



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
Facultad de Psicología

**UNIVERSIDAD DE
ALMERÍA**



FACULTAD DE PSICOLOGÍA



Trabajo Fin de Grado en Psicología

Convocatoria Junio del 2022

Neuromodulación Mediante Estimulación Cerebral No Invasiva (tDCS)

En Niños Con Trastorno Del Espectro Autista (TEA):

Estudio De Caso

Neuromodulation through Non-Invasive Brain Stimulation (tDCS)

In Children with Autism Spectrum Disorder (ASD):

Case Study

Autora: Lilyana Dobrova Petkova

Tutor: Luis Fernando Sánchez Santed

Cotutor: Miguel Morales Navas

Resumen

El Trastorno del Espectro Autista (TEA) es un trastorno común del neurodesarrollo cuyas principales características son las deficiencias cognitivas, emocionales y conductuales. La condición no es curable. Los tratamientos son largos y laboriosos y la mayoría de las intervenciones han mostrado solo un éxito limitado. La estimulación de corriente continua transcraneal (tDCS) es un enfoque relativamente nuevo que se utiliza para aliviar los síntomas en diversas afecciones neuropsicológicas, incluido el TEA y TDAH. Este tipo de estimulación cerebral no invasiva utiliza corriente directa de baja intensidad aplicada directamente en la cabeza y parece ser un método prometedor y seguro para modular la actividad neuronal relativamente rápido y con resultados duraderos. El trabajo se centra en la intervención con tDCS en un niño de 9 años diagnosticado de TEA, cuyos principales déficits están relacionados con el control de impulsos, hiperactividad, déficit de atención y baja cognición social. Durante las sesiones se proporciona entrenamiento cognitivo. La intervención tuvo un efecto positivo sobre algunos de los principales síntomas del TEA, mejorando las funciones ejecutivas del niño, en particular la memoria de trabajo y la atención, y también reduciendo su impulsividad y aumentando el control inhibitorio. Esto se reflejó no solo en las pruebas neuropsicológicas estándar realizadas, sino también en la prueba con fNIRS, que también mostró una mayor conectividad funcional entre todas las áreas del cerebro y especialmente en los lóbulos prefrontales.

Palabras clave: tDCS, TEA, TDAH, fNIRS, niños, funciones ejecutivas, entrenamiento cognitivo

Abstract

Autism Spectrum Disorder (ASD) is a common neurodevelopmental disorder whose main characteristics are cognitive, emotional and behavioral deficiencies. The condition is not curable. The treatments are long and laborious, and most interventions have shown only limited success. Transcranial direct current stimulation (tDCS) is a relatively new approach used to relieve symptoms in various neuropsychological conditions, including ASD and ADHD. This type of non-invasive brain stimulation uses low-intensity direct current applied directly to the head and appears to be a promising and safe method of modulating neural activity relatively quickly and with long-lasting results. The work focuses on the intervention with tDCS in a 9-year-old boy diagnosed with ASD, whose main deficits are related to impulse control, hyperactivity, attention deficit and low social cognition. Cognitive training is provided during the sessions. The intervention had a positive effect on some of the main symptoms of ASD, improving the child's executive functions, in particular working memory and attention, and also reducing his impulsivity and increasing inhibitory control. This was reflected not only in the standard neuropsychological tests performed, but also in the fNIRS test, which also showed increased functional connectivity between all brain areas and especially in the prefrontal lobes.

Keywords: tDCS, ASD, ADHD, fNIRS, children, cognitive training, executive functions

Índice

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Introducción.....	5
Trastorno del Espectro Autista: Criterios diagnósticos.....	5
Comorbilidad.....	6
Neurobiología.....	7
Teorías de las causas psicológicas del autismo.....	9
Teoría de la Mente.....	9
Disfunción Ejecutiva.....	10
Teoría del Debilitamiento de la Coherencia Central.....	11
Tratamiento.....	12
Neuroterapia: Estimulación eléctrica transcranial.....	12
Entrenamiento cognitivo.....	14
Intervención.....	15
Objetivo.....	15
Método.....	15
Descripción del caso.....	15
Evaluación neuropsicológica.....	16
Parámetros de estimulación tDCS.....	18
Eventos adversos.....	18
Ejercicios de entrenamiento cognitivo.....	18
Procedimiento.....	21
Resultados.....	22
Discusión y conclusiones.....	34
Referencias bibliográficas.....	36
Apéndice A. Cronología del informe de caso.....	42
Apéndice B. Resultados de los Juegos Lumosity.....	43
Apéndice C. Montaje empleado en la evaluación de la conectividad a través de fNIRS.....	44

Introducción

La palabra autismo proviene de la palabra griega autos, que significa uno mismo. Se ha utilizado en el pasado para describir la desviación de la realidad en pacientes con esquizofrenia. Años más tarde, Leo Kanner redefinió el término, refiriéndose a los niños que sufrían problemas del habla y demostraban aislamiento social (Sharma et al., 2018). Actualmente, el trastorno del espectro autista (TEA) se caracteriza por deficiencias en dos dominios centrales: la comunicación y interacción social, así como el comportamiento repetitivo y restrictivo (American Psychiatric Association, 2013).

Trastorno del Espectro Autista: Criterios Diagnósticos

Los trastornos del neurodesarrollo tienen su origen en un desarrollo atípico del sistema nervioso central con cambios en el ritmo de maduración. Es decir los niños son incapaces de adquirir patrones de maduración, los adquieren de manera parcial o en una cronología que no se espera. Esto provoca dificultades en los procesos de adaptación, socialización y realización de actividades básicas (Sciotto & Niripil, 2021).

En el DSM-5 (APA, 2013) el Trastorno del Espectro Autista engloba todos los trastornos generalizados del desarrollo bajo un único diagnóstico, eliminando así todas las categorías previas, lo cual es un paso hacia el diagnóstico dimensional (CEDE, 2013). Se destaca que la lista de ejemplos de criterios diagnósticos es ilustrativa pero no exhaustiva, lo que permite actualizarlos constantemente, complementarlos e interpretarlos más ampliamente.

Para distinguir entre las personas con autismo de alto funcionamiento y las que tienen el síndrome de Rett, se debe especificar la gravedad del trastorno, que está determinada por los déficits de comunicación, así como por los patrones de comportamientos limitantes o repetitivos (Sharma et al., 2018). Esta versión también debe especificar si el trastorno se acompaña o no de discapacidad del lenguaje o intelectual, si hay catatonía y si está relacionada con algún factor médico, genético o ambiental (APA, 2013).

Las deficiencias y las alteraciones en la comunicación e interacción social incluyen reciprocidad deteriorada, diálogo inadecuado, poca comprensión de las intenciones y el lenguaje corporal, así como dificultades para construir y mantener amistades, juegos imaginarios y falta de interés por los iguales. Patrones estereotípicos de comportamiento, movimientos repetitivos, intereses inusuales o anormales en intensidad u objetividad, híper o hiporeactividad sensorial, insistencia en mantener las cosas iguales, malestar ante los pequeños cambios, inflexibilidad, rigidez de pensamiento y rituales son solo algunas de las manifestaciones típicas del TEA (Sharma et al., 2018). A diferencia de la versión anterior,

DSM-5 (APA, 2013) establece que el trastorno debe detectarse en la primera infancia, pero no dice exactamente cuándo, ni cuántos criterios cumplir. Esto ayudaría en el diagnóstico precoz, ya que algunos de los déficits no se manifiestan hasta que la demanda social lo requiere o pueden enmascarse con estrategias preaprendidas (CEDE, 2013).

Comorbilidad

La percepción del autismo ha cambiado desde las primeras descripciones de Leo Kanner, de una enfermedad incurable que implica cambios en el cerebro a una disfunción del sistema nervioso acompañada de otras enfermedades orgánicas que afectan a varios sistemas. (Sciotto & Niripil, 2021).

Varios estudios han encontrado que los pacientes con ASD tienen una amplia gama de condiciones comórbidas (Lee et al., 2021; Mannion & Leader, 2014; Rong et al., 2021; Sharma et al., 2018; Stevens et al., 2016) que conduce a un deterioro físico y/o mental adicional, mayores costos de tratamiento y mayores demandas de los cuidadores a las familias de los pacientes (Sharma et al., 2018). Más del 70 % de los niños con TEA tienen al menos un trastorno psiquiátrico comórbido y aproximadamente el 40 % tiene dos o más diagnósticos comórbidos (Rong et al., 2021). Es importante estudiar la comorbilidad, ya que realizar un diagnóstico certero suele ser el primer paso para priorizar el tratamiento (Mannion & Leader, 2014). Además, esto hace posible el diagnóstico temprano, ya que existe evidencia de que los niños con síntomas de ambas afecciones son diagnosticados significativamente más tarde que aquellos con solo uno (Stevens et al., 2016).

Hay más de 16 condiciones o trastornos diferentes que se asocian con frecuencia con el TEA, y el TDAH a menudo se reconoce como uno de los trastornos comórbidos más comunes (Rong et al., 2021). A diferencia de la cuarta versión, el DSM-5 (APA, 2013) permite diagnósticos conjuntos de TEA y TDAH, ya no son mutuamente excluyentes, lo que conduce a una mejor evaluación de los déficits y su priorización de tratamiento. Los estudios muestran que entre el 30 y el 50 % de los pacientes con TEA también muestran síntomas de TDAH, y el 66 % de los pacientes con TDAH también muestran características de TEA (Sharma et al., 2018). Los niños con TEA+ tienen peor pronóstico, deterioro social más severo y factores de riesgo familiares más altos en comparación con los niños que tienen solo una de las dos condiciones TEA o TDAH (Mannion & Leader, 2014). También existen deficiencias en el funcionamiento ejecutivo bien documentadas en ambas poblaciones. De hecho, al final de la escuela primaria o al comienzo de la adolescencia, los efectos de los

síntomas psiquiátricos comórbidos del TDAH en personas con TEA, suelen ser más problemáticos que los síntomas centrales del TEA (Lee et al., 2021).

Neurobiología

El estudio de las causas cognitivas y neurales del autismo se ha descrito como un tapiz fragmentado unido a partir de varios hilos analíticos y modelos teóricos. El desafío para los investigadores es desentrañar e integrar los muchos enfoques diferentes, identificar el hilo que puede conectar la evidencia de la genética, la bioquímica, la fisiología, la neuroanatomía y la psicología, y brindar no solo una explicación consistente de la condición, sino también la posibilidad de remediación (Belmonte et al., 2004).

La neurobiología del cerebro autista se basa en investigaciones que combinan varios datos de medidas como de la circunferencia de la cabeza, el peso cerebral post mortem, fMRI, EEG, MEG, modelos animales, etc. (Rippon et al., 2007). Uno de los cambios atípicos más pronunciados en la estructura del cerebro autista proviene de los estudios del volumen total del cerebro, que muestran que el cerebro autista crece hasta su tamaño máximo a un ritmo mucho más rápido que los cerebros normales, seguido de una asíntota abrupta entre 2 y 4 años de edad (Belmonte et al., 2004). Además el tiempo de sobrecrecimiento coincide exactamente con el período en que los procesos de sinaptogénesis, apoptosis y mielinización están en su apogeo (Palau Baduell et al., 2012). En general, los cerebros de los niños con TEA son más grandes que los cerebros de los niños sin TEA debido a alteraciones en el proceso normal de poda neural y aumento de sustancia blanca en algunas áreas del cerebro (Calderón et al., 2012). Este crecimiento anormal es más pronunciado en los lóbulos frontales, donde los patrones sinápticos de conexión de grandes neuronas piramidales integradoras suelen tardar muchos años en madurar y la interrupción del desarrollo normal afectaría significativamente las conexiones cortico-corticales y cortico-cerebelosas de larga distancia, lo que daría como resultado una conectividad alterada entre áreas clave del cerebro (Rippon et al., 2007).

Hay dos tipos de conexiones en el cerebro: estructurales o anatómicas y funcionales, y aunque se hace una distinción entre las dos, es obvio que están estrechamente relacionadas (Rippon et al., 2007). La conectividad estructural se refiere a las conexiones físicas (sinápticas) que unen las neuronas y sus propiedades biofísicas. La conectividad funcional se define como la sincronización entre los datos de activación de dos áreas del cerebro. Pero aquí, también, debemos distinguir dos tipos de conectividad: conectividad local en las uniones neuronales y la conectividad a larga distancia entre diferentes regiones cerebrales funcionales (Belmonte et al., 2004). La hipótesis de la conectividad temporal alterada explica las

anomalías en la integración de la información en personas autistas con conectividad reducida entre las redes neuronales locales especializadas en el cerebro y una posible sobreconectividad dentro de conjuntos neuronales individuales aislados (Rippon et al., 2007). Físicamente, una alta conectividad local puede desarrollarse en el cerebro autista junto con una baja conectividad a larga distancia, quizás como resultado de cambios generalizados en la eliminación y/o formación de sinapsis (Belmonte et al., 2004). El déficit de conectividad sugiere que algunos aspectos de la función neurológica que dependen de la coordinación o integración de las áreas cerebrales pueden estar alterados, especialmente cuando la demanda funcional de coordinación es alta, lo que puede explicar las alteraciones nucleares del TEA. El hallazgo más consistente es un modelo de déficits funcionales de conectividad entre diferentes áreas frontales y posteriores, cuyas conexiones son esenciales para la integración de múltiples procesos cognitivos en la realización de determinadas tareas. Por otra parte, la sobreconectividad se relaciona con los hallazgos de hiperespecificidad y deficiencia de generalización, así como con una discriminación excesiva en determinadas tareas. El exceso de conectividad funcional a nivel de redes locales puede ser la causa o la consecuencia de la pobre conectividad interregional (Palau Baduell et al., 2012).

Además, estudio (Palau Baduell et al., 2012) de resonancia magnética funcional encontró hipoactivación de áreas cerebrales específicas del hemisferio izquierdo (es decir, la amígdala y la circunvolución fusiforme) en relación con el hemisferio derecho entre los niños con TEA en comparación con los niños neurotípicos. Mientras que otro estudio espectroscópico de resonancia magnética de protones mostró una reducción de N-acetilaspártato /creatina/fosfocreatina, que es un marcador de densidad neuronal en la corteza prefrontal dorsolateral izquierda pero no en la derecha (DLPFC) de pacientes autistas (D'Urso et al., 2022). Este deterioro de la función inhibitoria intracortical (desequilibrio excitatorio /inhibitorio) en la DLPFC izquierda puede ser responsable de la patogenia del autismo, contribuyendo a las características motoras, sensoriales y cognitivas del trastorno. La DLPFC izquierda es crucial para el funcionamiento cognitivo, social y emocional y es esencial para la teoría de la mente (ToM), el reconocimiento de emociones y la función ejecutiva, todos los cuales están deteriorados en personas con autismo (D'Urso et al., 2022).

