/ Cognición / Lectura | 1C twoinhibitonereward |
| 9 | C3/A1 | 15-18 | Arousal | 4 | Motor/ Cognición / Lectura | 1C twoinhibitonereward |
| | C4-A2 | 12-15 | Arousal | | Motor/ Cognición / Lectura | 1C twoinhibitonereward |
| 10 | C3-P3 | 14-17 | Arousal | 4 | Pensamiento Abstracto/ Matemático/Sensorial | 1C twoinhibitonereward |
| | C4-P4 | 11-14 | Arousal | | Pensamiento Abstracto/ Matemático/Sensorial | 1C twoinhibitonereward |
| | T3-T5 | 13.5.16.5 | Arousal | 4 | Dislexia/Social | 1C twoinhibitonereward |
| | T4-T6 | 10.5.13.5 | Arousal | | Dislexia/Social | 1C twoinhibitonereward |

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento

Una vez se contó con el número de participantes, se les explicó de manera individual las condiciones del estudio y el tratamiento ético de los datos, y luego se procedió a firmar el consentimiento informado. Seguidamente, se inició con la aplicación de la escala para determinar el protocolo de entrenamiento cerebral requerido para cada paciente a partir de su diagnóstico previo. Establecido el programa de entrenamiento para cada paciente, se iniciaron las sesiones de forma individual –no mayores a 30 minutos– con una frecuencia de tres días por semana, mediante la aplicación de protocolos de entrenamiento para cada caso. En el grupo de pacientes con ADD se aplicaron los protocolos de entrenamiento en zonas prefrontales, lados derecho e izquierdo, en los canales T3-Fp1 y T4-Fp2; en el grupo de pacientes con ADDH se aplicaron protocolos para trabajar las áreas T3-C3 y T4-C4; y para quienes registraron diagnóstico de trastorno autista se utilizaron protocolos para las áreas frontal y temporal F7-T3/T4. Una vez finalizado el entrenamiento, se aplicó la escala para establecer el nivel en habilidades de aprendizaje y se registró el rango de calificación para cada paciente: A+, que indica sobresaliente; A, excelente; B, bueno; y C, promedio.

Resultados y conclusiones

En la Tabla 36 se muestran los estadísticos descriptivos de las variables edad y número de sesiones de entrenamiento. En promedio, los participantes tenían 12.46 años, el 81.6% tenía menos de 17 años, el mayor porcentaje se presentó en niños con 6 y 9 años, solo tres personas tenían más de 30 años, y las edades oscilaron entre 3 y 38 años. Adicionalmente, el promedio del número de sesiones fue de 27.4, con una desviación de 40.5. En el 80 % de los casos se utilizaron menos de 40 sesiones, y el número de sesiones osciló entre 10 y 75.

Tabla 36. Descriptivos de las variables edad y número de sesiones

| Descriptivo | Edad | Número de sesiones |
|---------------------|-------|--------------------|
| Promedio | 12.46 | 27.40 |
| Desviación estándar | 7.78 | 14.5 |
| Mínimo | 3 | 10 |
| Máximo | 38 | 75 |

Por otra parte, en la Tabla 37 se presenta la distribución de frecuencias de las tres patologías presentadas en el estudio. El 52 % de las patologías tratadas correspondieron a déficit de atención sin hiperactividad, el 32 % a déficit de atención con hiperactividad y el 16 % restante a diagnóstico de autismo.

Tabla 37. Distribución de frecuencias de las patologías

| Patología | Frecuencia | Porcentaje |
|-----------|------------|------------|
| ADD | 26 | 52 |
| ADDH | 16 | 32 |
| Autismo | 8 | 16 |
| Total | 50 | 100 |

Asimismo, en la Tabla 38 se muestra la distribución de los resultados obtenidos después de recibir el entrenamiento. El mayor porcentaje de los pacientes en las tres patologías tratadas quedó en las categorías más altas (A y A+); estos porcentajes corresponden a 69.2 % en ADD, 50 % en ADDH y 62.5 % en autismo. En la Tabla 38 también se presenta la distribución de frecuencias.

Tabla 38. Resultados obtenidos post-entrenamiento

| Patología | A+ y A | B | C | Total |
|-----------|--------|------|------|-------|
| ADD | 18 | 5 | 3 | 26 |
| % | 69.2 | 19.2 | 11.5 | 100 |
| ADDH | 8 | 6 | 2 | 16 |
| % | 50 | 37.5 | 12.5 | 100 |
| Autismo | 5 | 1 | 2 | 8 |
| % | 62.5 | 12.5 | 25 | 100 |
| Total | 31 | 12 | 7 | 50 |
| % | 62 | 24 | 14 | 100 |

En general, el entrenamiento utilizado con los pacientes con diagnóstico de autismo mejoró los patrones de sueño, fluidez verbal (completamiento de frases), contacto visual, regulación del ánimo, desarrollo en habilidades sociales y reducción en los niveles de ansiedad, además de que se evidenció que el entrenamiento muestra su máxima eficacia con 75 sesiones de 30 minutos, dos veces a la semana. Asimismo, en los pacientes con diagnóstico de déficit de atención hubo decremento de la ansiedad, impulsividad e hiperactividad, y el entrenamiento mostró su máxima eficacia con 40 sesiones de 30 minutos, dos veces a la semana.

