



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN PSICOLOGÍA
INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA
NEUROCIENCIAS DE LA CONDUCTA

TRATAMIENTO AUDIOMOTOR INTERACTIVO (TAMI) EN NIÑOS CON TRASTORNO
DE APRENDIZAJE EN LA LECTURA

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR EN PSICOLOGÍA

PRESENTA

RODRIGO FLORES GALLEGOS

TUTORA

DRA. THALÍA FERNÁNDEZ HARMONY
INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR

DR. ERICK HUMBERTO PASAYE ALCARAZ
INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA, UNAM
DR. SARAEL ALCAUTER SOLÓRZANO
INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA, UNAM

MÉXICO, QRO. AGOSTO, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi esposa Paulina que siempre me ha apoyado en los distintos proyectos de mi vida, acompañándome en los buenos y malos momentos, pasando conmigo las traspasadas, éxitos y frustraciones. Dedico esta tesis a mi hija Emma por ser una fuente de motivación en mi vida y alguien que me impulsa a ser una mejor persona.

Dedico mi tesis a mis padres Fernando y Leticia por siempre apoyarme en mis estudios y motivarme aun cuando en ocasiones yo no consideraba tener la capacidad de seguir adelante. Agradezco a mis hermanos, Lety y Fer, y a mis suegros Teresa y Fernando por apoyarme sin importar mis decisiones y siempre estar incondicionalmente. También quisiera dedicar esta tesis a mis amigos Andrea, Daniel, Carlos y Alejandra por ser siempre un par de oídos listos para mis quejas, mis exposiciones y apoyar el avance de mi proyecto, a pesar de que este es distinto a sus áreas de interés o conocimiento.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutora principal la Dra. Thalía Fernández Harmony por ser una guía y apoyo durante mis estudios y desarrollo de mi proyecto de investigación. A pesar de ser un área distinta al objetivo del laboratorio me brindó consejo, asesoría y guía para la incursión de un proyecto distinto fuera de su zona de confort.

Agradezco a mis tutores Erick H. Pasaye Alcaraz y Sarael Alcauter Solorzano por ser una fuente de apoyo en el uso de herramientas que desconocía y análisis de datos con los cuales no estaba familiarizado, así como retroalimentarme y motivarme a continuar mi proyecto.

Agradezco a las doctoras Thalía Harmony, María Florencia Assaneo y Gloria Otero Ojeda por su apoyo en la supervisión y retroalimentación sobre mi trabajo de tesis, así como el apoyo ante problemas y planteamientos, aunque estas no fueran parte de sus responsabilidades.

Agradezco a mis compañeros de equipo y del laboratorio Francisca, Bertha, Lucero, Gina, Alejandro, Benito, Ricardo, Monserrat y Mauricio por las diversas veces que escucharon y me ayudaron a darle forma a mi proyecto en distintas áreas de su conocimiento. Quisiera agradecer a los padres y niños que participaron en mi proyecto de investigación, así como el personal de la Unidad de Neurodesarrollo, especialmente a la Lic. Teresa Álvarez sin su apoyo esto no hubiera sido posible.

Quisiera agradecer al Instituto de Neurobiología y el posgrado en Psicología por mi aceptación como estudiante de doctorado y el apoyo administrativo que se me ha brindado constantemente por la Mtra. Leonor Casanova, la Mtra. Daniela Roldán y la Dra. Nuri Aranda. Por último, quisiera agradecer a CONACYT por mi beca nacional (917148) sin esta, la realización de mis estudios no hubiera sido posible.

Tabla de Contenido

- 1. Resumen, 6 - 7
- 2. Antecedentes, 8 - 26
 - 2.1 Proceso de lectura, 8 - 30
 - 2.2 Trastorno de aprendizaje en el lenguaje, 10 - 13
 - 2.3 Alteraciones fonológicas y de discriminación rítmica en el TAL, 13- 14
 - 2.4 Integración rítmica motora e integración sensorial en el TAL, 14 - 17
 - 2.5 Funciones ejecutivas y su relación con el TAL, 17 - 20
 - 2.6 Problema de integración de estructuras que conforman una red neuronal para el proceso de lectura, 21 - 25
 - 2.7 Videojuegos como un tratamiento integrado, 25 - 30
- 3. Método, 31 - 59
 - 3.1 Objetivo General, 31
 - 3.2 Objetivos Particulares, 31-32
 - 3.3 Pregunta de Investigación, 32
 - 3.4 Hipótesis, 32 - 33
 - 3.5 Tratamiento Audiomotor Interactivo (TAMI), 33 - 39
 - 3.5.1 BeatSaber, 36-37
 - 3.5.2 GrafoTami, 37 - 39
 - 3.6 Pilotaje de Tratamiento TAMI, 39 - 43
 - 3.7 Descripción de la muestra, 43 - 46
 - 3.8 Instrumentos de evaluación, 46 - 56
 - 3.8.1 Lectura, 46 - 47
 - 3.8.2 Atención, 47 - 48
 - 3.8.3 Memoria de Trabajo, 48 - 49
 - 3.8.4 Sincronización Audiomotora, 49 - 50
 - 3.8.5 Coordinación y Balance, 50 - 51
 - 3.8.6 Conectividad Funcional, 51 - 54
 - 3.8.7 Actividad electroencefalográfica, 55 - 56
 - 3.8.8 Autoconcepto, 56
 - 3.9 Procedimiento, 57 -59