La teoría más controvertida de la neurobiología del TEA se refiere al sistema neuronal espejo (SMN). Las neuronas espejo son células que se activan tanto durante el desempeño como durante la observación del comportamiento motor. Este sistema también se encarga de reflejar las sensaciones táctiles, las emociones y el dolor en los humanos. Desde un punto de vista teórico, las neuronas espejo participan en la imitación y simulación de la mente de otras

personas y así subordinan varios aspectos del conocimiento social y la empatía. Se ha sugerido que el deterioro de la función social en los TEA puede deberse, al menos en parte, a la incapacidad de las neuronas espejo para desarrollarse adecuadamente o al fallo del sistema espejo en su conjunto (Calderón et al., 2012).

De particular importancia para tDCS es que TEA está asociado con actividad anormal en varias áreas específicas del cerebro. Esto incluye centros corticales estrechamente conectados, como el surco temporal posterior, la corteza temporoparietal (TPJ), la corteza prefrontal dorsolateral (DLPFC) y el área motora secundaria (SMA). El cerebelo también está muy involucrado en el autismo, con activación anormal y neuropatología. Es conveniente que la mayoría de estas regiones sean muy accesibles, ya que se ubican relativamente cerca del cuero cabelludo (Enticott et al., 2019).

Teorías de las Causas Psicológicas del Autismo

Desde la época de Kanner, han surgido diversas teorías psicológicas que intentan explicar el autismo. Cada una de ellas puede arrojar luz sobre algunos aspectos de la condición, pero ninguna cubre todas las características (Bogdashina, 2006). Los tres modelos explicativos presentados en el documento ofrecen descripciones que podrían complementarse entre sí para ofrecer un marco explicativo integral (Calderón et al., 2012).

Teoría de la Mente (ToM)

ToM o mentalización es la capacidad de inferir los estados mentales de otras personas y utilizar esta información para predecir el comportamiento (Jones et al., 2017). El concepto de ToM fue introducido por Premack y Woodruff (1978), quienes experimentaron con chimpancés para descubrir su capacidad de comprender el comportamiento humano y anticipar sus acciones. Resultó que los monos tienen ToM, y a partir de esta investigación comenzó el desarrollo del concepto de la teoría de la mente, enfocada principalmente a la búsqueda del sustrato anatómico y su relación con otros aspectos cognitivos como el lenguaje y la conducta reguladora (Calderón et al., 2012).

Los estudios acerca del autismo fueron iniciados por Kanner, quien propone que el rasgo fundamental del síndrome de autismo es la incapacidad para relacionarse normalmente con las personas y las situaciones (Echeverry, 2010). Se ha notado que a las personas autistas les resulta difícil percibir la mente de los demás. La característica central del autismo es la incapacidad de inferir los estados mentales de otra persona y en algunos casos extremos, los niños autistas pueden no tener ningún concepto de la mente. Esta incapacidad para leer la mente, lo que impide que los niños se den cuenta de lo que piensan, creen o desean otras

personas, se ha denominado falta de Teoría de la Mente o en síntesis ceguera mental (Baron-Cohen et al., 1985).

Las dificultades para pasar las medidas clásicas de ToM, las más comunes de las cuales son las tareas de creencias falsas, están bien documentadas en los TEA. Wimmer y Perner (1983) desarrollaron un paradigma ingenioso que se puede utilizar con niños muy pequeños en el caso de que la propia creencia del niño sea diferente de la creencia de otra persona. Para tener éxito en la tarea, el niño debe ser consciente de que diferentes personas pueden tener diferentes creencias sobre una situación. Por lo tanto, este caso proporciona la evidencia más fuerte de la capacidad de concebir estados mentales (Baron-Cohen et al., 1985). Las tareas de creencias falsas hacen preguntas directas sobre los estados mentales de los demás, aunque también requieren competencia en una variedad de otras habilidades cognitivas, como la inhibición de la realidad y la selección de respuestas.

Existe evidencia de que algunas personas con TEA pueden entender una creencia falsa, pero incluso aquellos que dan la respuesta correcta llegan a la solución de manera diferente que aquellos sin autismo. Los niños no autistas cuando son evaluados no pueden explicar en detalle por qué, mientras que las personas autistas dan fácilmente una justificación articulada. Para las personas no autistas, la respuesta es espontánea, mientras que las personas con autismo elaboran una solución lógicamente. Estas personas autistas que son conscientes de la mente fallan en tareas de ToM más difíciles. Además, a diferencia de otros, no usan tales habilidades en la vida real (Bogdashina, 2006). Sin embargo, una interpretación es que los individuos autistas verbalmente capaces inventan explicaciones mentalizadas cuando se les da tiempo y estructura, pero esta habilidad no resiste las complejidades de la vida cotidiana, donde la mentalización tiene que ser intuitiva, rápida y reflexiva. De hecho, la mentalización de la vida real requiere atención a los detalles sociales relevantes, que pueden no estar presentes en los individuos con TEA (Jones et al., 2017).

Disfunción Ejecutiva

Se han desarrollado múltiples modelos de funciones ejecutivas que conceptualizan FE en base a la voluntad (la elección para comportarse intencionalmente), la planificación y la toma de decisiones (los pasos de planificación y organización para resolver problemas), la acción intencional (tomar pasos intencionalmente para implementar un plan) y desempeño efectivo (seguimiento y regulación de las propias acciones). Las áreas específicas de EF incluyen memoria de trabajo, inhibición, flexibilidad cognitiva, planificación, organización,

atención y autorregulación. Los niños con trastornos del neurodesarrollo comúnmente experimentan déficits de FE (Benallie et al., 2021).

Otra teoría que busca la causa raíz del autismo es la teoría del funcionamiento ejecutivo deficiente, originada por Sally Ozonoff (1995). El autor ha estudiado el deterioro de las FE en el autismo y ha encontrado que las peculiaridades conductuales de las personas autistas en esta área son muy similares a las de las personas que han sufrido lesiones en el lóbulo frontal. Funciones ejecutivas (FE) es el término general que se utiliza para referirse a una familia de procesos mentales de nivel superior que están activos cuando existe la necesidad de concentrarse y prestar atención, en otras palabras, cuando las respuestas automáticas o instintivas no serían deseables o serían insuficientes (Pasqualotto et al., 2021). Las funciones ejecutivas incluyen la planificación, la organización, el seguimiento del progreso hacia una meta y la adopción de un enfoque flexible para la resolución de problemas (Bogdashina, 2006). Según la teoría de la disfunción ejecutiva, las dificultades que presentan los pacientes con TEA se deben principalmente a alteraciones del lóbulo frontal y estas anomalías se relacionan específicamente con las FE, entendidas como el conjunto de procesos encargados de la generación, monitorización y el control del comportamiento dirigido a meta (Calderón et al., 2012). Wisconsin Card Sorting Test, Tower of Hanoi y Stroop Test son algunas de las pruebas comúnmente utilizadas para evaluar FE. Los resultados en pacientes con TEA muestran fallas ejecutivas globales, muy similares a los pacientes con lesiones del lóbulo frontal, como un gran número de perseveraciones y fallas en encontrar estrategias efectivas en la realización del Wisconsin Card Sorting Test (Calderón et al., 2012). Además, los pacientes con TEA sufren una grave alteración en la planificación de conductas complejas provocada por un severo déficit en la memoria de trabajo. Como esta deficiencia aparece muy temprano en el desarrollo, afecta no solo la planificación del comportamiento, sino también la adquisición y el uso de conceptos que requieren la integración de información en un contexto particular a lo largo del tiempo (Griffith et al., 1999). Una capacidad disminuida para generar nuevas ideas y planes de acción podría conducir a un comportamiento espontáneo limitado, repetitivo, a rutinas rígidas y dificultad para manejar cuando se interrumpe la rutina (Turner, 1997).

Teoría del Debilitamiento de la Coherencia Central

La coherencia central débil (weak central coherence) se refiere a una falla en el procesamiento de la información que afecta la capacidad de una persona para percibir el entorno de una manera global e integrada y, en cambio, implica un procesamiento orientado a

los detalles (Happé & Frith, 2006). Uta Frith (1989) originó la teoría de la coherencia central débil en un intento de explicar las características no sociales del autismo (que no podían explicarse por la falta de ToM). Esta teoría se centra tanto en los déficits como en los puntos fuertes. Frith (1989) denominó coherencia central a la tendencia de los individuos con un desarrollo típico a procesar la información entrante en busca de significado y forma global, a menudo a expensas de la atención o la memoria de los detalles y la estructura superficial (Happé & Frith, 2006). Por el contrario, las personas con autismo no tienen esta capacidad congénita de coherencia. Según Bogdashina (2006) la teoría predice que las personas autistas tendrán deficiencias en la integración de la información en un nivel superior de información holística; es decir, pueden hacerlo bien en las pruebas de formas incrustadas, pero les resulta difícil ver la imagen completa. Frith (1989) cree que la teoría del debilitamiento de la coherencia central puede explicar también las típicas islas de habilidades en el autismo (síndrome de Savant), así como la incapacidad para concentrarse en la información relevante e ignorar lo que es inapropiado, lo que conduce a la incapacidad de dar sentido, de ver significado y estructura en todo. Pero a pesar de que el mundo fragmentado del autismo es real y las personas con autismo se enfocan en los detalles, lo hacen a un nivel conceptual más que perceptivo (Ozonoff, 1995).

Tratamiento

Hoy en día, el autismo es un grave problema de salud pública que no es reconocido como tal. El diagnóstico precoz y la intervención temprana son puntos clave en los programas de intervención en autismo. Además, la atención temprana e intensiva mejora el pronóstico de estos niños (Sciotto & Niripil, 2021). Se han utilizado múltiples intervenciones como el análisis aplicado de la conducta (ABA), la terapia ocupacional, la terapia del habla, la fisioterapia y la terapia farmacológica para aliviar los síntomas del TEA. Sin embargo, la mayoría de estas terapias solo logran una mejoría parcial y una proporción significativa de pacientes necesita algún tipo de asistencia por el resto de sus vidas (Sharma et al., 2018).

Neuroterapia: Estimulación Eléctrica Transcranial

La neuroterapia es un procedimiento que, basado en varios tipos de activaciones cerebrales, tiene como objetivo modificar patrones eléctricos en el sistema nervioso central (SNC). Existen varias técnicas, incluyendo Respuesta de seguimiento de la frecuencia (FFR), el Neurofeedback, Estimulación transcranial magnética (TMS) y estimulación eléctrica transcranial (tDCS, tACS, tPCS y tRNS). En esencia, todas estas técnicas consisten en

estimular el cerebro y no solo modificar su funcionamiento, sino también producir cambios estructurales basados en la capacidad neuroplástica del SNC (Sciotto & Niripil, 2021).

La historia de la estimulación eléctrica transcraneal se remonta al descubrimiento de la propia electricidad. En ese momento, se utilizaron fuentes cuyas corrientes no se podían controlar, como los peces torpedos, para intentar estudiar cómo la carga eléctrica aplicada en el cuero cabelludo afecta la reducción de los dolores de cabeza (Priori, 2003). Posteriormente, a principios del siglo XX, se probó el uso de la terapia electroconvulsiva en diversas condiciones psiquiátricas, y en 1939 se realizó el primer tratamiento de un paciente para reducir la actividad epiléptica con una fuerte corriente eléctrica. Hasta el día de hoy se utilizan variantes de esta técnica, pero con muchos efectos secundarios como la pérdida de memoria (Moreno-Duarte et al., 2014).

Más adelante en el siglo XX, la investigación actual continuó, pero ya se usaba corriente de baja intensidad. Hay cuatro tipos principales de estimulación eléctrica transcraneal de baja intensidad que incluyen tDCS (corriente continua), tPCS (corriente pulsada), tACS (corriente alterna) y tRNS (ruido aleatorio). Todas estas técnicas son bien toleradas y operan influyendo en la actividad neuronal espontánea o no espontánea (cuando se combina con una tarea cognitiva), generando cambios graduales en las redes neuronales (Moreno-Duarte et al., 2014).

La estimulación transcraneal de corriente continua tDCS utiliza CC de baja intensidad (0,5-2 mA) suministrada por dos electrodos. La técnica consiste en la inyección de una corriente eléctrica en el cerebro a través de los electrodos colocados en el cuero cabelludo. La corriente pasa a través de la piel, el tejido subcutáneo, el cráneo y el líquido cefalorraquídeo a la materia gris e induce excitabilidad excitatoria (estimulación anódica) o inhibitoria (estimulación catódica) en la corteza. El mecanismo de acción consiste en facilitar o inhibir la transmisión sináptica, aumentando o disminuyendo la frecuencia de los potenciales de acción en el disparo neuronal endógeno en lugar de generar potenciales de acción como en la rTMS (Osório & Brunoni, 2018). El equipo más utilizado incluye dos esponjas empapadas en solución salina (20-35 cm²), que tienen ranuras en las que se colocan los electrodos (ánodo y cátodo), bandas elásticas de goma que se utilizan para asegurar los electrodos en el cuero cabelludo y un dispositivo de estimulación de corriente tDCS alimentado por batería. Al menos uno de los electrodos debe colocarse en el cuero cabelludo, y el otro puede colocarse en otra ubicación cefálica (montaje bipolar o bicefálico) o extracéflica (conocido como montaje unipolar o monocefálico) (Moreno-Duarte et al., 2014). La colocación generalmente se deriva del sistema internacional EEG 10-20. La duración de la intervención normalmente

suele variar entre 20 y 40 minutos. Los resultados dependen de la densidad de la corriente, la duración de la estimulación, la polaridad y la ubicación de la estimulación.

Es importante destacar que, debido a que la corriente utilizada en tDCS es subumbral y no induce potenciales de acción, sino que modula la actividad neuronal espontánea de una manera dependiente de la polaridad. La estimulación del ánodo superficial da como resultado un flujo de corriente interna en la corteza, lo que conduce a la despolarización somática de las neuronas piramidales corticales y la hiperpolarización de las dendritas apicales, mientras que la estimulación de la superficie catódica provocará un flujo de salida en la corteza, lo que lleva a la hiperpolarización somática de las neuronas piramidales corticales y la despolarización apical de las dendritas (Moreno-Duarte et al., 2014). En términos generales, el tDCS del ánodo aumenta y el tDCS del cátodo inhibe la excitabilidad del área objetivo. Aunque debemos mencionar que el flujo de corriente se extiende por todas las regiones corticales entre y alrededor de los electrodos y, por lo tanto, no se limita solo al área debajo de los electrodos. Sin embargo, la naturaleza difusa del flujo de corriente no significa que los cambios en la configuración puedan cambiar el patrón del flujo de corriente y conducir a cambios significativos en las medidas específicas de los resultados (Nitsche & Paulus, 2000). Pero cuando tDCS se combina con tareas cognitivas específicas, esto permite facilitar y consolidar los efectos del entrenamiento. Por lo tanto, tDCS podría focalizarse funcionalmente sincronizando la estimulación con tareas específicas (Luckhardt et al., 2021).