Por otra parte, los protocolos estandarizados utilizados en el estudio demostraron que sirven para entrenar las áreas específicas del cerebro que trabajan y controlan las actividades más relevantes en la sintomatología clásica tanto del autismo como del déficit de la atención; la utilidad de dicha intervención corrobora los hallazgos de estudios similares con dichas categorías patológicas (Coben & Padolsky, 2007; Coben, Linden & Myers, 2010).

Adicionalmente, las tres categorías de diagnóstico seleccionadas pueden ser vistas y comprendidas debajo de un amplio espectro de síntomas, la mayoría de estos asociados a la falta de desarrollo neurológico apropiado; lo que podría explicar los resultados obtenidos, ya que durante el proceso de entrenamiento de las ondas cerebrales a través del *neurofeedback* lo que se espera es que las zonas cerebrales entrenadas puedan crear y desarrollar mayor cantidad de nuevas interconexiones –o sinapsis–, logrando así armar nuevas vías neurológicas que le permitan al sujeto aprender funciones anteriormente deficientes o, incluso, ausentes del todo.

Finalmente, la creación de nuevas interconexiones sinápticas en las áreas entrenadas abre un nuevo paradigma a la plasticidad cerebral, no solo por dejar en claro dicha plasticidad, sino porque también sugiere la alta capacidad del cerebro para desarrollar nuevos aprendizajes sin la necesidad de la ejecución física de la tarea que se pretende desarrollar. Este nuevo campo se ha empezado a consolidar hoy en día con todos los estudios que relacionan el uso del *neurofeedback* con el FMRI en universidades estadounidenses y japonesas (Thibault, Pherson, Lifshitz, Roth & Raz, 2018); estudios que han demostrado grandes avances y descubrimientos en el área de la biorretroalimentación cerebral. Por último, cabe concluir que con la inclusión de tratamientos no farmacológicos como el *neurofeedback* y de las nuevas tecnologías emergentes será posible observar el mundo interno de la electricidad del cerebro, al igual que tomar decisiones más directas y específicas con respecto a las necesidades específicas de cada persona entrenada, y así mejorar su calidad de vida y bienestar personal.

Referencias

- American Academy of Pediatrics. (2011). Medical policies Neurofeedback. Recuperado de http://www.bluecrossma.com/common/en_US/medical_policies/515%20Neurofeedback%20prn.pdf
- Ancoli, S., & Kamiya, J. (1978). Methodological issues in alpha biofeedback training. Biofeedback and Self-regulation Asperger's Syndrome. *Applied Psychophysiology Biofeedback*, 3(2), 159-183. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00998900>
- Ato, M., López, J. J., & Benavente, A. (2103). Un Sistema de clasificación de los diseños de investigación en Psicología. *Anales de Psicología*, 29(3), 1038-1059. doi: <http://dx.doi.org/10.6018/analesps.29.3.178511>
- Barabasz, A., & Barabasz, M. (1995). Attention deficit hyperactivity disorder: Neurological basis and treatment alternatives. *Journal of Neurotherapy*, 1(1), 1-10. doi: https://dx.doi.org/10.1300/J184v01n01_01
- Beauregard, M., & Levesque, J. (2006). Functional magnetic resonance imaging investigation of the effects of neurofeedback training on neural bases of selective attention and response inhibition in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Applied Psychology and Biofeedback*, 31, 3-20. doi: <https://dx.doi.org/10.1007/s10484-006-9001>
- BioPLAY Bio-interactive FLASH games (2010). Instruction Manual. Recupardo de https://brain-trainer.com/downloads/BioPLAY_Games_Manual.pdf
- Coben, R. (2007). Connectivity-guided neurofeedback for autistic spectrum disorder. *Biofeedback*, 35(4), 131-135. Recuperado de <http://www.braingames-israel.com/wp-content/uploads/2015/02/No-5.pdf>