4. Análisis de datos, 59 -64
 - 4.1 Evaluación de efectos del tratamiento en el Grupo Experimental y comparación con el Grupo en Lista de Espera, 59 –62
 - 4.2 Evaluación de efectos del tratamiento en Grupo Experimental, 63
 - 4.3 Software, 64
5. Resultados, 65 - 82
 - 5.1 Efectos del tratamiento en el Grupo Experimental y comparación con el Grupo en Lista de Espera, 65 - 78
 - 5.1.1 Escala Neuropsicológica Infantil (ENI -2), 65- 71
 - 5.1.2 Test de Variables de Atención (TOVA), 71 - 74
 - 5.1.3 Tarea de Sincronización Audiomotora, 74 - 75
 - 5.1.4 Escala de Autoconcepto Piers Harris, 75 - 78
 - 5.2 Evaluación de efectos del tratamiento en Grupo Experimental, 78 - 82
 - 5.2.1 Escala Wechsler de Inteligencia para niños, 78 - 80
 - 5.2.2 Tareas de coordinación y balance, 80
 - 5.2.3 Electroencefalograma (análisis por potencias), 81
 - 5.2.4 Conectividad funcional (análisis por Resonancia Magnética Funcional, 82
6. Discusión, 82 - 94
7. Limitaciones, 95
8. Conclusiones, 96
9. Referencias, 97 - 117

2. RESUMEN

Los trastornos de aprendizaje tienen una prevalencia en el mundo de entre el 5 y el 17% de la población (DSM V, 2013), en específico los niños con dificultades de comprensión en la lectura muestran una prevalencia del 3 al 10%. Uno de los trastornos de aprendizaje más comunes en la población es el Trastorno de Aprendizaje en la Lectura (TAL). Éste representa un problema en la velocidad, comprensión y precisión que el niño pueda tener en tareas relacionadas con la lectura, mostrando complicaciones desde la infancia y que continúan hasta la adultez, afectando el desempeño académico, profesional y emocional de la persona. Investigaciones recientes han señalado que individuos con TAL presentan una dificultad de codificación grafema-fonema que depende de la integración de estímulos visuales, auditivos y motores, lo que repercute en procesos cognitivos, de coordinación e integración sensorial, manteniendo un correlato fisiológico con estructuras corticales y subcorticales que participan en la ejecución de procesos de codificación gráfica y fonológica, y coordinación de movimientos motores como el seguimiento ocular. Actualmente existen tratamientos para el TAL centrados en la estimulación fonológica y de la lectura, que utilizan modelos de estimulación cognitiva. Sin embargo, dichas actividades involucran poca integración motora y de funcionamiento ejecutivo. A partir de hallazgos recientes en el campo y de un abordaje del TAL como una dificultad de integración de múltiples estímulos, el presente proyecto de investigación busca generar la implementación de un tratamiento integrado que estimule procesos de atención y coordinación audiomotora de forma simultánea por medio del uso de dos juegos de realidad virtual enfocados a procesos, tanto de dominio específico como general, denominado Tratamiento Audiomotor Interactivo (TAMI), en una población de niños con TAL mediante la comparación de un Grupo Experimental y un Grupo en Lista de Espera. Los resultados muestran un efecto del tratamiento estadísticamente significativo sobre el Grupo

Experimental en la variable de atención visoespacial, así como un efecto cualitativo sobre las habilidades de lectura y autoconcepto, mientras que en el Grupo en Lista de Espera no se observan cambios. A la par, el Grupo Experimental muestra un efecto estadísticamente significativo del tratamiento en la motricidad y balance, y en la actividad electroencefalográfica.

1. ANTECEDENTES

2.1 Proceso de lectura

La lectura es un proceso de aprendizaje complejo que depende de la integración adecuada de múltiples factores y variables que van desde el movimiento ocular continuo y sacádico, que interactúa con la corteza motora, hasta su influencia sobre procesos atencionales que derivan de la actividad de la corteza prefrontal, procesos mnémicos y de integración sensorial (Martin Lobo, 2003). Esto transforma una tarea aparentemente sencilla en un sistema complejo, el cual depende de un proceso de aprendizaje que resulta de una serie de funciones (Ferré-Veciana & Aribau-Montón, 2002) tales como:

- Decodificación de signos gráficos.
- Abstracción y codificación fonética.
- Manejo de movimientos en un marco espacial-temporal.
- Representación mental de lo leído.
- Relación de la representación adquirida para generar un sentido narrativo.
- Comprensión de lo leído.

Ellis y Young (1988) establecen que el desarrollo de la lectura se conforma por el avance sobre tres rutas: fonológica, semi-léxica y léxica.

La ruta fonológica comprende un proceso de identificación fonológica de la palabra, principalmente asociando su sonido con una representación concreta tal como la palabra “árbol”. Dicha asociación permite la visualización del objeto y facilita la inferencia del significado de la

palabra escrita (Anthony & Francis, 2005). A esta etapa se le conoce como etapa logográfica (Martin, Claydon, Morton, Binns, & Pratt, 2003; Levesque, Kiegger, & Deacon, 2019).

La segunda ruta, semi-léxica, se refiere a un proceso en el que la persona, a partir de la discriminación fonológica de la palabra, logra generar una asociación rápida con la misma y permite su descomposición en fonemas y la identificación rápida del conjunto de grafemas que conforman la palabra. Sin embargo, dicha identificación es poco flexible, por lo que variantes grafológicas pueden ocasionar confusión en la identificación de esta (Ellis & Young, 1988; Anthony & Francis, 2005; Martin, Claydon, Morton, Binns, & Pratt, 2003; Levesque, Kiegger, & Deacon, 2019).

La ruta léxica comprende la posibilidad de la integración de los grafemas que conforman la palabra, permitiendo su comprensión. Ya que la ruta léxica no depende de un proceso de identificación rápida sino de la integración de cada uno de los grafemas que componen la palabra, existe mayor posibilidad de manipulación ortográfica (Martin et al., 2003). La ruta léxica permite generar nuevas representaciones mentales de atributos de la palabra (tal como su género o clasificación) y la comprensión del significado de un conjunto de palabras. Por ejemplo, por medio de esta ruta es posible identificar la diferencia entre palabras en plural o singular.