Entrenamiento Cognitivo

En los últimos años, el entrenamiento cognitivo computarizado (CCT) ha sido de gran interés. CCT se aplica en una amplia gama de poblaciones, tanto con diferentes patologías como sanas. El núcleo del entrenamiento cognitivo computarizado es un software diseñado para involucrar y practicar funciones cognitivas para mejorarlas. Algunos programas están dirigidos explícitamente a un solo dominio cognitivo, mientras que otros se dirigen a una variedad de funciones (Harvey et al., 2018).

Las tareas presentadas en las intervenciones de entrenamiento cognitivo varían ampliamente. Por lo general, se otorgan como juegos y se pueden presentar a través de un formato de computadora o lápiz y papel, con el objetivo de mejorar una gran cantidad de habilidades como la memoria de trabajo, la atención, el control inhibitorio, la planificación y la flexibilidad cognitiva. Dado que es importante mantener al niño comprometido, motivado y practicando a un nivel que esté de acuerdo con sus habilidades actuales o ligeramente por encima de ellas, este entrenamiento suele ser adaptativo (es decir, la dificultad de la tarea se

ajusta al desempeño del niño). Por lo tanto, se ha propuesto que el entrenamiento cognitivo puede reducir la sintomatología del TDAH y mejorar el funcionamiento al abordar los déficits neuropsicológicos (Veloso et al., 2020).

Los ejercicios de entrenamiento cognitivo se han utilizado en varios estudios para mejorar el rendimiento de niños con TEA gracias a la práctica repetida de tareas ejecutivas. La mayoría de las intervenciones fueron efectivas para mejorar las funciones ejecutivas FE y reducir los síntomas en niños y jóvenes con TEA. Hay evidencia limitada disponible sobre la generalización de habilidades no entrenadas (es decir, habilidades sociales), así como los efectos a largo plazo (Pasqualotto et al., 2021).

Intervención

Objetivo

El objetivo principal del estudio es determinar si la estimulación eléctrica transcraneal conducirá a cambios en las funciones ejecutivas del paciente, contribuyendo así a la posible inclusión de este procedimiento en el tratamiento de condiciones como TEA y TDAH.

Método

Descripción Del Caso

El sujeto del estudio es un niño de 9 años de origen búlgaro. Ha sido diagnosticado con TEA cuando tenía 5 años y tiene asignado 85% de discapacidad de la Comisión Médica Territorial de Expertos del Ministerio de Salud de la República de Bulgaria. Proviene de una familia monoparental (el niño es criado solo por la madre). Ha nacido por cesárea. No hubo gafeo. Marcha independiente en torno a los 10 meses. Buen desarrollo motor. No mantenía contacto ocular, tenía sonidos y movimientos estereotipados, no balbuceaba, sus primeras palabras se retrasaron mucho, fueron en inglés y sin sentido referencial. No tiene enfermedades concomitantes y no toma ningún medicamento.

Actualmente habla en búlgaro, español e inglés y también está aprendiendo francés. Producción verbal con prosodia especial, limitación léxica significativa, entonación incorrecta, muchos errores gramaticales y sustitución de palabras. La comunicación social es ridícula e infantil, usa muchas frases aprendidas, no respeta los límites, habla mucho, a menudo fuera de contexto. Inicia conversación, pero con frecuencia monopoliza el tema, no respeta turnos interrumpiendo constante sin ser consiente cuando son los demás los que hablan. Participa en un conocido, pero después no recuerda los nombres. No recuerda los nombres de sus compañeros de clase. Cierta contacto ocular, pero le cuesta mirar y escuchar

al mismo tiempo (desvía la mirada) y presenta dificultades para mirar y hablar a la vez. Buen potencial en nivel cognitivo, conoce conceptos propios de su edad. Elevada actividad motora y en general dificultad para regular su conducta. Baja tolerancia a la demora e importantes dificultades en flexibilidad cognitiva. Problemas de control inhibitorio e importantes dificultades en el control atencional caracterizadas por baja capacidad de mantener la concentración (atención sostenida), dificultades para focalizar la atención en actividades con gran carga estimular (atender la información relevante) y para inhibir la influencia de distractores tanto externos, como propios (atención selectiva). Las dificultades aumentan si las actividades exigen realizar más de una tarea a la vez o alternar entre tareas (atención dividida y alternante). En relación con las capacidades mnésicas, la memoria inmediata es adecuada, mientras que la memoria de trabajo es baja tanto con información presentada auditivamente como de forma visual. El niño tiene también bajos resultados en las pruebas de fluidez verbal y semántica. Desarrollo elevado para su edad de las habilidades visoperceptivas, visoespaciales y visoconstructivas. Elevadas capacidades de razonamiento y abstracción con material presentado visualmente (Centro de Neurorehabilitación y Autonomía Imparables, 2022).

Evaluación Neuropsicológica

La evaluación neuropsicológica se utiliza para examinar las capacidades cognitivas de los individuos, el deterioro de una habilidad en particular o para intentar determinar el área del cerebro que puede haber sido dañada después de una lesión cerebral o condición neurológica. Las pruebas utilizadas en el estudio son unas de las más utilizadas en la evaluación del lóbulo frontal, que ha demostrado funcionalidad alterada en TEA y TDAH.

Espectroscopia Funcional De Infrarrojo Cercano (FNIRS). La espectroscopia es una técnica de neuroimagen no invasiva que puede registrar los cambios en la oxigenación cortical, en otras palabras, la actividad hemodinámica (Venclove et al., 2015). El funcionamiento, brevemente, consiste en la emisión de luz infrarroja a través de diversas fuentes, la cual es absorbida por la sangre y refleja el espectro de la hemoglobina oxigenada (O₂Hb) y hemoglobina desoxigenada (HHb). En este estudio, se empleó el sistema portátil NIRSport (Nirx Medical Technologies, LLC, Berlín) con 16 fuentes y 16 detectores que se colocaron formando 45 canales sobre la corteza prefrontal, la corteza motora y parte del lóbulo parietal superior e inferior (ver Apéndice C).

Evaluación Neuropsicológica De Las Funciones Ejecutivas En Niños (ENFEN).

Es una batería de pruebas que se utiliza tanto para niños sanos de 6 a 12 años, como para niños con retraso madurativo o alteraciones cognitivas (Portellano et al., 2022). Se han aplicado las siguientes pruebas: Sendero gris, Sendero color, Anillas, Fluidez semántica y Fluidez fonológica.

Escala De Inteligencia De Wechsler Para Niños (WISC V). Esta es una de las pruebas más utilizadas para evaluar las capacidades de inteligencia de los niños, en la que las capacidades cognitivas se organizan jerárquicamente. Consta de varias pruebas organizadas en subescalas: Comprensión verbal, Visoespacial, Razonamiento fluido, Memoria de trabajo, Velocidad de procesamiento y Escala total ("WISC-V - Pearson Clinical & Talent Assessment", 2022).

Evaluación Neuropsicológica Con Realidad Virtual NESPLORA. Aula Nesplora es una prueba de evaluación de procesos atencionales, impulsividad y actividad motora para niños de 6 a 16 años. El informe de evaluación incluye el perfil atencional del niño y puede revelar posibles problemas de concentración, falta de autocontrol y exceso de actividad física ("Attention Kids Aula - Nesplora", 2022).

Pruebas Complementarias

Token Test Perspex. El Token Test es conocido como una prueba central en el diagnóstico de afasia debido al alto poder discriminativo para distinguir pacientes afásicos y no afásicos con daño neurológico. El objetivo de esta prueba es evaluar la comprensión verbal de órdenes de complejidad creciente ("Token Test", 2022).

Wisconsin Card Sorting Test. La prueba original de clasificación de tarjetas de Wisconsin se desarrolló para pacientes con daño cerebral. Esta es una prueba de razonamiento cognitivo ("Wisconsin Card Sorting Inspired Task (WCST)", 2022).

Tower of Hanoi. El rompecabezas de la Torre de Hanoi es un clásico en el estudio de la planificación en niños y adultos ("Tower of Hanoi", 2022).

Corsi Task. La prueba de tapping de bloques de Corsi es una tarea de memoria a corto plazo conceptualmente similar a la prueba de intervalo de dígitos ("Corsi task", 2022).

Lumosity.com. Lumosity es una plataforma de entrenamiento cerebral basada en la ciencia, presentado por Lumos Labs, Inc. Los juegos web y móviles de Lumosity están diseñados por científicos para desafiar las habilidades cognitivas básicas ("Lumosity", 2022). En el presente estudio, se utilizaron los siguientes juegos para la evaluación pre y post

tratamiento: Inhibición de respuesta/flexibilidad (Comparación de colores, Fábrica de Robots, Desilusión, Conecta estrellas), memoria de trabajo (Sigue la rana, Hotel Memoria), atención selectiva (En busca de estrellas, Perdido en el vuelo), atención dividida (Carpa diem, A todo vapor) y planificación (A toda vela, Detective de mascotas).

Vanderbilt Assessment Scale NICHQ. Los profesionales de la salud utilizan las escalas de evaluación de Vanderbilt del NICHQ para ayudar a diagnosticar el TDAH en niños de entre 6 y 12 años ("NICHQ Vanderbilt Assessment Scales", 2022).

Parámetros de Estimulación tDCS

La estimulación transcraneal de corriente continua será aplicada por el estimulador clínico DC Stimulator Mobile NeuroConn. Intensidad de la corriente CC de -2000 mA a +2000 mA, desviación del valor nominal: máx. 2 %, compensación de hardware: +/- 10 mA, límite de tensión: máx. +/- 16 V. Los dos electrodos tienen un tamaño de 5x5 cm. Se envuelven en esponjas empapadas en solución salina 0,9%. El ánodo se coloca en F3 (IDL PFC) y el cátodo en Fp2 (rOFC) utilizando el sistema de posicionamiento de electrodos EEG International 10-20. Los electrodos se fijan uniformemente al cuero cabelludo con una correa ancha de goma. El sujeto recibirá aplicaciones diarias de tDCS de 20 minutos, 1 mA, rampa ascendente y descendente de 30 segundos, durante diez días hábiles consecutivos junto con un entrenamiento cognitivo.

Eventos Adversos

La revisión de la literatura brinda apoyo para la seguridad, la tolerabilidad y la aceptabilidad de tDCS en niños y jóvenes para 1-20 sesiones de 20 minutos hasta 2 mA. La guía informa que no hubo efectos adversos graves en más de 18.000 sesiones de estimulación transcraneal DC de baja intensidad en pacientes tanto adultos como pediátricos, así como en población sana. Cuando se informaron efectos secundarios de tDCS, se describieron como leves y transitorios, incluidos hormigueo, picazón y enrojecimiento del cuero cabelludo, por lo que si se siguen las pautas para el procedimiento, el tratamiento con tDCS es una modalidad segura para niños y adolescentes con diversas afecciones neurológicas. (Buchanan et al., 2021).

Ejercicios de Entrenamiento Cognitivo

CogniFit.com

CogniFit ofrece una gama de soluciones digitales para medir y entrenar de manera eficiente las habilidades cognitivas. Para el propósito del estudio se utiliza un programa

personalizado de entrenamiento cognitivo de concentración y atención. Este programa de entrenamiento cerebral permite activar, estimular y rehabilitar las funciones cerebrales relacionadas con la capacidad de percibir y procesar información. Mejorar esta importante área cognitiva puede hacer posible concentrarse mejor por períodos de tiempo más largos, poder hacer más de una tarea a la vez, evitar distracciones y ser más eficiente en su vida diaria. Se adapta automáticamente a cada usuario a medida que entrena ("CogniFit: Leaders in attention and concentration training", 2022).

Programa De Entrenamiento En Planificación

Este libro de laberintos está diseñado para entrenar a niños de 9 a 14 años en habilidades de planificación y estrategias reflexivas de resolución de problemas. Está especialmente recomendado para niños impulsivos con problemas de atención, hiperactividad y baja tolerancia a la frustración. Los laberintos se agrupan en tres niveles de dificultad en función del número de errores e intentos permitidos (Orjales Villar et al., 2007).

Juego atencional CALEIDOSCOPIO

Este es un juego que activa varios aspectos de la atención, la memoria y el razonamiento espacial. Presenta ejercicios de niveles de complejidad creciente, en los que se superponen de tres a siete patrones. (Yuste & Yuste, 2013).

Prueba y entrenamiento en la Teoría de la mente

Para las pruebas se utilizará el Manual Técnico para el Inventario de la Teoría de la Mente y la Batería de Tareas de la Teoría de la Mente. El test ToM (versión corta) consta de 9 situaciones presentadas con imágenes y/o texto y 38 preguntas a las mismas (The Theory of Mind Inventory (ToMI) - 2, 2022). Si un niño falla en los ítems que miden los precursores de la teoría de la mente, sería inútil enseñarle a este niño a comprender las creencias falsas. Por lo tanto, la prueba se utiliza para evaluar el nivel antes de la intervención para determinar las tareas de entrenamiento adecuadas y después de la intervención para evaluar la eficacia de la intervención (Muris et al., 1999).

La prueba de Sally y Anne es una tarea de falsa creencia. Es una historia de tira cómica en la que Sally y Anne se presentan por primera vez: Sally con una canasta frente a ella y Anne con una caja. A continuación, se muestra a Sally colocando una pelota en la canasta y saliendo de la habitación. Luego se muestra a Anne tomando la pelota de la canasta y colocándola en la caja. Después de esto, Sally regresa y se le pregunta al niño: "¿Dónde

buscará Sally su pelota?" Si el niño señala la ubicación anterior de la pelota, pasa la tarea porque reconocen la creencia falsa de Sally. Sin embargo, si señala la ubicación actual de la pelota, falla la tarea al no tener en cuenta la creencia falsa de Sally (Muris et al., 1999).

La prueba de John y Mary (Perner & Wimmer, 1985) evalúa la comprensión de los niños de las creencias de segundo orden. La prueba es una historia actuada en la que dos personajes (John y Mary) son informados de forma independiente sobre el traslado inesperado de un objeto (una furgoneta de helados) a un nuevo lugar. Por lo tanto, tanto John como Mary saben dónde está la camioneta, pero hay un error en la creencia de segundo orden de John sobre la creencia de Mary. John cree que Mary cree que la camioneta todavía está en el lugar anterior. La comprensión de los niños de esta creencia de segundo orden se puso a prueba preguntando: ¿Dónde cree John que irá Mary por el helado? (Muris et al., 1999).