- Coben, R., & Evans, J. R. (Eds.). (2010). *Neurofeedback and neuromodulation techniques and applications*. San Diego CA, Estados Unidos: Academic Press.
- Coben, R., & Hudspeth, W. (2006). Mu-like rhythms in autistic spectrum disorder: EEG analyses and neurofeedback outcome. En *14th Annual conference of the international society for neuronal regulation*, Atlanta.
- Coben, R., & Myers, T. E. (2008). Connectivity theory of autism: Use of connectivity measures in assessing and treating autistic disorders. *Journal of Neurotherapy*, 12(2-3), 161-179. doi: <https://doi.org/10.1080/10874200802398824>
- Coben, R., & Myers, T. E. (2010). The relative efficacy of connectivity guided and symptom based EEG biofeedback for autistic disorders. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 35(1), 13-23. doi: <https://doi.org/10.1007/s10484-009-9102-5>
- Coben, R., & Padolsky, I. (2007). Assessment-guided neurofeedback for autistic spectrum disorder. *Journal of Neurotherapy*, 11(1), 5-23. doi: https://dx.doi.org/10.1300/J184v11n01_02
- Coben, R., Linden, M., & Myers, T. E. (2010). Neurofeedback for autistic spectrum disorder: a review of the literature. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 35(1), 83-105. doi: <https://dx.doi.org/10.1007/s10484-009-9117>
- Díaz, J. R. (2011). *Entrenando Cerebros*. Training for life: Estados Unidos. Recuperado de <https://www.amazon.com/Entrenando-Cerebros-Spanish-JuanRicardo/dp/1463569122>
- Egner, T., & Gruzelier, J. H. (2004). EEG biofeedback of low beta band components: frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*, 115(1), 131-9. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1388-2457\(03\)00353-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1388-2457(03)00353-5)
- Frank, D., Khorshid, L., Kiffer, J., Moravec, C., & McKee, M. (2010). Biofeedback in medicine: who, when, why and how? *Mental Health in family Medicine*, 7, 85-91. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2939454/>
- Gevensleben, H., Holl, B., Albrecht, B., Vogel, C., Schlamp, D., Kratz, O., & Heinrich, H. (2009). Is neurofeedback an efficacious treatment for ADHD? A randomised controlled clinical trial. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 50(7), 780-789. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2008.02033.x>
- Kaiser, D. A., & Othmer, S. (2000). Effect of neurofeedback on variables of attention in a large multi-center trial. *Journal of Neurotherapy*, 4(1), 5-15. doi: https://doi.org/10.1300/J184v04n01_02
- Keeser, D., & Simkin, D. R. (2016). The impact of source-localized electroencephalographic phase neurofeedback on brain activity: a double-blind, placebo-controlled study using simultaneous electroencephalographic-functional magnetic resonance imaging. *Journal of the american academy of child & adolescent psychiatry*, 55(10), s51-s52. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2016.07.638>
- Kim, M. J., & Whalen, P. J. (2009). The structural Integrity of an Amygdala-Prefrontal Pathway Predicts Trait Anxiety. *Journal of Neuroscience*, 29, 11614-18. doi: <https://dx.doi.org/10.1093/scan/nsu108>

- Legarda, S. B., McMahon, D., Othmer, S., & Othmer, S. (2011). Clinical neurofeedback: case studies, proposed mechanism, and implications for pediatric neurology practice. *Journal of Child Neurology*, 26(8), 1045-1051. doi: <https://doi.org/10.1177/0883073811405052>
- Levesque, J., Beauregard, M., & Mensour, B. (2006). Effect of neurofeedback training on the neural substrates of selective attention in children with attention deficit/hyperactivity disorder: A functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience Letters*, 394, 216-221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2005.10.100>
- Lubar, J. F. (1991). Discourse on the development of EEG diagnostics and biofeedback treatment for attention deficit/hyperactivity disorders. *Biofeedback and Self-Regulation*, 16, 201-225. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01000016>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1023/A:102627622883>
- Lubar, J. F. (1997). Neurobiological Foundation for Neurofeedback Treatment of Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADD/HD). *Biofeedback*, 25(4-5), 18-19. Recuperado de: http://www.readytofocus.com/images/uploads/comprehensive_research_list_NF_and_QEEG.pdf
- Lubar, J. F., & Lubar, J. O. (2001). Neurofeedback intervention for treatment of attention deficit/hyperactivity disorder [Abstract]. *Molecular Psychiatry*, 6 (Suppl. 1), S7. Recuperado de: http://www.readytofocus.com/images/uploads/comprehensive_research_list_NF_and_QEEG.pdf
- Lubar, J. F., & Shouse, M. N. (1976). EEG and behavioral changes in a hyperkinetic child concurrent with training of the sensorimotor rhythm (SMR): A preliminary report. *Biofeedback and Self-Regulation*, (3), 293-306. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01001170>
- Lubar, J. F., Mann, C. A., Gross, D. M., & Shively, M. S. (1992). Differences in semantic event related potentials in learning disabled, normal, and gifted children. *Biofeedback and Self-Regulation*, 17, 41-57. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01000090>
- Lubar, J. F., Swartwood, M. O., Swartwood, J. N., & O'Donnell, P. (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 and Self-Regulation*, (20), 83-99. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01712768>
- Lubar, J. O., & Lubar, J. F. (1984). Electroencephalographic biofeedback of SMR and beta for treatment of attention deficit disorders in a clinical setting. *Biofeedback and Self-Regulation*, (9), 1-23. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00998842>
- Monastra, V. J., Lynn, S., Linden, M., Lubar, J. F., Gruzelier, J., & LaVaque, T. J. (2005). Electroencephalographic biofeedback in the treatment of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30(2), 95-114. doi: https://doi.org/10.1300/J184v09n04_02
- Neurobit Systems (2018). Information. Recuperado de <http://www.neurobitsystems.com/es/>
- Othmer, S., & Kaiser, D. (2000). Implementation of virtual reality in EEG biofeedback. *Cyberpsychology & Behavior*, 3(3), 415-420. doi: <https://doi.org/10.1089/10949310050078878>