2.2 Trastorno de Aprendizaje en la Lectura (TAL) •

Las personas con TAL se caracterizan por presentar una dificultad en la lectura en las áreas de precisión de la lectura, velocidad de la lectura y comprensión de la lectura. Confirmado mediante pruebas estandarizadas por edad. Suele ser detectado durante el inicio de los años escolares (entre 7 y 9 años) y no se debe a daño visual o auditivo, falta de estimulación, discapacidad intelectual u otro síndrome del neurodesarrollo (Boat & Wu, 2015). De acuerdo con el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-5) (2013) los criterios diagnósticos del TAL son:

- 1) Lectura de palabras inexacta o lenta y difícil (por ejemplo, lee palabras sueltas en voz alta de forma incorrecta o lenta y vacilante, con frecuencia adivina palabras, tiene dificultad para pronunciarlas).
- 2) Las habilidades académicas se encuentran por debajo del rango esperado para su edad y dicha dificultad no se debe a falta de tiempo de práctica o de estudio.
- 3) Las dificultades deben de comenzar durante la edad escolar.
- 4) Las dificultades no se explican por un desorden del desarrollo, neurológico, sensorial o motor y afectan significativamente el rendimiento académico y ocupacional durante las actividades diarias de la persona.

El TAL conlleva a un déficit en la velocidad, precisión y comprensión de la lectura. En resultados de pruebas psicométricas y académicas, los individuos obtienen puntajes menores a 1.5 desviaciones estándar por debajo de la norma (Hulme & Snowling, 2016; DSM-5, 2013).

Los niños con trastornos de aprendizaje frecuentemente presentan dificultades en el uso de funciones de dominio general tales como memoria de trabajo, velocidad de procesamiento y distinción fonológica, lo que afecta su desempeño en áreas específicas. Mientras mayor sea la presión de tiempo sobre la ejecución de tareas, peor será el desempeño (Child, Cirino, Fletcher, Willcut, & Fuchs, 2019). En específico, los niños con TAL pueden presentar dificultades de atención y de motricidad dentro de las cuales se encuentran las tareas de equilibrio y actividades de motricidad fina que requieren de una coordinación específica (Hill, 2001; Hulme, Nash, Gooch, Lervåg, & Snowling, 2015). En un estudio realizado por Facoetti et al. (2010) en el que se evalúan la atención espacial visual y auditiva en un grupo de niños con dislexia y un grupo control, se observó que los niños con dislexia presentan una mayor dificultad en realizar tareas de atención que requieren una integración multisensorial (estímulos auditivos y visuales) en comparación con niños con desarrollo típico. La atención visoespacial ha sido considerada un elemento clave para la codificación fonológica en la lectura de palabras nuevas, particularmente en la separación de grafemas (Perry, Ziegler & Zorzi, 2007).

Dado que el niño pareciera presentar dificultades desde la edad preescolar, tiene una mayor probabilidad de aislarse en el salón de clases, y de ser catalogado como "tonto", lo que frecuentemente provoca menor atención por parte de los docentes y dificultades de interacción social en el juego con sus pares. Estos factores influyen de manera directa en el estado de ánimo, aumentando la probabilidad de síntomas de ansiedad y de aislamiento social (Singer, 2008), con severa repercusión en su autoconcepto (Alesi, Rappo, & Pepi, 2012), lo cual más tarde podría estar acompañado de conducta antisocial según un estudio realizado en prisioneros mayores de edad (Zakopoulou et al., 2013) y un mayor riesgo a ideación o intento de suicidio (DSM-5, 2013). En

México existen 2 suicidios por cada 100,000 habitantes en niños entre 10 y 14 años (INEGI, 2018) y ha sido asociado a depresión, baja autoestima y un bajo rendimiento escolar (Sánchez López, Hernández Sandoval, Pérez Silva, & Servin Aranda, 2009).

Existen dos hipótesis acerca del déficit principal en TAL. La primera es la Hipótesis de Dominio Específico, que se refiere a una limitación al acceso de representaciones fonológicas, afectando el proceso de codificación grafema-fonema y la evocación secuencial de palabras y pseudopalabras (Swanson & Siegel, 2001). Un estudio realizado por Jeffries y Everatt (2004) comparó niños con dislexia (una subpoblación de niños con TAL), niños con necesidades educativas especiales (dispraxia, déficit de atención, trastorno del lenguaje y dificultades del comportamiento) y un grupo control en la realización de tareas fonológicas, visoespaciales y de memoria de trabajo. A pesar de que el grupo con necesidades educativas especiales y el grupo con dislexia tuvieron puntajes significativamente menores a los del grupo control en las tareas fonológicas, sólo el grupo con necesidades educativas especiales tuvo un menor puntaje en las tareas de memoria de trabajo y visoespaciales.

La segunda hipótesis es llamada Hipótesis de Dominio General, que argumenta que el principal déficit se encuentra en funciones ejecutivas como la memoria de trabajo y la atención, que son requeridas para un proceso específico como la lectura; se ha demostrado que los niños con TAL presentan déficits en la memoria de trabajo y la atención en comparación con niños de desarrollo típico (Swanson, 2015). La segunda línea de investigación concuerda con el modelo de memoria de trabajo de Baddeley y Hitch (1974); en este modelo un sistema supervisor “ejecutivo central” regula dos sistemas esclavos de memoria: un bucle fonológico y un “sketchpad” visoespacial.

Estos sistemas interactúan a través de un buffer episódico que permite la manipulación de la información almacenada en la memoria a largo plazo (Baddeley & Hitch, 2000; Baddeley, 2010).

La Hipótesis de Dominio General también concuerda con con la hipótesis de Vidyasagar y Pammer (2009) que sostiene que el principal déficit se encuentra en la atención visual, y que la afectación de la vía magnocelular desencadenará alteraciones en procesos específicos de la lectura, en particular en el procesamiento visual de los grafemas, su traducción a fonemas y el desarrollo de la conciencia fonológica.

En las siguientes secciones se describirán distintas alteraciones expuestas en la literatura presentes en niños con TAL que favorecen la Hipótesis de Dominio General.