Para el entrenamiento se utilizan tareas de libre acceso desde el sitio web oficial de Theory of Mind Inventory (The Theory of Mind Inventory (ToMI) - 2, 2022): Inventario de Teoría de la Mente: Serie Sabios Sociales - Teoría interpretativa de la mente: Percepción de figuras ambiguas, Enseñanza de la teoría interpretativa de la mente a través de figuras ambiguas y Desambiguación de emociones basada en situaciones. La teoría interpretativa de la mente es una comprensión del sentido común de que el conocimiento es interpretativo y que la mente misma influye en la forma en que se experimenta el mundo. Con respecto a la percepción ambigua de las figuras, generalmente se asume que si se puede admitir que una figura admite múltiples interpretaciones, es equivalente a estimar que una mente puede hacer una interpretación y otra mente puede hacer una interpretación diferente. Comprender figuras ambiguas requiere dominar habilidades de metarrepresentación más básicas y comprensión conceptual de múltiples puntos de vista. La teoría interpretativa de la mente se considera una competencia mental superior, que aparece entre los 5 - 7 años de edad. La ambigüedad emocional basada en la situación es la capacidad de identificar una expresión emocional ambigua basada en un contexto situacional. Cada estímulo visual o acústico puede generar una amplia variedad de percepciones. La misma escena de dos personas moviéndose en la misma dirección puede percibirse como una conducta de persecución o seguimiento, o una sonrisa como una respuesta simpática o sarcástica, y un temblor como una reacción a la ira o al miedo. La práctica de la ambigüedad emocional basada en situaciones está diseñada para entrenar la capacidad de identificar posibles interpretaciones de un evento, elegir un favorito eliminar la ambigüedad (The Theory of Mind Inventory (ToMI) - 2, 2022).

Procedimiento

Las sesiones y la valoración neuropsicológica con, WISC-5, fNIRS, ENFEN y Aula Nesplora son realizadas por profesionales del Centro de Neurorehabilitación y Autonomía Imparables de Almería. Están planeadas dos evaluaciones, antes y después del tratamiento. Se decide que la valoración tanto de tareas mentalistas y de cognición social, como de fluidez verbal/semántica e interferencia (stroop), se realizan en su idioma materno para reducir la posible interferencia de las barreras lingüísticas. Las pruebas adicionales se realizan un mes antes del tratamiento e inmediatamente después de las sesiones, en un entorno informal en el hogar del niño. También se prevé un seguimiento a largo plazo para evaluar la sostenibilidad de los resultados obtenidos. Las sesiones de tDCS se llevarán a cabo de lunes a viernes por la mañana durante dos semanas consecutivas. Todas las sesiones serán grabadas a efectos de la investigación y con el consentimiento firmado de la madre. La línea de tiempo completa del informe de caso se encuentra en la Figura 1 (Apéndice A).

Un mes antes del inicio de la estimulación, se realizan varias sesiones de prueba de entrenamiento cognitivo para familiarizar al niño con las tareas y la correcta planificación de las sesiones. Se aplican cinco sesiones con CogniFit en cinco días consecutivos y un entrenamiento en planificación, atención y teoría de la mente.

Una semana antes de la prueba real, se realiza una prueba de tolerancia y efectos secundarios. Se hacen varios intentos con el dispositivo encendido y apagado. El niño afirma que siente dolor en todos los intentos, pero luego aclara que no es dolor, sino que siente hormigueo. Un poco más tarde, admite que mintió y confirma que podrá realizar la tarea. De esto y del hecho de que después de retirar los electrodos la piel no está enrojecida, se puede concluir que la sensación no es con la intensidad de dolor.

El procedimiento seguirá el protocolo de estimulación eléctrica transcraneal descrito anteriormente. Los puntos de la instalación seleccionada se toman prestados del estudio de Nejati et al. (2017) y siguen el posicionamiento que condujo a los resultados más significativos. Al comienzo de cada sesión, se determina la posición exacta de los electrodos en la cabeza del sujeto (EZ-EEG, 2022). Las bandas de goma se aprietan en la cabeza y los electrodos en esponjas bien empapadas con solución salina se colocan debajo de ellas. Se enciende el estimulador y comienza el entrenamiento cognitivo frente a un portátil. El primer ejercicio de cada día será un programa de entrenamiento personalizado de CogniFit de 12 minutos. Cada entrenamiento incluye 2 juegos de 4 minutos y una evaluación realizada en línea. Después de cada sesión sale un informe con el progreso. En los aproximadamente 8

minutos restantes de cada día se alternarán el entrenamiento en estrategias de planificación, juego atencional y el entrenamiento en la teoría de la mente. Estas tareas se realizan con papel y lápiz, y en adición existen aplicaciones digitales para las tareas de teoría de la mente.

En los primeros días hábiles tras la finalización de las sesiones se realizará una nueva evaluación con fNIRS, WISC-5 (solo las pruebas del índice Memoria de trabajo) y Aula Nesplora, así como con las pruebas adicionales.

Resultados

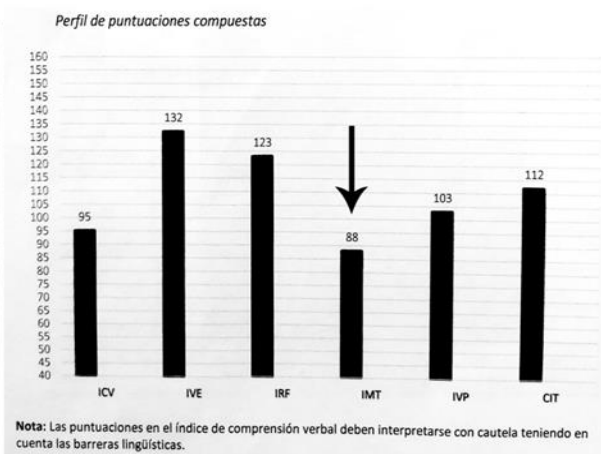
Los resultados más significativos de la evaluación neuropsicológica muestran una mejora en la memoria de trabajo y los procesos de atención, así como una reducción significativa de la actividad motora. Como se observa en la Figura 2, el niño tiene un rendimiento medio y alto en casi todas las escalas, excepto dos de los índices.

Figura 2

Resultados de los índices del WISC-5

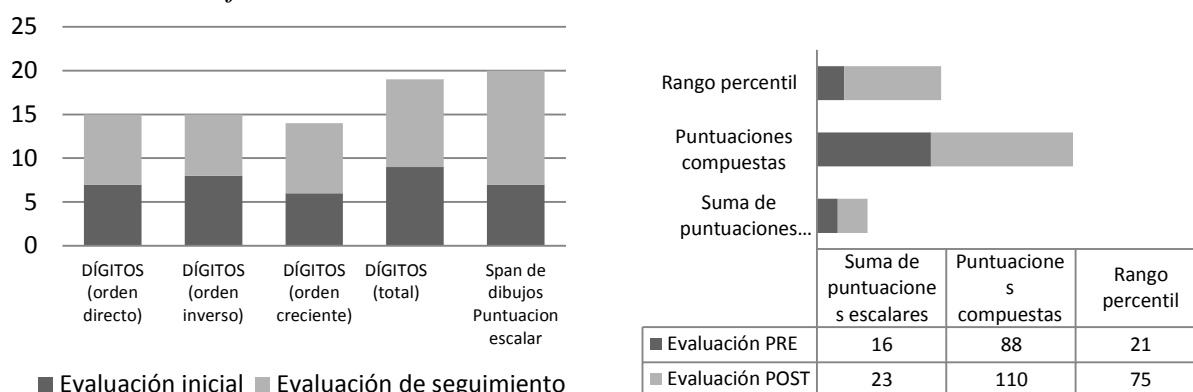
Conversión de puntuaciones escalares a puntuaciones compuestas

Escala	Suma punt. escalares	Puntuación compuesta		Rango percentil	Intervalo de confianza 95%
Comprensión verbal	18	ICV	95	37	87-104
Visoespacial	31	IVE	132	98	120-137
Razonamiento fluido	28	IRF	123	94	114-129
Memoria de trabajo	16	IMT	88	21	81-97
Velocidad de procesamiento	21	IVP	103	58	94-112
Escala total	82	CIT	112	79	105-118



Nota. Las puntuaciones del índice de comprensión verbal deben interpretarse con cautela teniendo en cuenta las barreras lingüísticas. Adaptado de *Conversión de puntuaciones escalares a puntuaciones compuestas* y *Perfil de puntuaciones compuestas*, del informe clínico de evaluación *Imparables*, 2022

En la evaluación inicial, las puntuaciones más bajas se obtuvieron en la escala de memoria de trabajo, evaluada mediante pruebas de dígitos directos e inversos y el span de dibujos, por lo que se decidió que esta sería el área prioritaria de tratamiento. Las diferencias en las puntuaciones entre la primera y la segunda evaluación aparecen en las siguientes gráficas (Véase Figura 3).

Figura 3*Memoria de trabajo*

Nota. Intervalo de confianza: EvPRE: 81-98; EvPOST: 101-117

La memoria de trabajo es un sistema multicomponente que incluye varios procesos de todos los dominios: memoria, atención, inhibición y flexibilidad, que se sustentan principalmente en los lóbulos frontales. Todos estos procesos constituyen las funciones ejecutivas, que en las teorías más generales y menos reduccionistas se solapan con el concepto de capacidad de memoria de trabajo y atención ejecutiva y son esenciales para que los individuos controlen y actualicen su comportamiento (Pasqualotto et al., 2021). Los resultados del estudio con las pruebas de WISC-5 muestran una mejora significativa en el índice de memoria de trabajo, lo que arroja datos positivos a favor de la hipótesis original.

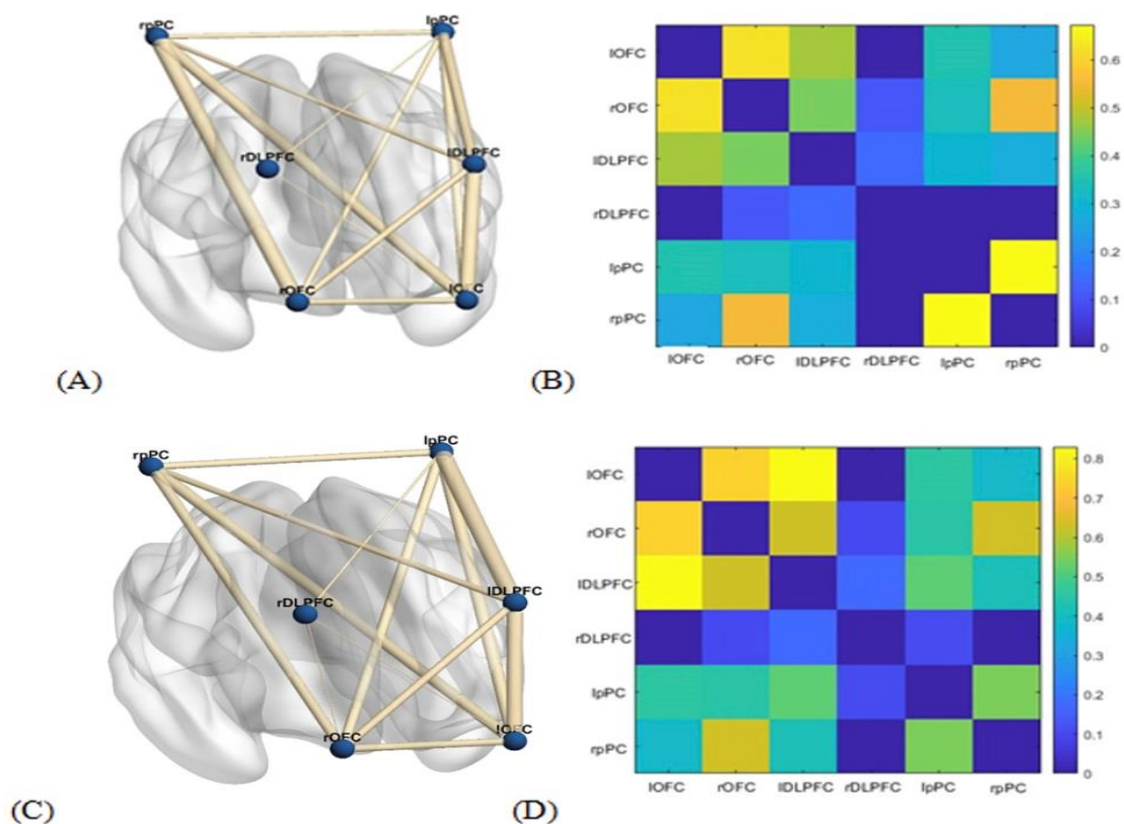
En el estudio, se registró la actividad hemodinámica del participante en estado de reposo con fNIRS. Se colocó el casco con el montaje y se instruyó al participante a permanecer lo más quieto posible durante 8 minutos, sentado en una silla mientras miraba un punto de fijación situado en una pantalla de ordenador colocada justo delante de su cara. En el estudio se definieron seis áreas cerebrales de interés: la corteza orbitofrontal, la corteza dorsolateral y la corteza parietal posterior de los hemisferios derecho e izquierdo. Se calculó la conectividad funcional entre todas las combinaciones posibles de estas áreas. La conectividad funcional es una medida de la sincronía de las áreas cerebrales, y se define como el valor de la correlación de Pearson entre los cambios espontáneos en la concentración de oxihemoglobina que ocurren durante el registro en reposo. El cálculo de esta medida se realizó con la herramienta de análisis basada en MATLAB “Brain AnalyzIR toolbox” (Santosa et al., 2018).

Tras la intervención encontramos un aumento de conectividad funcional entre todas las áreas cerebrales, es decir, un aumento en la correlación entre los cambios en oxigenación

durante el registro en reposo (Figura 4). Este aumento es indicativo de una mayor sincronía entre las regiones analizadas tras la combinación de estimulación y entrenamiento cognitivo. Los cambios más notorios se produjeron entre las cortezas orbitofrontal y dorsolateral del hemisferio izquierdo ($R_{pre} = 0,48$, $R_{post} = 0,83$), entre las cortezas orbitofrontal derecha (rOFC) y dorsolateral izquierda (IDLPFC) ($R_{pre} = 0,44$, $R_{post} = 0,63$), entre la corteza parietal posterior izquierda (lpPC) y IDLPFC ($R_{pre} = 0,30$, $R_{post} = 0,52$) y entre la corteza parietal posterior derecha (rpPC) y IDLPFC ($R_{pre} = 0,28$, $R_{post} = 0,42$).