- Othmer, S., Othmer, S. F., & Marks, C. S. (1991). EEG biofeedback training for attention deficit disorder, specific learning disabilities, and associated conduct problems. *EEG Spectrum* (pp. 1-21). Microsoft Word-OthmerStudy.doc. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/citations;jsessionid=317EB85DBFD5F50D93A638028E15EC32?-doi=10.1.1.536.9557>
- Pascual-Leone, A., Amedi, A., Fregni, F., & Merabet, L. B. (2005). The Plastic Human Brain Cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 28, 377-401. doi: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144216>
- Peniston, E. G., & Kulkosky, P. J. (1991). Alpha-theta brainwave neurofeedback for Vietnam veterans with combat-related post-traumatic stress disorder. *Medicine and Psychotherapy*, 4, 47-60. Recuperado de <http://www.aets.org/article47.htm>
- Pineda, J. A., Brang, D., Hecht, E., Edwards, L., Carey, S., ... Rork, A. (2008). Positive behavioral and electrophysiological changes following neurofeedback training in children with autism. *Research in Autism Spectrum. Disorder Journal*, 2, 557-581. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rasd.2007.12.003>
- Rasey, H. W., Lubar, J. E., McIntyre, A., Zoffuto, A. C., & Abbot, P. L. (1996). EEG Biofeedback for the enhancement of attentional processing in normal college students. *Journal of Neurotherapy*, 1, 15-31. doi: https://doi.org/10.1300/J184v01n03_03
- Robbins, J. (2000). *A Symphony in the Brain*. New York, NY: Grove Press.
- Scott, W. C., Kaiser, D., Othmer, S., & Sideroff, S. I. (2005). Effects of an EEG biofeedback protocol on a mixed substance abusing population. *The American journal of drug and alcohol abuse*, 31(3), 455-469. doi: <https://doi.org/10.1081/ADA-200056807>
- Sterman, M. B., Howe, R. C., & Macdonald, L. R. (1970). Facilitation of spindle-burst sleep by conditioning of electroencephalographic activity while awake. *Science* 167, 1146-1148. doi: <http://dx.doi.org/10.1126/science.167.3921.1146>
- Sterman, M. B., MacDonald, L. R., & Stone, R. K. (1974). Biofeedback training of the sensorimotor electroencephalogram rhythm in man: effects on epilepsy. *Epilepsia*, 15(3), 395-416. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1528-1157.1974.tb04016.x>
- Schwartz, M. S., & Andrasik, F. (2016). *Biofeedback: A Practitioner's Guide, Fourth Edition*. New York: Guilford Press. Recuperado de <https://www.guilford.com/books/Biofeedback/Schwartz-Andrasik/9781462531943>
- Skinner, B. F. (1938). *The Behavior of Organisms*. New York: Appleton-Century.
- Thibault, R. T., MacPherson, A., Lifshitz, M., Roth, R. R., & Raz, A. (2018). Neurofeedback with fMRI: A critical systematic review. *Neuroimage*, 15(172), 786-807. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.12.071>
- Thompson, T., Steffer, T., Redding, E., & Gruzelier, J. (2008). The effect of alpha-theta and heart-rate coherence training on creative dance performance. *Revista Española de Neuropsicología*, 10, 60. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.05.004>
- Thompson, L., Thompson, M., & Reid, A. (2010). Neurofeedback outcomes in clients with Asperger's syndrome. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 35(1), 63-81. doi: <https://doi.org/10.1007/s10484-009-9120-3>

- Tudor, M., Tudor, L., & Tudor, K. L. (2005). Hans Berger (1873-1941) The history of electroencephalography. *Acta Médica Croática*, 59(4), 307-13. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16334737>
- Vernon, D. J. (2005). Can neurofeedback training enhance performance? An evaluation of the evidence with implications for future research. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 30(4), 347-364. doi: <https://doi.org/10.1007/s10484-005-8421-4>