2.3 Alteraciones fonológicas y de discriminación rítmica en el TAL

Un factor importante para el aprendizaje de la lectura es la posibilidad de segmentación de las palabras en sus fonemas. La segmentación fonética es necesaria, ya que debe existir una representación cognitiva de los fonemas para que éstos puedan ser asociados al lenguaje escrito. Ésta será la base para la integración fonológica de la palabra, lo que posteriormente permitirá una división en las sílabas que la componen y su integración gráfica, para acceder a su lectura y comprensión. En este proceso se mostrará una relación entre factores de división rítmica, fonológica, sintáctica y morfológica (Vygotsky, reimpresión, 1986; Ullman, 2004). La relación métrica y rítmica está implicada en la capacidad de descomponer la palabra fonológicamente y reintegrarse de forma rítmica para su lectura, lo que permitirá al sujeto anticipar temporalmente la forma en el que el siguiente grafema debe ser expresado con el propósito de mantener la estructura de la palabra y su significado (Jones & Boltz, 1989; Patel, Iversen, Chen, & Repp, 2005; Patel, 2006).

Resultados de estudios longitudinales en niños con TAL (Hill, Hogben, & Bishop, 2005; Woodruff - Carr, White-Schwoch, Tierney, Strait, & Kraus, 2014; Sallat & Jentschke, 2015) muestran que estos niños tienen dificultad en la discriminación auditiva de tonos de distinta frecuencia y en la sincronización rítmica; ésta última es observada incluso en niños de entre 3 y 4 años, quienes presentan mayor dificultad en golpetear (*tapping*) al ritmo de una serie de tonos en frecuencias determinadas que niños control de su misma edad (Biotteau, Chaix, & Albaret, 2015). Estudios en población infantil que presenta TAL muestran que la exposición a ritmos musicales simples y continuos favorece el proceso de lectura en las áreas de velocidad y precisión, mientras la lectura se desarrolla a la par de la escucha del estímulo musical (Przybylski et al., 2013). Una mejora de identificación rítmica tiene una alta relación con el número de palabras que el individuo logra leer en un tiempo determinado (Thomsom & Goswami, 2008): a mayor dificultad de sincronización audiomotora y de discriminación auditiva, mayor dificultad en la lectura.

2.4 Integración rítmica motora e integración sensorial en el TAL

Los niños con problemas de aprendizaje en la lectura muestran dificultad en sincronizar movimientos motores gruesos (como *tapping*) con un sonido a una frecuencia determinada. Dicha dificultad aumenta cuando hay un cambio de ritmo y frecuencia que requiere de un proceso de acoplamiento y de nueva sincronización (Grahn & Brett, 2007; Corriveau & Goswami, 2009). La sincronización de movimientos mantiene correspondencia con estructuras también en la lectura y pueden verse influenciada por desarrollo y la estimulación (Ullman, 2004; Bailey, Zatorre, & Penhune, 2014; Assaneo et al., 2019; Harding, Sammler, Herny, Large, & Kotz, 2019).

La identificación rítmica de los fonemas permite que se de un proceso de ensamble en su representación gráfica para la lectura en un ritmo adecuado y así generar la representación correspondiente de la palabra a leer (Patel, 2006). No es lo mismo “a – hora” que “ahora”. Dicho proceso de sincronización pareciera encontrarse relacionado con un modelo oscilatorio sináptico en la corteza auditiva, el cual permite la sincronización con estímulos auditivos externos (Doelling, Assaneo, Bevilacqua, Pesaran, & Poeppel, 2019).

De acuerdo con Ayres y Robbins (2005) los procesos de coordinación, balance y respuesta a estímulos visuales y auditivos son parte de un procedimiento de integración sensorial, necesarios para decodificar un estímulo externo, generar un análisis y dar una respuesta con base en la información recibida. No obstante, en el caso de existir un desfase en la integración de la información recibida por distintas vías sensoriales, se producirá una respuesta desfasada y no completamente adecuada al estímulo. Dicha dificultad puede existir en distintos puntos dentro del proceso de integración (Ayres, 2007), los cuales pueden ser:

- Integración de los sistemas (ante la exposición del estímulo sensorial).
- Reactividad al ambiente (puede existir hipersensibilidad o hiposensibilidad).
- Uso de la información adquirida para la producción y aprendizaje de una nueva respuesta.
- Coordinación de múltiples respuestas a los estímulos sensoriales recibidos.

Una integración sensorial deficiente puede afectar el desarrollo de respuestas tales como el balance o la coordinación de movimientos oculares, ya sea ante una pérdida en la captación del estímulo o como una dificultad de la integración. En el caso de la dislexia se registra una dificultad de ajuste

de amplitud de movimiento sacádico en la realización de tareas de lectura (Bucci, Nassibi, Gerard, Bui-Quoc, & Seassau, 2012; Freedman, Molholm, Gray, Belyusar, & Foxe, 2017).

Un sistema vestíbulo-ocular consolidado posibilita una estabilización del movimiento sacádico ocular, lo que permite un mayor control visoespacial durante el movimiento de cabeza; esto a su vez favorece un mejor proceso atencional y una respuesta motora de mayor precisión al estímulo al que la persona le presta atención, siendo éste un proceso también requerido en la lectura (Rine & Christy, 2014; Soetedjo, Kojima, & Fuchs, 2019).

La Teoría de sistemas sensoriales (Wasilewski, 2018) establece que los procesos cognitivos y motores dependen en gran medida de un procesamiento multisensorial adecuado para la elaboración de una respuesta compleja (coordinación visoespacial, procesos cognitivos y resolución de problemas); este procesamiento involucra la dependencia entre estructuras como el tálamo, el cerebelo y los ganglios basales. Por lo tanto, problemas de integración sensorial reflejados en el balance y la coordinación se relacionan con alteraciones del funcionamiento cognitivo, por ejemplo, de la memoria de trabajo, siendo ésta una alteración frecuentemente encontrada en niños con TAL (Thomsom & Goswami, 2008; Sallat & Jentschke, 2015; Sun, Pine, Rivière, Moreno, & Dehaene, 2016; Witt & Lessing, 2017).