Figura 4

Representación gráfica de los resultados de conectividad funcional en reposo



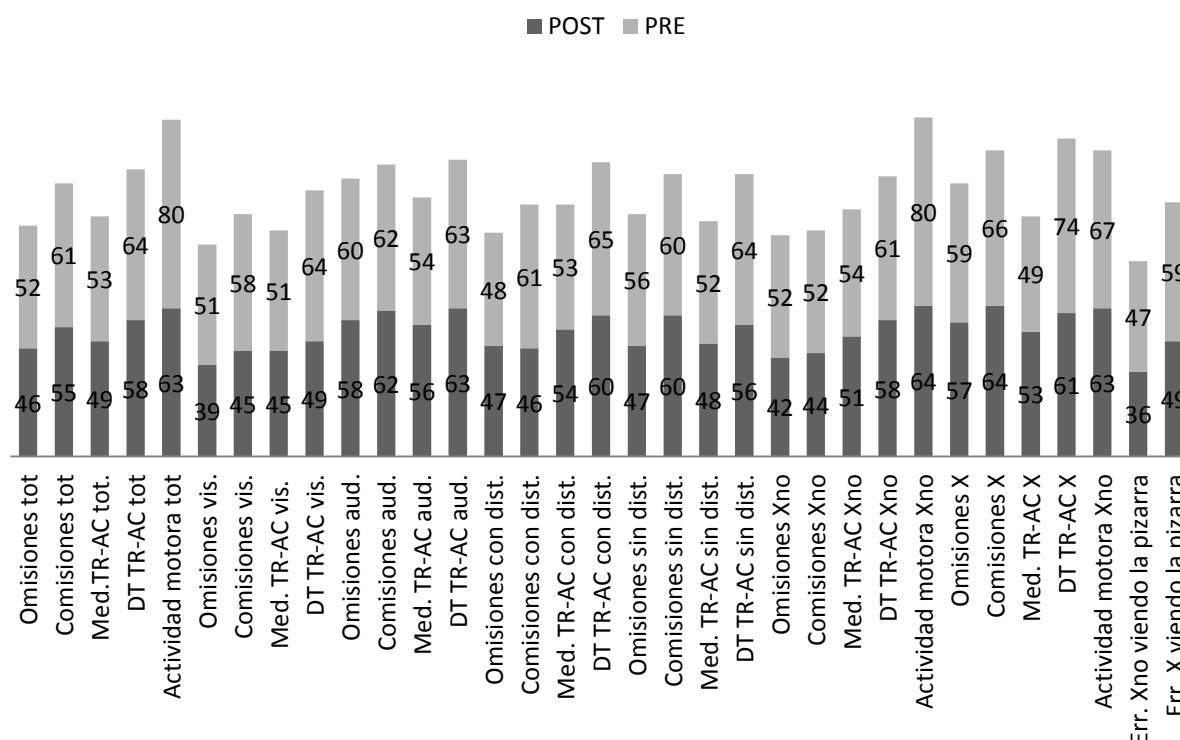
Nota. (A) Representación visual de los valores de correlación estadísticamente significativos de la sesión pre-intervención. (B) Matriz de correlación en la sesión pre-intervención. (C) Representación visual de los valores de correlación estadísticamente significativos de la sesión post-intervención. (D) Matriz de correlación en la sesión post-intervención. En las figuras A y C, un mayor grosor de las líneas indica un mayor valor de la correlación.

En continuación se presentan los datos obtenidos de las pruebas con realidad virtual Aula NESPLORA. Este test de ejecución continua permite valorar los procesos atencionales y de autorregulación de conducta de forma exhaustiva. Se observan mejoras en todas las áreas.

Las diferencias más significativas están en la reducción de la actividad motora innecesaria, el aumento de las respuestas correctas y disminución de respuestas incorrectas: comisiones (cuando se emite respuesta en ausencia del estímulo diana). Las siguientes Figura 5, Figura 6 y Figura 7 presentan los datos de la evaluación inicial y posterior.

Figura 5

Puntuaciones típicas normalizadas



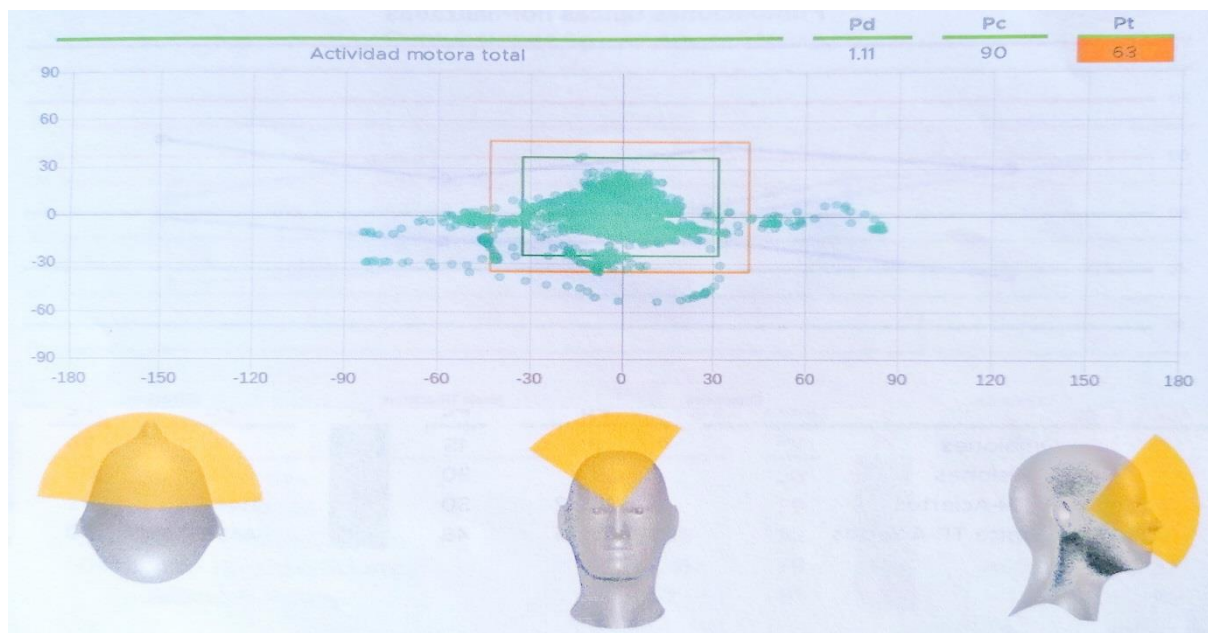
Nota. tot-total; Med.-media; TR-tiempo de respuesta; AC-aciertos; vis.-visual; aud-auditivo. Rendimiento: 20-30 muy alto; 31-40 alto; 41-60 normal; 61-70 bajo; 71-80 muy bajo.

El primer resultado que cae en el rango de rendimiento bajo es el índice comisiones totales. Estos tipos de errores pueden interpretarse como medidas de falta de inhibición de la respuesta o descontrol motor. En la evaluación preliminar, el niño muestra un puntaje bajo de 61 puntos o 87 percentiles. Sin embargo, en las pruebas posteriores, el resultado ya entra dentro del rendimiento normal con 55 puntos (percentil 48).

El segundo índice con una puntuación baja es la desviación típica (DT) del tiempo de respuesta (TR) al número total de aciertos (AC). La desviación del tiempo de reacción es una medida de variabilidad o inconsistencia de respuesta. El resultado obtenido por primera vez es de 64 puntos y se encuentra en el percentil 92. Esto muestra un rendimiento bajo y puede interpretarse como una vigilancia reducida. En la segunda valoración, este resultado se normaliza con 58 puntos (percentil 80).

Figura 6*Evaluación inicial: Actividad motora total y foco atencional*

Nota. Adaptado de *Actividad Motora Total*, Del Informe De Evaluación De Perfil Atencional Aula NESPLORA, 2022

Figura 7*Evaluación posterior: Actividad motora total y foco atencional*

Nota. Adaptado de *Actividad Motora Total*, Del Informe De Evaluación De Perfil Atencional Aula NESPLORA, 2022

De los demás indicadores, cabe mencionar el índice de los canales sensoriales. Según el informe el niño responde mejor a los estímulos visuales y en la segunda evaluación ha mejorado su rendimiento en DT TR-AC, que ya está normal. No hay mucha diferencia en el canal auditivo, excepto por la reducción en el número de errores de omisión, que van desde un rendimiento bajo en la primera evaluación hasta el rango normal de desempeño con 58 puntos en la segunda evaluación.

El resultado con rendimiento más bajo es la actividad motora. Este índice muestra si el sujeto ha movido la cabeza poco o mucho, o innecesariamente. En la valoración inicial el resultado está en el percentil 99 respecto a la muestra normal. Su puntuación de 80 puntos normalizados típicos no solo es muy baja, es la peor posible. Sin embargo, en la evaluación posterior el niño muestra un resultado mucho mejor. Sesenta y tres puntos todavía se clasifican en el rango 61-70 o bajo rendimiento, pero esta vez el resultado está en el límite inferior del rango o cerca de la norma en comparación con la población de su edad y género.

Los diagramas representan una imagen visual de la atención del niño en el área de las tareas visuales mediante el análisis del movimiento de la cabeza. El índice de actividad motora también puede reflejar la tendencia a distraerse por estímulos externos (con distractores), la actividad estéril motora (sin distractores) o cuando existe poca actividad, pero mala ejecución: distractores internos (pensamientos). La figura 6 muestra una atención muy dispersa y calidad del foco dependiendo de las distracciones tanto internas como externas. En la Figura 7 ya se observa la mejora significativa en la actividad motora.

Los resultados de la evaluación preliminar del cuestionario NICHQ corresponden al subtipo combinado de Inatención/Hiperactividad/Impulsivo del TDAH con puntuación total de síntomas 53 (máximo 54) y puntuación media de rendimiento 3,5 (entre media y problema pequeño). La evaluación del trastorno negativista desafiante también mostró una puntuación muy alta con una puntuación de síntomas de 21 (máximo 24). Las pantallas de trastorno de conducta y ansiedad/depresión tienen puntuaciones muy bajas (12 de 42) y bajas (5 de 21).

Sin embargo, después del tratamiento hubo una mejora significativa en todos los síntomas. La puntuación total de los síntomas ya es 34 y los resultados indican que el subtipo ha cambiado de combinado a predominantemente hiperactivo/impulsivo de TDAH. Ya no se cumplen los criterios del subtipo inatento. La puntuación media del rendimiento es 2,9 que corresponde a nivel medio - medio alto. Ambas pantallas, Trastorno de Conducta y Ansiedad/Depresión, ya tienen puntuaciones muy bajas, 5 (42) y 3 (21), respectivamente. La mejoría más significativa se encuentra en la sintomatología del trastorno negativista desafiante, que va de una puntuación muy alta a una puntuación baja (10 sobre 24). En

conclusión, los resultados de este cuestionario conductual reflejan cambios significativos en el comportamiento social del niño, lo que repercute positivamente en todos los aspectos de la vida escolar y cotidiana según la madre.

PsyToolkit es un conjunto de herramientas de uso gratuito para demostrar, programar y realizar experimentos e investigaciones cognitivo-psicológicas. Para el estudio se utilizaron versiones computarizadas de las pruebas de la Torre de Hanoi, la tarea de Corsi y la prueba de clasificación de tarjetas de Wisconsin. La prueba de tapping de bloques de Corsi, que evalúa la memoria a corto plazo, no muestra ninguna diferencia. El cambio más significativo está en la prueba de la Torre de Hanoi que evalúa la capacidad de planificación y tiene una mejora del 50%. Analizando el resultado de Wisconsin, vemos que no hay diferencia en el número total de errores, pero los perseverantes se han reducido un poco, lo que puede interpretarse como una ligera mejora en la flexibilidad y la adaptabilidad a los cambios. Los resultados obtenidos de la evaluación PRE y POST se pueden ver en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

Resultados PsyToolkit

Prueba	PRE	POST
Corsi	5	5
Torre de Hanoi	20 movimientos	10 movimientos
Wisconsin Card Sorting Test	Errores total 12 (20%)	Errores total 12 (20%)
	Err. Perseverante 9 (15%)	Err. Perseverante 8 (13%)
	Err. Non-persevr. 3 (5%)	Err. Non-persevr. 4 (7%)

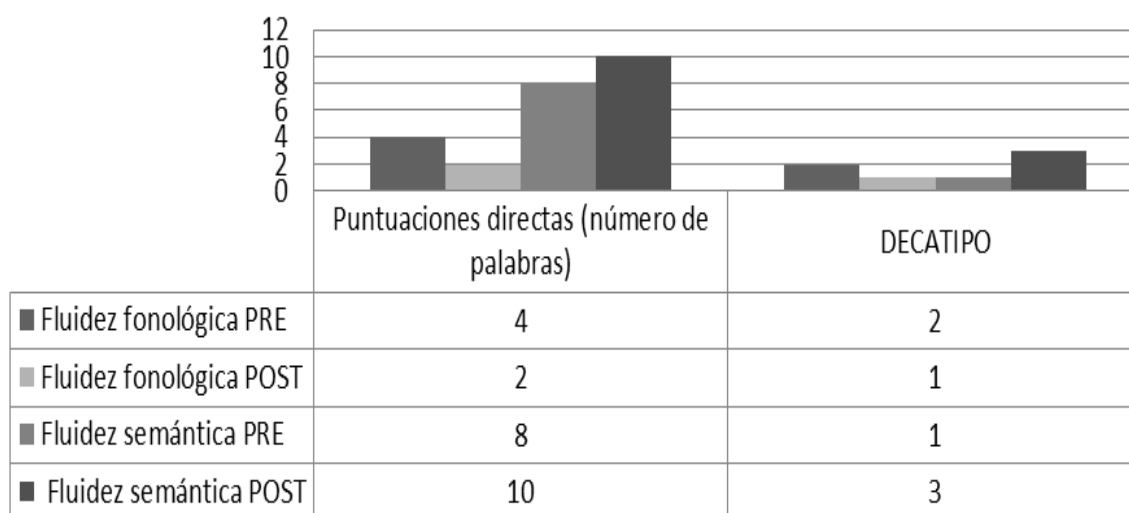
Los resultados de la evaluación inicial con Token Test se encuentran en el percentil 0,5 para su rango de edad. Se observa que la mayoría de los errores no se deben a malentendidos, sino a falta de atención e impulsividad, porque el niño luego corrige sus respuestas. En la evaluación de seguimiento después del tratamiento, ya se observó un resultado muy mejorado, cayendo en el percentil 65 para el rango de edad de 9 años. Según las observaciones directas, el mejor resultado se debe probablemente a la mejora de la atención y concentración. El niño ya no se mueve constantemente, no emite sonidos, ni da vueltas en la silla mientras realiza las pruebas.