La teoría de sistemas dinámicos (Thelen, 2001) propone que el desarrollo de los sistemas motor, atencional y mnémico ocurre de manera dependiente a pesar de que muestran un comportamiento aparentemente independiente. Establece que la adquisición de movimientos motores complejos y simples es indispensable para el desarrollo cognitivo ya que éste depende de la manipulación

inicial de los objetos que rodean a la persona para que pueda existir un proceso de reconocimiento visual y una posterior evocación cognitiva de los mismos como parte de un proceso conocido como “embodiment” (Piaget, 1952; Gibson & Pick, 2000; Needham & Libertus, 2010). Una revisión realizada por Michel et al. (2016) encuentran una evidencia consistente de la relación entre el desarrollo motor y cognitivo, principalmente entre el agarre y el lenguaje. A su vez, Morse et al. (2015) encuentran una relación significativa entre la postura y el aprendizaje de nuevas palabras en modelos infantiles y robóticos; sin embargo, este tipo de fuerza de relación pareciera disminuir durante el desarrollo (Libertus & Hauf, 2017). La Hipótesis de equivalencia funcional (Moran et al., 2012) argumenta que las acciones imaginarias motoras tienen una correspondencia directa con la activación de redes cerebrales y estructuras presentes durante las actividades motoras, tal como el área motora suplementaria y la corteza premotora. El entrenamiento sobre prácticas imaginarias de actividades motoras se ha relacionado de forma positiva con la memoria de trabajo y la atención perceptual (Moran & O’Shea, 2020). Esto pudiera explicar la activación de estructuras motoras durante el uso de funciones cognitivas (D’Esposito & Postle, 2015).

2.5 Funciones ejecutivas y su relación con el TAL

Las funciones ejecutivas pueden ser definidas como un conjunto de bases funcionales que permiten la manipulación y elaboración de procesos cognitivos complejos (Church et al., 2019) tales como la lectura. Entre las funciones ejecutivas se encuentran la inhibición de respuesta, la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva y la atención. Dichas funciones participan en el proceso de lectura facilitando la retención de palabras, su manipulación gráfica-fonética y su denominación rápida, con lo cual mejorarán la precisión y la velocidad de la asignación gráfica para la lectura de palabras. Este menor esfuerzo cognitivo, permitirá que se fortalezca un proceso de abstracción del

contenido que conlleva a la comprensión del texto.

Un fallo en la interacción entre los sistemas puede resultar en dificultades de aprendizaje o de ejecución como es el caso del TAL y la dislexia, donde se muestra un déficit de activación en áreas temporo-parietales que mantienen comunicación con regiones de la corteza temporal y prefrontal a partir de estudios de RMf (Temple, 2002). Esta relación afecta a su vez funciones que dependen de la actividad prefrontal tales como las funciones ejecutivas (Diamond, 2011). Vydyasagar y Pammer (2004) proponen que el principal déficit en la dislexia y en el TAL se centra en la atención visoespacial, pues los individuos que las padecen presentan alteraciones de identificación e integración visual oportuna de las palabras, así como un seguimiento ocular inadecuado durante la lectura, lo cual sugiere una falla funcional en la Vía Magnocelular en el área dorsal.

La memoria de trabajo involucra la capacidad de un individuo para codificar y mantener información relevante, y para evocarla posteriormente, cuando esta información sea requerida para la ejecución de una tarea específica (Diamond, 2013). La realización de tareas de memoria de trabajo verbal se relaciona con la actividad neuronal en la corteza dorsolateral prefrontal, corteza parietal, corteza frontal medial y el área motora suplementaria (SMA) (Sachs, Kaplan, Der Sarkissian, & Habibi, 2017). Dichas regiones interactúan con el circuito ventral izquierdo que conecta regiones de la corteza frontal y temporal como el Giro Frontal Inferior (IFG), el Surco Temporal Superior (STS) y el Área Motora Suplementaria (SMA). La interacción entre estas estructuras neuronales se observa en conductas como la agrupación fonológica y la comprensión de textos (Lopez-Barroso et al., 2011).

Estudios de potenciales relacionados con eventos han mostrado que niños con deficiencia en la lectura tienen una respuesta más frontalizada y de mayor latencia en el componente P300 que la observada en un grupo control durante la ejecución de una tarea tipo Sternberg, la cual se centra en el uso de la memoria de trabajo (Silva-Pereyra et al., 2001). Por otro lado, se ha reportado la ausencia de los efectos P200 y N400 en niños con trastorno de aprendizaje inespecífico durante la resolución de una tarea de decisión léxica, en contraste con los claros efectos P200 y N400 que exhibía un grupo control normal. Esta evidencia apuntaba a que las deficiencias presentadas por los niños con trastorno de aprendizaje podrían deberse a fallos en el proceso de atención para procesar la información entrante (Fernández, Silva-Pereyra, Prieto-Corona, Rodríguez-Camacho, & Reynoso-Alcántara, 2014). Dichos ejemplos sugieren que en el TAL hay alteraciones en la atención y la memoria de trabajo. Los resultados de los estudios de potenciales relacionados con eventos tienen relación con hallazgos recientes en los que por medio de estudios de espectroscopía por resonancia magnética se ha encontrado una menor concentración de colina en la corteza cingulada anterior (Horowitz - Kraus, Brunst, & Cecil, 2018). La colina es un precursor en la síntesis de la acetilcolina, neurotransmisor asociado al desempeño en tareas que requieren de memoria de trabajo y atención.

En una revisión realizada por Child y otros (2019) de la literatura existente en el trastorno de aprendizaje y sus especificaciones (lectura, aritmética, escritura), así como del trastorno por déficit de atención se observa un déficit común en la ejecución de tareas que requieren memoria de trabajo y conciencia fonológica. A la par se observa que el desempeño de las funciones cognitivas depende de la condición en las que éstas se utilizan. Por ejemplo, tareas ejecutadas bajo una mayor presión de tiempo tendrán peor desempeño que aquellas sin presión del tiempo. Un estudio reciente en

niños japoneses con problemas de aprendizaje en la lectura y en la expresión del lenguaje muestra la superioridad de un tratamiento de dominio general (enfocado en la memoria de trabajo) sobre un tratamiento lingüístico de segmentación fonética, evidenciando la presencia de alteraciones de funciones de dominio general en niños con problemas de aprendizaje en la lectura (Carrey Siu, McBride, Tse, Tong, & Maurer, 2018).

2.6 Problema de integración funcional de estructuras que conforman una red neuronal para el proceso de lectura

Para la lectura, dos procesos son necesarios: 1) el procesamiento de las palabras, que abarca la posibilidad de lectura y la representación cognitiva de las mismas y 2) el procesamiento del discurso, que depende del manejo de la lectura para generar nuevos conceptos y representaciones y depende de una habilidad de lectura consolidada (Aboud, Bailey, Petrill, & Cutting, 2016). Esto genera un proceso dependiente, de modo que, si no existe un aprendizaje inicial adecuado, estarán alterados los procesos subsiguientes, tales como el análisis y la comprensión de un texto. Esta secuencia depende de la integración funcional de distintas regiones neuronales, partiendo de una integración sensorial y una sincronización audio motora adecuadas que facilitan los procesos de funcionamiento ejecutivo que se integran a su vez con una respuesta de discriminación fonética, reintegración fonológica y gráfica, así como de respuestas de atención visoespacial, que suceden en una red de actividad integrada (Figura 1).

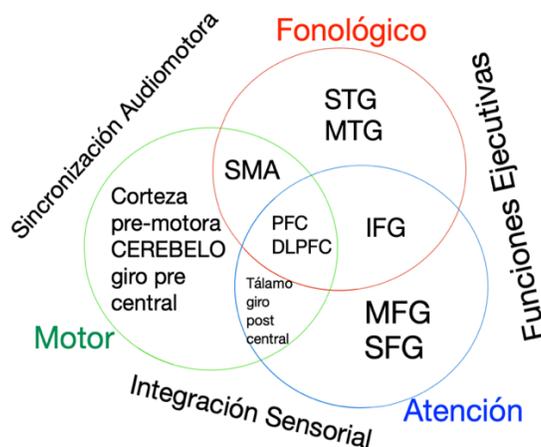


Figura 1. Modelo de integración de la red de lectura. MTG: giro temporal medial, SFG: giro frontal superior, IFG: giro frontal inferior, STG: giro temporal superior, SMA: área motora suplementaria, MFG: giro medial frontal, PFC: corteza prefrontal, DLPFC: corteza prefrontal dorsolateral.

Una de las estructuras corticales principalmente relacionada con la lectura es el surco occipital temporal, conocido como área de reconocimiento de la forma de las palabras (VWFA, por sus siglas en inglés) (Cohen & Dehaene, 2004). Dicha estructura presenta una diferencia funcional entre personas con mayor y menor nivel de lectura, personas con alexia y personas con déficit de reconocimiento visual de las palabras (Dehaene & Cohen, 2011), así como una diferencia de grosor cortical entre poblaciones letradas e iletradas (Cachia et al., 2018). Se ha observado una interacción durante la ejecución de tareas de lectura entre la VWFA y otras estructuras corticales; principalmente el IFG, surco temporal superior (STS), corteza dorsolateral prefrontal (DLPFC), giro medial temporal (MTG), polo frontal y putamen, sugiriendo una red funcional que parte del uso de la actividad funcional de otras conductas (tal como el lenguaje y la atención visoespacial) y se ve reforzada conforme al uso (Dehaene, Cohen, Morais, & Kollinsky, 2015). Estas interrelaciones permiten explicar la relación que existe de los procesos de codificación fonética y atención visoespacial con la vía léxica y subléxica de la lectura (Ekstrand, Neudorf, Gould, Mickleborough, & Borowsky, 2019; Vidyasagar, 2019; White, Boynton, & Yeatman, 2019).

Procesos derivados del lenguaje, como la lectura, dependen de la interacción de diversas áreas corticales y subcorticales, que conforman redes locales. Entre ellas sobresalen el circuito ventral (que involucra regiones occipitales y temporales), el circuito dorsal (que involucra la actividad de regiones temporales y parietales) y el circuito frontal, con tendencia a lateralizarse al hemisferio izquierdo (Pugh et al., 2000; Shaywitz & Shaywitz, 2008). Dicha interacción funcional entre las estructuras mencionadas ha sido relacionada con una red funcional de lectura que se ha visto presente durante la realización de tareas de lectura en estudios de resonancia magnética funcional en reposo (resting – state fMRI) (Tie et al., 2014). Las estructuras mencionadas mantienen relación

con procesos de sincronización audiomotora, integración sensorial, discriminación fonética, atención y memoria de trabajo. Martin et al. (2015) realizaron un metaanálisis en el que identificaron tres principales áreas cerebrales que se activan, tanto en niños como en adultos, durante la realización de tareas de lectura y durante estudios en reposo (resting – state fMRI):

- a) Área motora: Relacionada con la respuesta motora durante la lectura, que involucra el área motora suplementaria (SMA) del hemisferio derecho e izquierdo.
- b) Corteza parietal posterior: Relacionada con el proceso de codificación gráfica y producción de la lectura, que involucra el área del lóbulo parietal superior
- c) Corteza occipito-temporal: Vinculada con procesos de reconocimiento ortográfico, que involucra el área del giro inferior temporal (ITG), STG y giro medial temporal (MTG)
- d) Corteza frontal inferior: Relacionada con procesos de funcionamiento ejecutivo y atención e involucra áreas como IFG, giro pre-central y el giro medial frontal (MFG)