Los resultados obtenidos en las pruebas de la ENFEN, a excepción de la fluidez fonológica y semántica, son altos (Decatipo 8) en comparación con los baremos correspondientes a su edad cronológica y por ello se decidió realizar las pruebas posteriores únicamente con pruebas de fluidez. Se observó un rendimiento muy bajo en ambas pruebas de

fluidez, incluso después del tratamiento. El descenso de la flexibilidad fonológica es de 4 palabras en las primeras pruebas a 2 en las siguientes, y hay una leve mejora en la flexibilidad semántica, de 8 palabras a 10 en la postevaluación. Las diferencias tampoco son significativas y el rendimiento sigue siendo muy bajo. Los cambios se pueden ver en Figura 8 a continuación. La prueba de interferencia se realizó como parte de la evaluación con los juegos de la plataforma Lumosity.

Figura 8

Pruebas de fluidez fonológica y fluidez semántica



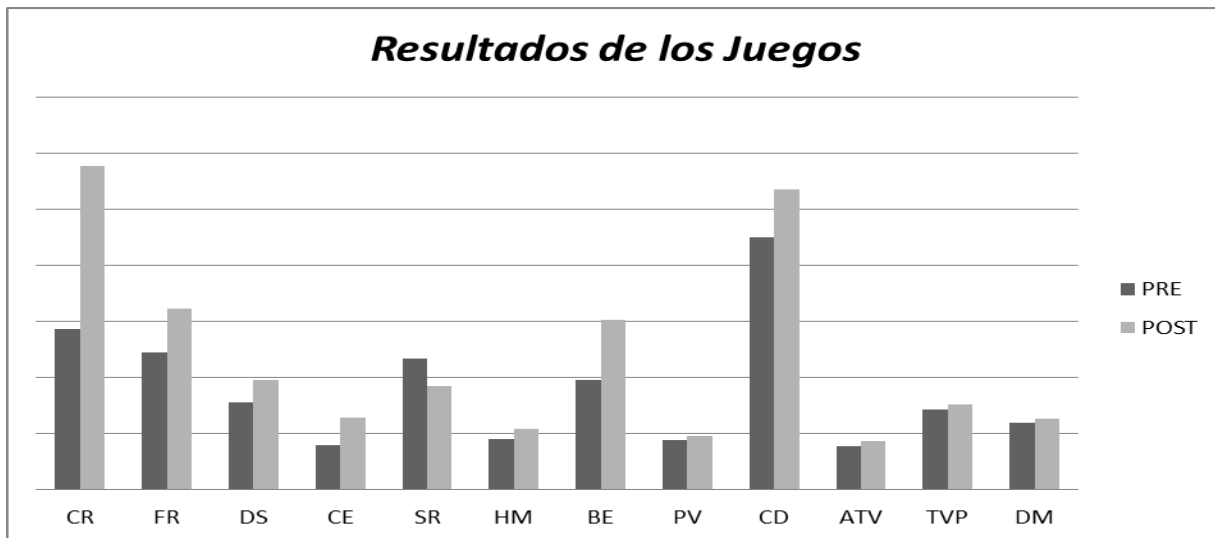
Los juegos de la plataforma Lumosity se utilizan para medir el progreso cognitivo. Estos juegos se basan en pruebas neuropsicológicas clásicas como la prueba STROOP (Comparación de colores), Corsi Cubes (Sigue la Rana), etc., pero debido a que son divertidos de jugar, se eligen como una forma alternativa de evaluar las capacidades cognitivas del niño antes y después del tratamiento.

Como se muestra en la Figura 9, la diferencia más significativa está en el resultado del juego de Comparación de Colores (CR), que en realidad es la tarea STROOP. Hay una mejora basada en el número de aciertos, mayor precisión y menor tiempo de respuesta. Este resultado puede favorecer los datos de otras pruebas que muestran una mejora en la capacidad de inhibición.

Otros juegos con resultados muy mejorados son los que miden la atención. La Búsqueda de Estrellas, el juego responsable de la atención selectiva tiene un aumento del 60% y Carpa Diem, que mide la atención dividida, tiene un aumento del 19%. Los datos completos de todos los juegos se pueden encontrar en el Tabla 2 (Apéndice B).

Figura 9

Juegos Lumosity



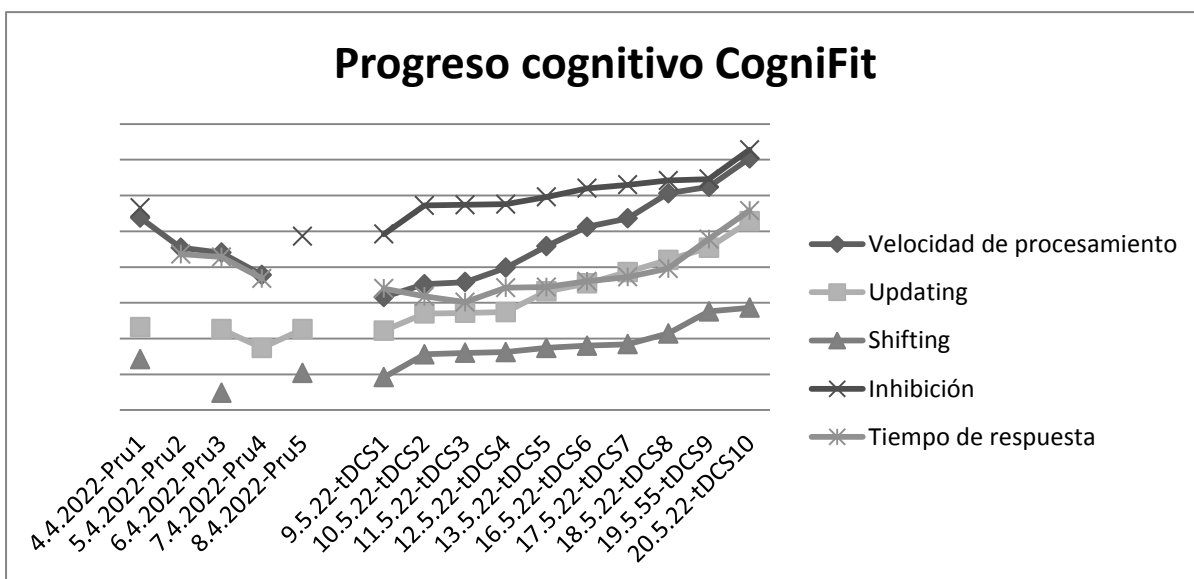
Nota. CR-Comparación de Colores; FR-Fabrica de Robots; DS-Desilusión; CE-Conecta Estrellas; SR-Sigue la Rana; HM-Hotel Memoria; BE-En Busca de Estrellas; PV-Perdido en el Vuelo; CD-Carpa Diem; ATV-A todo Vapor; TVP-A toda Vella; DM- Detective de Mascotas

Progreso del Entrenamiento Cognitivo

Los siguientes gráficos presentan los resultados del progreso durante el entrenamiento cognitivo con y sin estimulación. Cada sesión consta de 2 o 3 ejercicios que incluyen: CogniFit, Entrenamiento en Planificación, Juego de Atención Caleidoscopio y Prácticas de Teoría de la Mente.

Figura 10

CogniFit



Descripción De Las Habilidades Cognitivas Cognifit

Inhibición (I): Capacidad de ignorar estímulos o reacciones irrelevantes mientras se realiza una tarea; Velocidad de Procesamiento (VP): Capacidad de realizar con fluidez tareas fáciles o sobreaprendidas; Tiempo de Respuesta (TR): Capacidad de percibir y procesar un estímulo simple y responder a él; Updating (U): Capacidad de reaccionar de manera flexible y adaptativa para mantenerse al día con los cambios en el entorno; Shifting (S): Capacidad para adaptar el comportamiento y los pensamientos a circunstancias nuevas, cambiantes o inesperadas.

La Figura 10 muestra los resultados del progreso cognitivo del entrenamiento con CogniFit. Las primeras 5 sesiones de prueba se realizaron un mes antes de la intervención, duraron 20 min y no incluyeron estimulación con tDCS. Vemos que los puntos varían y no solo no hay mejora, sino que se observa una clara regresión en dos de las variables (VP y TR).

Tras una pausa de un mes, comienza la intervención propiamente dicha, que tiene una duración de 20 minutos de estimulación de tDCS, de los cuales aproximadamente 12 son de entrenamiento con CogniFit. En esta parte de la gráfica hay un aumento significativo y estable del resultado, incluso con una duración reducida del entrenamiento cognitivo con CogniFit (12 minutos en lugar de 20). La mejora más significativa se observa en el área con el mayor decremento en las sesiones de prueba: Velocidad de procesamiento. Dado que esta es la capacidad de realizar con fluidez las tareas sobreaprendidas y esta capacidad debe aumentar con cada sesión (no disminuir, como en el caso de las pruebas), podemos concluir que la estimulación tDCS ayuda a normalizar el proceso de aprendizaje y condicionamiento de hábitos, que es un punto clave en la formación de habilidades. La otra habilidad con avances significativos es el Updating, que también está relacionado con la flexibilidad. El comportamiento adaptativo es esencial para el funcionamiento diario y es uno de los cambios patológicos en el autismo. Cualquier mejora en los síntomas nucleares del trastorno probablemente contribuiría a la mejora general del trastorno, por lo que es necesario seguir investigando los hallazgos de tales estudios.

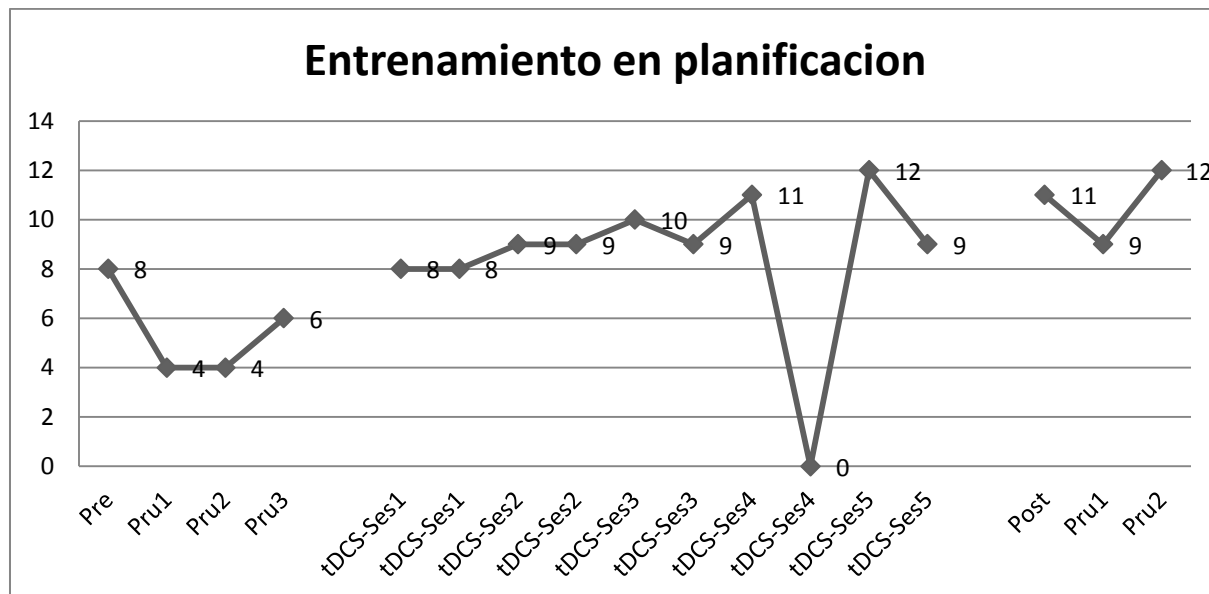
El resto de las habilidades también muestran una mejora significativa, entre un 50 y un 100%. Además, en todas las capacidades entrenadas el cambio es más claramente visible a partir de la 5-6ª sesión.

La siguiente Figura 11 del Entrenamiento en Planificación también muestra un aumento constante. La única excepción es uno de los laberintos en la 4ª sesión, cuando el niño literalmente se bloqueó y se negó a trabajar debido a la mayor complejidad de la tarea. Sin

embargo, en la siguiente última sesión, ambos laberintos tenían el mismo nivel de dificultad y el niño logró su primera puntuación máxima.

Figura 11

Programa de Entrenamiento en Planificación



En la evaluación preliminar el niño recibe 8 puntos, correspondientes al 67%, y en la evaluación posterior recibe 11 puntos o el 92%, casi el resultado máximo. Posteriormente, se realizan dos pruebas más con laberintos con un nivel de dificultad superior en las que el niño vuelve a conseguir los máximos resultados. El cálculo del resultado incluye, además del nivel de dificultad, el tiempo de ejecución, caminos prohibidos, callejones sin salida o chocar con las paredes, y el entrenamiento en sí incluye entrenamiento en estrategias básicas como lectura fragmentaria de instrucciones, evaluación de errores y autoinstrucción. Como el niño muestra excelentes resultados en el post-test, y además logra un alto resultado en pruebas posteriores con laberintos con mayor nivel de dificultad, se puede concluir que no solo aprendió estrategias efectivas, sino que también redujo su impulsividad, porque antes su impulsividad le impedía detenerse y analizar todas las posibilidades, lo que le hacía cometer más errores, perder más tiempo y, en consecuencia, obtener un resultado inferior.

Caleidoscopio presenta ejercicios de superposición de patrones de dificultad creciente según el número de patrones superpuestos, patrones superpuestos del mismo color, y/o patrones superpuestos consecutivos o invertidos arriba/abajo. Este juego desencadena procesos básicos de atención selectiva, memoria de trabajo y pensamiento espacial, porque el niño, al identificar parte del modelo, debe reconocer el todo, guardarlo en la memoria y compararlo con otros modelos. Al tratarse de un juego de creciente complejidad y exigencia, también se pone a prueba el nivel de perseverancia o atención sostenida.

Tabla 3*Resultados del juego atencional Caleidoscopio*

Sesión	Completados Patrones	Tiempo Total	Tiempo Dibujo	Tiempo Patrón	Errores
Pre-Evaluación	13 3	8 min.	34 sec.	11,4 sec.	0 (39)
S1 NM	11 4	7 min.	38 sec.	9,5 sec.	0 (44)
S2 NS	14 4	8, 30 min.	36, 4 sec.	9, 1 sec.	1 (56)
S3 NS	7 5	6, 50 min.	58, 6 sec.	11, 7 sec.	3 (35)
S4 NM	12 5	8 min.	40 sec.	8 sec.	0 (60)
S5 MD	6 6	7 min.	70 sec.	11, 7 sec.	0 (36)
Post-Evaluación	20 3	8 min.	24 sec.	8 sec.	0 (60)

Nota. NM-nivel medio, NS-nivel superior, MD- ejercicio con mayor dificultad.