Los estudios por resonancia magnética que analizan el cambio de intensidad de la señal BOLD permiten de manera indirecta observar la actividad funcional cerebral. Durante la actividad en reposo es posible observar actividad funcional simultánea en distintas regiones corticales, lo que sugiere que hay una conectividad entre dichas regiones. Dichas redes pueden ser observadas durante la ejecución de tareas y en estado de reposo; existe una alta correlación entre ambas condiciones y es constante a lo largo del desarrollo (Yeo et al. 2011; Yeo, Krienen, Chee, & Buckner, 2014; Thornburg et al., 2017). Un estudio de resonancia magnética funcional (RMf) en reposo realizado por Alcauter et al. (2017) en una población infantil (n = 60) con el propósito de confirmar la presencia, durante la infancia, de una red funcional llamada “Red de Lectura”, la cual

ya había sido descrita en adultos sanos ((Houdé, Rossi, Lubin, & Joliot, 2010; Martin et al, 2015). Los autores encuentran que existe una red de actividad metabólica neuronal en estado basal que abarca distintas regiones cerebrales que se relacionan con procesos cognitivos (IFG, DLPFC, STG), motores y visuales (SMA, giro precentral, putamen, caudado, cerebelo), de integración sensorial (tálamo, giro postcentral, cerebelo), además de otras áreas como el cuerpo estriado y la ínsula anterior, las cuales son necesarias para el proceso de aprendizaje y la ejecución de la lectura. Estos resultados son consistentes con el análisis de Martin et al. (2015).

Un estudio reciente de resonancia magnética funcional en reposo y en tarea ha encontrado una mayor actividad metabólica en la corteza cingulada anterior dorsal en niños con dificultades de lectura en comparación con niños control durante la ejecución de una tarea de comprensión de lectura?; sin embargo no se reportan diferencias en la actividad de reposo en la red de saliencia, red en estado basal (DMN) o en la red de lectura, adjudicándolo a una posible diferencia en el funcionamiento de estructuras que se relacionan con atención (Roe et al, 2018).

Estudios por electroencefalograma (EEG) en condición de reposo han mostrado una relación positiva entre la potencia absoluta Delta y una mala evaluación educativa en niños con problemas de aprendizaje en la lectura y escritura. Niños con severas dificultades de aprendizaje mostraban una mayor potencia Delta en áreas fronto-temporales. Niños con dificultades severas y moderadas de aprendizaje mostraban una potencia absoluta y relativa de Theta difusa y menor potencia relativa de alfa, sugiriendo un retraso en la maduración electroencefalográfica de niños con problemas de aprendizaje en la lectura y escritura (Harmony et al, 1990; Harmony et al, 1995). Niños con Trastorno de Aprendizaje muestran mayor actividad theta (3.5 – 7.02 Hz) en lóbulos

frontales en comparación a un grupo control que muestra mayor actividad alfa (9.75 – 12.87 Hz) en áreas occipitales (Fernández et al, 2002).

2.7 Videojuegos como un tratamiento integrado

Los avances en la tecnología de entretenimiento, en específico en el área de videojuegos brindan nuevas formas de interactuar con un medio virtual. La posibilidad de actuar más allá de la coordinación de un par de botones permite una interacción más completa que involucra movimientos corporales amplios y una mayor coordinación visoespacial, agregados a un formato de ejecución dentro del juego que implica procesos de atención, memoria de trabajo y constante resolución de problemas. Así el videojuego se transforma en una plataforma que, más allá del entretenimiento, nos permite ofrecer un nuevo tipo de tratamiento en un medio llamativo que puede abarcar múltiples factores de una manera integrada con constante retroalimentación (Sweetser & Wyeth, 2005; Erhel & Jamet, 2013).

El uso de videojuegos como herramienta de estimulación cognitiva se basa en la teoría de Automatización (Fitts & Posner, 1967; Singley & Anderson, 1989), la cual propone que tanto los procesos cognitivos simples como los complejos pasan por tres fases: 1) análisis y manipulación de la información, 2) asociación de la información con elementos previos y 3) automatización del proceso aprendido. De esta forma, una habilidad aprendida en una plataforma puede ser transferible a otro marco de aplicación. La Teoría Cognitiva de Aprendizaje Multimedia (Mayer, 2009; Mayer, 2011; Mayer, 2020) se basa en el modelo de memoria de trabajo de Baddeley y Hitch (1974) y establece que la información adquirida de forma sensorial por canales independientes (por ejemplo, canal auditivo y canal visual) es procesada en la memoria de trabajo de forma

independiente, pasando por un proceso de selección de la información, creación de representaciones cognitivas y asociación con conocimientos previos, para posteriormente ser integrada en un concepto que abarca los distintos canales y ser almacenada en la memoria de trabajo. Esto permite que la presentación de diversos estímulos, como ocurre en el caso de videojuegos, pueda ser integrada en un único modelo de aprendizaje evitando una saturación sensorial y facilitando su acceso y transferencia. Por último, la teoría de Transferencia Específica de Habilidades Generales (Anderson & Bavelier, 2011) sugiere que el reforzamiento de habilidades específicas (por ejemplo, atención visoespacial de un videojuego) tendrá un efecto únicamente sobre dicha habilidad; sin embargo, dicha habilidad puede ser transferible a otros entornos que demanden de ésta (por ejemplo, atención visoespacial en un ejercicio de sopa de letras). Esto contradice teorías de aprendizaje específico (la habilidad aprendida solamente puede ser utilizada en las mismas condiciones en la que fue adquirida) y aprendizaje general (la habilidad aprendida tiene un impacto en otras habilidades; por ejemplo, un entrenamiento de flexibilidad cognitiva impactará significativamente en la memoria de trabajo) (Mayer & Wittrock, 2006).