Analizando los resultados obtenidos (Tabla 3) de la evaluación preliminar y posterior, podemos ver una mejora del 54% en base a la cantidad de dibujos con 3 patrones completados, así como una reducción del 30% en el tiempo de ejecución. Las mejoras en los procesos de atención, memoria de trabajo y velocidad de procesamiento de la información coinciden con los resultados obtenidos en la valoración con las pruebas del Índice de Memoria de Trabajo de WISC-5, Aula Nesplora, CogniFit y Lumosity.

El resultado obtenido de la valoración inicial con el Inventario de la Teoría de la Mente es de 38, que corresponde a un rango de edad de 5 a 6 años. La valoración posterior se encuentra en el rango de su edad cronológica (9 a 10 años) con unos 65 puntos.

El niño pasó la prueba inicial de la historia de Sally-Ann, pero cabe señalar que vaciló y cambió su respuesta varias veces. En la prueba posterior al tratamiento, el niño pasó la prueba y explicó por qué esa era la respuesta correcta (no sabía porque no estaba en la habitación).

El niño falló la prueba de John y Mary la primera vez, pero tuvo éxito en la evaluación posterior. Cabe señalar que cuando se le administró la prueba, el niño comenzó a decir en voz lo que estaba pensando en búsqueda lógica de la pregunta: ¿Dónde cree John que irá Mary por

el helado? La verbalización del niño sonaba más o menos así: ¿Dónde está el camión de helados? ¿Y dónde están John y Mary? No están juntos. John ya está en la heladería de la playa, no en el parque. Tiene que llamar a Mary para decirle que el helado está aquí. Pero Mary lo sabe. ¿Qué debo decir ahora? John no sabe que Mary lo sabe. Tiene que llamarla para que venga.

En conclusión, podemos decir que el niño trata de llegar a las respuestas correctas en todas las tareas de la Teoría de la mente a través del pensamiento lógico, no intuitivo.

Discusión y Conclusiones

El presente estudio investigó los efectos de la modulación de la actividad cortical de las regiones de la corteza prefrontal (IDLDFC y rOFC) en la mejora de las funciones ejecutivas en un niño con TEA mediante estimulación eléctrica transcranial de corriente continua. Los datos del presente estudio están replicando los resultados del estudio de Nejati et al. (2017) en el que se investigan la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva, la alternancia de tareas y el cambio de atención con el mismo montaje. Los autores (Nejati et al., 2017) encontraron un rendimiento significativamente mejorado en estas funciones ejecutivas. De acuerdo con su estudio (Nejati et al., 2017), el efecto de mejora de la tDCS anódica IDLDFC / catódica rOFC podría explicarse por el aumento del control cognitivo: menos impulsividad y más control inhibitorio y la mejora de la atención dividida, lo que conduce a la regulación del control atencional de arriba hacia abajo.

Otros estudios de los siguientes autores Auvichayapat et al., (2022), Qiu et al., (2021) y D'Urso et al., (2022) también utilizan tDCS DLDFC anódica pero el cátodo se coloca en el hombro derecho. Los resultados mostraron una mejora en la puntuación de la subescala social ATEC en correlación con aumentos de las concentraciones de N-acetileaspartato (NAA)/creatina (Cr), y disminución de las concentraciones de colina (Cho)/Cr en el IDLDFC y locus coeruleus (Auvichayapat et al., 2022), resultados significativamente reducidos de CARS y ABS (Qiu et al., 2021) y mejoras significativas en todas las escalas de ADOS-2, y también mejoras inesperadas en epilepsia y tics comórbidos (D'Urso et al., 2022).

Otra investigación interesante, que utiliza el mismo montaje, intensidad de corriente (1 mA) y duración de la sesión (20 min), como en el presente estudio, demuestra cómo la tDCS modula la conectividad cerebral funcional en el autismo. Zhu et al. (2020) utilizaron equipos EEG para registrar la actividad cortical continua antes y después de la estimulación tDCS. Ambos registros se realizaron durante una condición de reposo con los ojos abiertos de los pacientes. El primer hallazgo interesante fue que se observó una configuración de red rápida

de uniones de red dinámicas (detectadas al aumentar la flexibilidad de la red) después de tDCS. El segundo resultado fue que la red específica de frecuencia inducida por tDCS, como una forma de indexar el procesamiento de información local y global, enfatiza la modulación básica en la arquitectura modular de los modelos de conectividad funcional dentro de las bandas de frecuencia más altas (alfa, beta y gamma). En particular, hay un aumento en la conectividad en las áreas entre los hemisferios dentro de la banda alfa (8-13 Hz) después de tDCS (Zhu et al., 2020).

La técnica de neuroimagen fNIRS utilizada en el presente estudio también proporciona hallazgos alentadores basados en una mayor conectividad funcional entre diferentes áreas del cerebro, particularmente en los lóbulos prefrontales. El aumento después del tratamiento combinado de tDCS y entrenamiento cognitivo es indicativo de una mayor sincronización entre las regiones analizadas. Los cambios más notables ocurrieron entre la corteza orbitofrontal y dorsolateral de ambos hemisferios, pero principalmente en el lado izquierdo, donde tenía lugar la estimulación de tDCS. El resultado es consistente con los hallazgos del estudio de Zhu et al., (2020), donde también se detecta un aumento de la conectividad cerebral tras tDCS, aunque con una técnica que refleja la coherencia eléctrica por EEG.

En conclusión, los datos obtenidos apoyan la hipótesis de que la estimulación de los lóbulos frontales (IDL PFC y rOFC) junto con el entrenamiento cognitivo de los subdominios que construyen la memoria de trabajo podían mejorar los procesos cognitivos básicos en individuos con TEA y TDAH al aumentar la conectividad funcional entre estas regiones. Esto conduce a una mejor sincronización entre los diferentes centros cerebrales responsables de planificación, ejecución, monitorización y autorregulación del comportamiento dirigido a meta. El avance respalda tanto la teoría de la disfunción ejecutiva como la hipótesis de la conectividad temporal alterada, mostrando mejoras en las funciones cognitivas y una mayor conectividad entre las redes globales.

Por otra parte, los puntos débiles del estudio están relacionados con el hecho de que se trata de un caso único, sin sujetos de control para ser utilizados para la comparación. Por lo tanto, es imposible excluir la posibilidad de que el participante haya mejorado debido a factores distintos a la estimulación cerebral, como la maduración. Aunque cabe destacar, que el niño estudiado ha vivido en un ambiente diverso con diferentes estímulos, ha pasado por diferentes entrenamientos durante los años de desarrollo, pero ninguno de ellos condujo a mejoras tan drásticas y evidentes en su funcionamiento en tan poco tiempo. Se necesitan datos longitudinales de evaluaciones *ex post* para evaluar la durabilidad de la eficacia del tratamiento.

Referencias bibliográficas

- American Psychiatric Association. (2013). Neurodevelopmental disorders. *In Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.)*. <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596.dsm05>.
- Attention Kids Aula - Nesplora. Nesplora. (2022). Retrieved 4 May 2022, from <https://nesplora.com/producto/attention-kids-aula/>.
- Auvichayapat, N., Patjanasootorn, N., Phuttharak, W., Suphakunpinyo, C., Keeratitanont, K., & Tunkamnerdthai, O. et al. (2022). Brain Metabolite Changes after Anodal Transcranial Direct Current Stimulation in Autism Spectrum Disorder. *Front Mol Neurosci*. 13(70). <http://doi.org/10.3389/fnmol.2020.00070>.
- Baron-Cohen, S., Leslie, A., & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a “theory of mind”? *Cognition*, 21(1), 37-46. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(85\)90022-8](https://doi.org/10.1016/0010-0277(85)90022-8).
- Belmonte, M., Allen, G., Beckel-Mitchener, A., Boulanger, L., Carper, R., & Webb, S. (2004). Autism and Abnormal Development of Brain Connectivity. *Journal Of Neuroscience*, 24(42), 9228-9231. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.3340-04.2004>.
- Benallie, K. J., McClain, M. B., Bakner, K. E., Roanhorse, T., & Ha, J. (2021). Executive functioning in children with ASD + ADHD and ASD + ID: A systematic review. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 86, 101807. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2021.101807>.
- Bogdashina, O. (2006). *Theory of Mind and the Triad of Perspectives on Autism and Asperger Syndrome: A View from the Bridge* (1st ed.). Jessica Kingsley Publishers.
- Buchanan, D., Bogdanowicz, T., Khanna, N., Lockman-Dufour, G., Robaey, P., & D’Angiulli, A. (2021). Systematic Review on the Safety and Tolerability of Transcranial Direct Current Stimulation in Children and Adolescents. *Brain Sciences*, 11(2), 212. <https://doi.org/10.3390/brainsci11020212>.
- Calderón, L., Congote, C., Richard, S., Sierra, S., & Vélez, C. (2012). Aportes desde la teoría de la mente y de la función ejecutiva a la comprensión de los trastornos del espectro autista. *Revista CES Psicología*, 5(1), 77-90. <https://www.imbiomed.com.mx/articulo.php?id=96014>.

CEDE. (2013). *DSM-5: Novedades y Criterios Diagnósticos*. CEDE.

Centro de Neurorehabilitacion y Autonomía Imparables. (2022). Informe Clínico de Evaluación. Almería.

CogniFit: Leaders in attention and concentration training. (2022). Retrieved 4 May 2022, from <https://www.cognifit.com/cognifit/training/index/t/concentration>.

Corsi task. Psytoolkit.org. (2022). Retrieved 4 May 2022, from <https://www.psytoolkit.org/experiment-library/corsi.html>.

D'Urso, G., Toscano, E., Sanges, V., Sauvaget, A., Sheffer, C.E., Riccio, M.P., Ferrucci, R., Iasevoli, F., Priori, A., Bravaccio, C. & de Bartolomeis, A. (2022). Cerebellar Transcranial Direct Current Stimulation in Children with Autism Spectrum Disorder: A Pilot Study on Efficacy, Feasibility, Safety, and Unexpected Outcomes in Tic Disorder and Epilepsy. *J Clin Med*. 11(1), 143. <http://doi.org/10.3390/jcm11010143>.

Echeverry, I. (2010). Ciencia Cognitiva, Teoría de la Mente y autismo. *Pensamiento Psicológico*, 8(15), 113-124. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3339348>.

Enticott, P., Kirkovski, M., & Oberman, L. (2019). Transcranial Magnetic Stimulation in Autism Spectrum Disorder. In *Neurotechnology And Brain Stimulation In Pediatric Psychiatric And Neurodevelopmental Disorders*, 83-113. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812777-3.00005-2>.

EZ-EEG (2022). Clinicalresearcher.org. <http://clinicalresearcher.org/eeg/>.

Frith, U. (1989) *Autism: Explaining the Enigma*. (1st ed.). Oxford: Basil Blackwell.

Griffith, E., Pennington, B., Wehner, E., & Rogers, S. (1999). Executive Functions in Young Children with Autism. *Child Development*, 70(4), 817-832. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00059>.

Happé, F., & Frith, U. (2006). The Weak Coherence Account: Detail-focused Cognitive Style in Autism Spectrum Disorders. *Journal Of Autism And Developmental Disorders*, 36(1), 5-25. <https://doi.org/10.1007/s10803-005-0039-0>.

- Harvey, P., McGurk, S., Mahncke, H., & Wykes, T. (2018). Controversies in Computerized Cognitive Training. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience And Neuroimaging*, 3(11), 907-915. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2018.06.008>.
- Jones, C. R. G., Simonoff, E., Baird, G., Pickles, A., Marsden, A. J. S., Tregay, J., Charman, T. (2017). The association between theory of mind, executive function, and the symptoms of autism spectrum disorder. *Autism Research*, 11(1), 95–109. <https://doi.org/10.1002/aur.1873>.
- Lee, R., Ward, A., Lane, D., Aman, M., Loveland, K., Mansour, R., & Pearson, D. (2021). Executive Function in Autism: Association with ADHD and ASD Symptoms. *Journal of Autism And Developmental Disorders*. <https://doi.org/10.1007/s10803-020-04852-2>.
- Luckhardt, C., Schütz, M., Mühlherr, A., Mössinger, H., Boxhoorn, S., & Dempfle, A. et al. (2021). Phase-IIa randomized, double-blind, sham-controlled, parallel group trial on anodal transcranial direct current stimulation (tDCS) over the left and right tempoparietal junction in autism spectrum disorder—StimAT: study protocol for a clinical trial. *Trials*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s13063-021-05172-1>.
- Lumosity. (2022). Retrieved 4 May 2022, from <https://www.lumosity.com/en/brain-games/>.
- Mannion, A., & Leader, G. (2014). Attention-deficit/hyperactivity disorder (AD/HD) in autism spectrum disorder. *Research In Autism Spectrum Disorders*, 8(4), 432-439. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2013.12.021>.
- Muris, P., Steerneman, P., Meesters, C., Merckelbach, H., Horselenberg, R., van den Hogen, T., & van Dongen, L. (1999). *Journal Of Autism And Developmental Disorders*, 29(1), 67-80. <https://doi.org/10.1023/a:1025922717020>
- Moreno-Duarte, I., Gebodh, N., Schestatsky, P., Guleyupoglu, B., Reato, D., Bikson, M., & Fregni, F. (2014). Transcranial Electrical Stimulation. *The Stimulated Brain*, 35–59. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404704-4.00002-8>.
- Nejati, V., Salehinejad, M., Nitsche, M., Najian, A., & Javadi, A. (2017). Transcranial Direct Current Stimulation Improves Executive Dysfunctions in ADHD: Implications for Inhibitory Control, Interference Control, Working Memory, and Cognitive Flexibility.

Journal Of Attention Disorders, 24(13), 1928-1943.
<https://doi.org/10.1177/1087054717730611>

NICHQ Vanderbilt Assessment Scales. NICHQ - National Institute for Children's Health Quality. (2022). Retrieved 4 May 2022, from <https://www.nichq.org/resource/nichq-vanderbilt-assessment-scales>.

Nitsche, M., & Paulus, W. (2000). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal Of Physiology*, 527(3), 633-639. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00633.x>.

Osório, A., & Brunoni, A. (2018). Transcranial direct current stimulation in children with autism spectrum disorder: a systematic scoping review. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 61(3), 298-304. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14104>.

Orjales Villar, I., Miguel Durán, M., & Ortúñez Rubio, M. (2007). *Programa de entrenamiento en planificación*. Ciencias de la Educación Preescolar y Especial.

Ozonoff, S. (1995). Executive Functions in Autism. In: Schopler, E., Mesibov, G.B. (eds) *Learning and Cognition in Autism. Current Issues in Autism*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1286-2_11.

Palau Baduell, M., Salvadó Salvadó, B., Clofent Torrentó, M., & Valls Santasusana, A. (2012). Autismo y conectividad neural. *Revista De Neurología*, 54(S01), 31. <https://doi.org/10.33588/rn.54s01.2011711>.

Pasqualotto, A., Mazzoni, N., Bentenuto, A., Mulè, A., Benso, F., & Venuti, P. (2021). Effects of Cognitive Training Programs on Executive Function in Children and Adolescents with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review. *Brain Sciences*, 11(10), 1280. <https://doi.org/10.3390/brainsci11101280>.

Perner, J., & Wimmer, H. (1985). "John thinks that Mary thinks that..." attribution of second-order beliefs by 5- to 10-year-old children. *Journal Of Experimental Child Psychology*, 39(3), 437-471. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(85\)90051-7](https://doi.org/10.1016/0022-0965(85)90051-7).

Portellano, J., Martínez Arias, R. y Zumárraga, L. (2022) ENFEN. Evaluación Neuropsicológica de las Funciones Ejecutivas en Niños.

<https://web.teaediciones.com/ENFEN--EVALUACION-NEUROPSICOLOGICA-DE-LAS-FUNCIONES-EJECUTIVAS-EN-NINOS.aspx>.

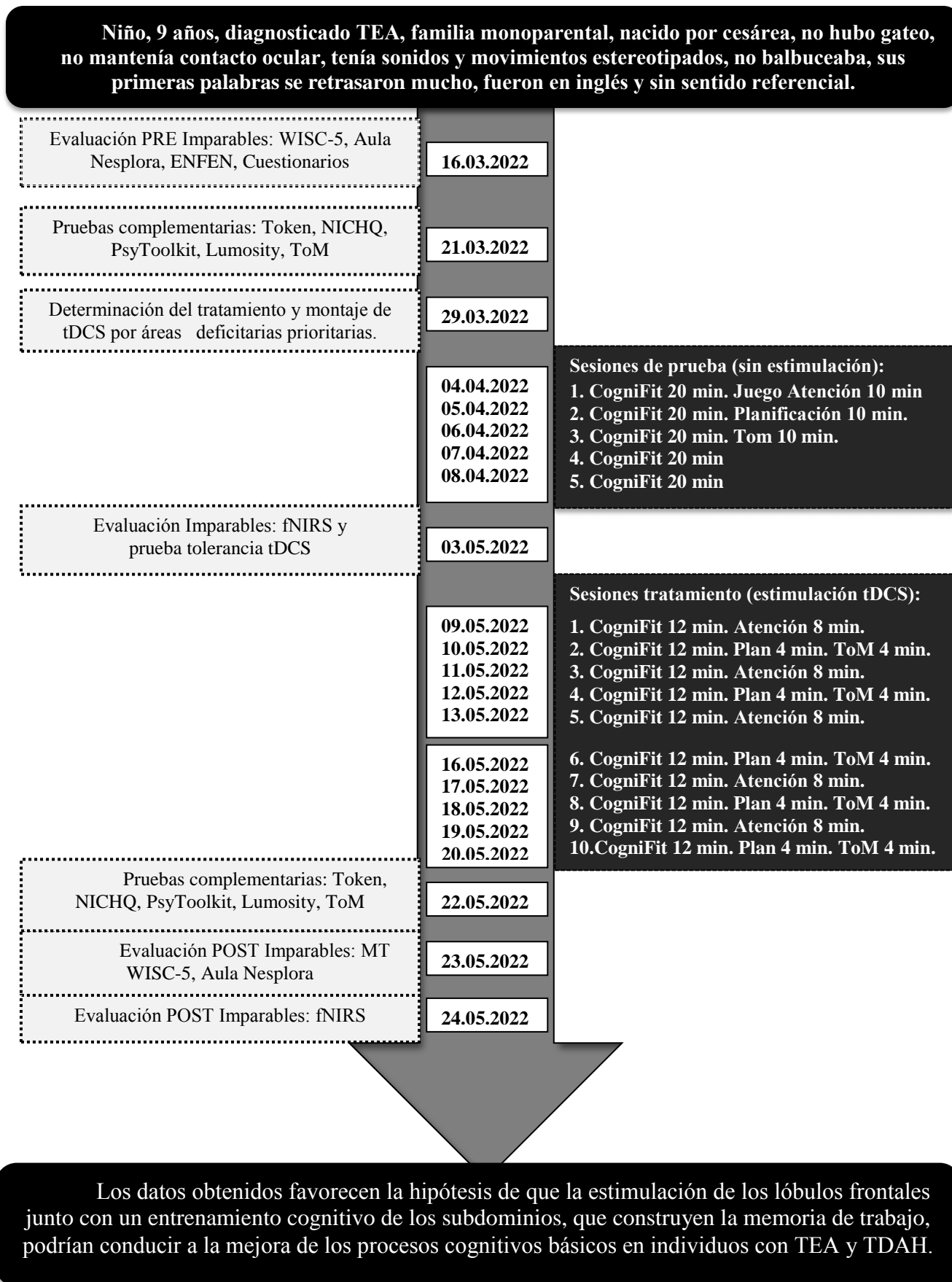
- Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences*, 1(4), 515-526. <http://doi.org/10.1017/S0140525X00076512>.
- Priori, A. (2003). Brain polarization in humans: a reappraisal of an old tool for prolonged non-invasive modulation of brain excitability. *Clinical Neurophysiology*, 114(4), 589-595. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(02\)00437-6](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(02)00437-6).
- Qiu, J., Kong, X., Li, J., Yang, J., Huang, Y., & Huang, M. et al. (2022). Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) over the Left Dorsal Lateral Prefrontal Cortex in Children with Autism Spectrum Disorder (ASD). *Neural Plasticity*. 1-11. <http://dx.doi.org/10.1155/2021/6627507>.
- Rippon, G., Brock, J., Brown, C., & Boucher, J. (2007). Disordered connectivity in the autistic brain: Challenges for the 'new psychophysiology'. *International Journal Of Psychophysiology*, 63(2), 164-172. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2006.03.012>.
- Rong, Y., Yang, C., Jin, Y., & Wang, Y. (2021). Prevalence of attention-deficit/hyperactivity disorder in individuals with autism spectrum disorder: A meta-analysis. *Research In Autism Spectrum Disorders*, 83, 101759. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2021.101759>.
- Santosa, H., Zhai, X., Fishburn, F., & Huppert, T. (2018). The NIRS Brain AnalyzIR Toolbox. *Algorithms*, 11(5), 73. <https://doi.org/10.3390/a11050073>.
- Sciotto, E., & Niripil, E. (2021). *Neurociencias, autismo y neurodesarrollo infantil* (1st ed.). Editorial Bonum.
- Sharma, S., Gonda, X., & Tarazi, F. (2018). Autism Spectrum Disorder: Classification, diagnosis and therapy. *Pharmacology & Therapeutics*, 190, 91-104. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2018.05.007>.
- Stevens, T., Peng, L., & Barnard-Brak, L. (2016). The comorbidity of ADHD in children diagnosed with autism spectrum disorder. *Research In Autism Spectrum Disorders*, 31, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2016.07.003>.

- The Theory of Mind Inventory (ToMI) - 2. Theory of Mind Inventory - 2. (2022). Retrieved 2 May 2022, from <https://www.theoryofmindinventory.com/>.
- Token Test. Tokentest.eu. (2022). Retrieved 4 May 2022, from <https://www.tokenest.eu/en/home>.
- Tower of Hanoi. Psytoolkit.org. (2022). Retrieved 4 May 2022, from https://www.psytoolkit.org/experiment-library/tower_hanoi.html.
- Turner, M. (1997). Towards and executive dysfunction account of repetitive behavior in autism. In J. Russell (Ed.), *Autism as an executive disorder* (pp. 57–100). Oxford: Oxford University Press. <http://doi.org/10.1093/med:psych/9780198523499.003.0003>.
- Veloso, A., Vicente, S., & Filipe, M. (2020). Effectiveness of Cognitive Training for School-Aged Children and Adolescents With Attention Deficit/Hyperactivity Disorder: A Systematic Review. *Frontiers In Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02983>.
- Venclove, S., Daktariunas, A., & Ruksenas, O. (2015). Functional near-infrared spectroscopy: a continuous wave type based system for human frontal lobe studies. *EXCLI Journal*, (14), 1145-1152. <https://doi.org/https://doi.org/10.17179/excli2015-614>.
- Wimmer, H., & Perner, J. (1983). Beliefs about beliefs: Representation and constraining function of wrong beliefs in young children's understanding of deception. *Cognition*, 13(1), 103–128. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(83\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0010-0277(83)90004-5).
- WISC-V - Pearson Clinical & Talent Assessment. Pearson Clinical & Talent Assessment. (2022). Retrieved 4 May 2022, from <https://www.pearsonclinical.es/contenido/wisc-v>.
- Wisconsin Card Sorting Inspired Task (WCST). Psytoolkit.org. (2022). Retrieved 4 May 2022, from <https://www.psytoolkit.org/experiment-library/west.html>.
- Yuste, C., & Yuste, D. (2013). *Caleidoscopio*. Ciencias de la Educación Preescolar y Especial.
- Zhou, T., Kang, J., Li, Z., Chen, H., & Li, X. (2020). Transcranial direct current stimulation modulates brain functional connectivity in autism. *Neuroimage: Clinical*, 28, 102500. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2020.102500>.

Apéndice A

Figura 1

Cronología del informe de caso



Apéndice B

Tabla2

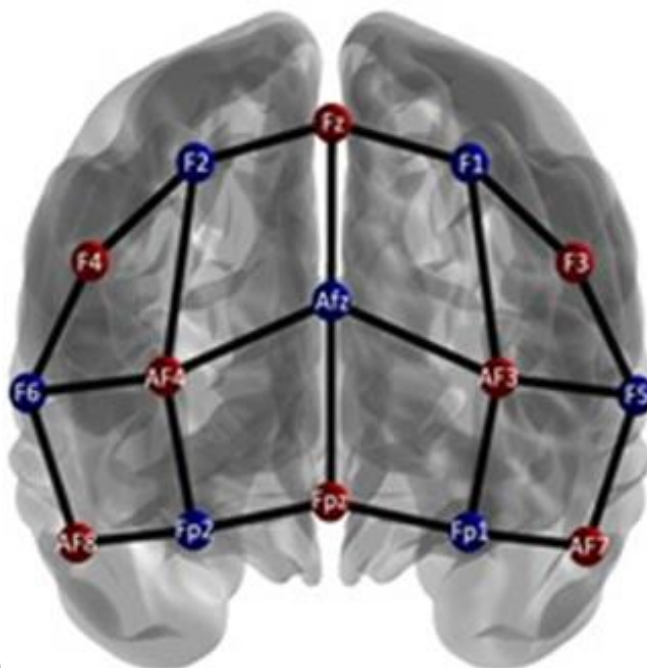
Resultados de los Juegos Lumosity

Juego	PRE	POST
Comparación de colores CR (Inhibición de respuesta)	TR 1428 ms. Precisión 87% (27/31) Puntuación 5750	TR 990 ms. AC 93% (41/44) Puntuación 11 550
Fábrica de Robots FR (Inhibición de respuesta)	TR 463 ms. Robos Completados 8 Incorrectas Evitadas 8/10 Puntuación 48 980	TR 377 ms. Robos Completados 10 Incorrectas Evitadas 12/12 Puntuación 64 560
Desilusión DS (Alternancia de tareas)	Piezas 31 Puntuación 31 000	Piezas 39 Puntuación 39 000
Conectaestrellas CE (Fluidez espacial)	Patrones únicos 9 Puntuación 16 000	Patrones únicos 12 Puntuación 25 700
Sigue la Rana SR (Memoria de trabajo)	Span 4 Puntuación 46 750	Span 3 Puntuación 37 000
Hotel Memoria HM (Memoria de trabajo)	Precisión 78% Correctos 15/19 Puntuación 18 140	Precisión 90% Correctos 20/22 Puntuación 21 760
En Busca de Estrellas BE (Atención selectiva)	Correctos 15/17 Puntuación 39 080	Correctos 21/21 Puntuación 60 510
Perdido en el Vuelo PV (Atención selectiva)	Precisión 96% Correctos 53/55 Puntuación 17 800	Precisión 94% Correctos 56/59 Puntuación 19 100
Carpa Diem CD (Atención dividida)	Precisión 86% Correctos 33/38 Puntuación 89 850	Precisión 87% Correctos 36/38 Puntuación 107 160
A Todo Vapor ATV (Atención dividida)	Correctos 22/27 Puntuación 15 400	Correctos 25/28 Puntuación 17 500
A Toda Vella TVP (Planificación)	Correctos 2/5 Puntuación 28 650	Correctos 3/5 Puntuación 30 300
Detective de Mascotas DM (Planificación)	Correctos 11/11 Extra tiempo 1970 Puntuación 23 970	Correctos 12/12 Extra tiempo 1460 Puntuación 25460

Nota. TR: Tiempo de reacción

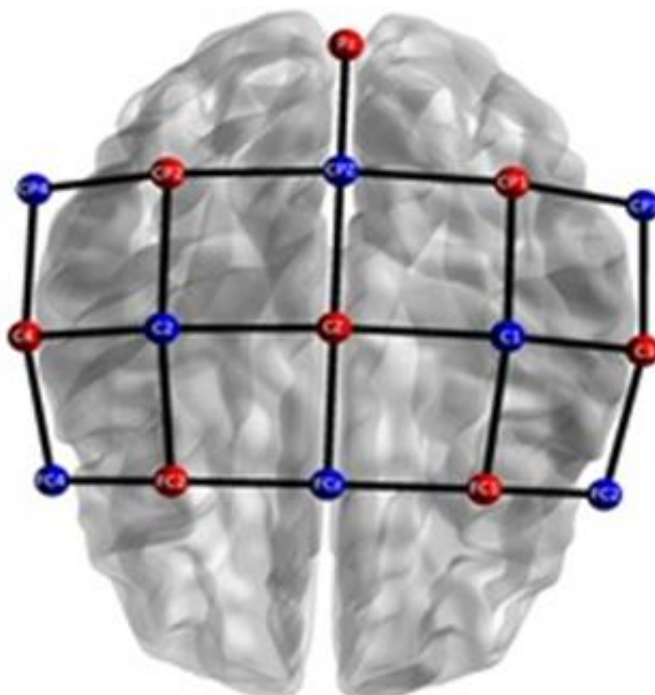
Apéndice C

Montaje empleado en la evaluación de la conectividad cerebral en reposo a través de fNIRS.



(A)

Nota. (A) Visión anterior de la corteza prefrontal.



(B)

Nota. (B) Vista superior de la corteza motora y parte de la corteza parietal.