Los videojuegos de acción se caracterizan por la velocidad en la que se debe responder a los elementos del juego; existe una demanda cognitiva, motora y visual que requiere de una capacidad de dividir la atención y predecir el movimiento de otros objetos (Green & Bavelier, 2012). A partir un enfoque centrado en los efectos cognitivos de los videojuegos se ha observado un efecto positivo sobre la atención perceptual en población adulta en el uso de videojuegos de tirador en primera persona (Green & Bavelier, 2003) y juegos de entrenamiento cognitivo (Nouchi et al, 2012). Se ha registrado un efecto positivo de los videojuegos de acción sobre la velocidad perceptual (Dye, Green & Bavelier, 2009), el seguimiento de múltiples objetos (Achtman, Green

& Bavelier, 2008), y funciones ejecutivas en población adulta y adulta mayor (Green et al, 2012; Strobach et al, 2012). En un análisis de la literatura realizado por Mayer (2014) no se encontraron estudios que mostraran un efecto claro sobre la ejecución en tareas motoras y cognición espacial.

El uso de videojuegos ha sido utilizado como una herramienta de estimulación en niños con trastorno de aprendizaje generalizado y específico, utilizando juegos de acción tales como “Rayman vs. Rabbids” (Bavelier, Green, & Seidenberg, 2013; Franceschini et al., 2013) y juegos específicos de lectura como “Letter Prince” desarrollado por Van de Ven, Leeuw, van Weerdenburg y Steenbeek-Planting (2017). Se ha observado que el uso de videojuegos de acción (caracterizados por una respuesta del jugador que modifica el desarrollo del juego) tiene un impacto positivo en niños con dislexia, particularmente en el aumento de la velocidad de reconocimiento de palabras y en tareas de atención visoespacial en población de habla inglesa e italiana (Franceschini et al., 2017).

La efectividad del uso de los videojuegos como forma de tratamiento radica en la posibilidad de integración de distintos procesos (que pueden ser independientes) dentro de una plataforma que estimula habilidades que son transferibles a otras actividades que utilizan las funciones que se desea estimular (Burgos et al, 2018). Los resultados de estudios en población escolar (Kourakli et al., 2017; Kosmas, Ioannou, & Zaphiris, 2018) muestran mejor desempeño en la velocidad de lectura y la memoria a corto plazo. A la par, se ha observado una mejora en motricidad gruesa y fina, resultados que juegos específicos de lectura y de acción comparten en múltiples plataformas móviles y Kinect (Tsung-Yen, Ming-Shiou, Ping-Lin, & Yen-Wei, 2017). El uso de videojuegos de acción se ha relacionado con una mayor velocidad de lectura y mayores puntajes en la ejecución

de tareas de atención visoespacial y motoras (Bertoni, Franceschini, Ronconi, Gori, & Facoetti, 2019; Nava, Föcker, & Gori, 2020).

Avances en el desarrollo de videojuegos han permitido la implementación de nuevas plataformas que utilizan un sistema de realidad virtual, lo que trae como consecuencia un medio digital con el que el sujeto interactúa por medio de gestos y movimientos que son representados por medio de sensores giroscópicos e infrarrojos para realizar diversas acciones de una manera inmersiva y correspondiente a su movimiento corporal; recibiendo retroalimentación visual, háptica y sensorial del sujeto en su interacción con el entorno virtual (Farnsworth, 2018). La elaboración de juegos de estimulación utilizando realidad virtual ha permitido generar nuevos programas que proporcionan mayor manipulación de las variables con las que interactúa el sujeto, desde sostener objetos hasta interactuar con ellos ajustando la forma de estos. Una mayor manipulación del juego facilita un proceso de "embodiment" y, por lo tanto, una mejor representación mental del objeto con el que se interactúa, abriendo un campo en métodos de enseñanza y en las formas de aprendizaje (Thompson, Wang, Roy, & Klopfer, 2018).

Un estudio de revisión realizado por Stanmore, Stubbs, Vancampofort y Firth (2017) sobre 17 juegos de realidad virtual que combinan la estimulación de procesos cognitivos y motores conocidos como "exegames" reporta un efecto positivo significativo en población clínica y moderado en población control en las áreas de procesamiento cognitivo definidas por Strauss, Sherman y Spreen (2006), que abarcan las áreas de velocidad de respuesta, memoria visoespacial, atención, aprendizaje verbal y resolución de problemas. Igualmente, se han utilizado de forma reciente, en población general, juegos de realidad virtual para la enseñanza de idiomas, ciencias

físicas, implementación de nuevas estrategias de docencia, estimulación motora y lectura de palabras por medio de juegos que requieren de la manipulación de múltiples estímulos visuales y auditivos. Los resultados muestran una mayor retención de palabras en comparación con otros métodos de estimulación (Bailenson, Blashovich, Beall, Lundblad, & Jin, 2008; Bailey & Bailenson, 2017; Vázquez, Xia, Aikawa, & Maes, 2018).

A pesar de las diversas implementaciones que los juegos de realidad virtual han tenido en el tratamiento de fobias, estrés postraumático y ansiedad en adultos y los efectos positivos en el funcionamiento cognitivo, pocas investigaciones se han realizado utilizando juegos de realidad virtual como forma de tratamiento en población infantil; éstas han estado centradas principalmente a tratar el dolor crónico o han sido usadas como método de evaluación de procesos de seguimiento visoespacial (Farnsworth, 2018; Bailey & Bailenson, 2017). Sin embargo; investigaciones recientes (Virtualeap.inc, 2019) se centran en el desarrollo de juegos de realidad virtual que estimulan procesos cognitivos de dominio general y específico por medio de la solución de problemas, que brindan una estimulación multisensorial y que requieren de una respuesta visomotora, utilizando el sistema como un medio de entrenamiento cognitivo que pudiera ser aplicado en un futuro como estrategia de neurorehabilitación.

Con base en los antecedentes, es posible suponer que los niños con TAL presentan una dificultad de integración audiomotora, sensorial, de atención y de memoria de trabajo; que se refleja en dificultades en la lectura que se manifiestan conductualmente. A partir de dicha perspectiva, la estimulación integrada de coordinación audiomotora, atención, memoria de trabajo y codificación gráfica de palabras ofrece una posibilidad de mejora en la velocidad, precisión y comprensión de

la lectura, que podría producir respuestas de forma integrada a múltiples estímulos presentes en un ambiente virtual y, con ello, mejorar el desempeño de procesos que son deficientes en niños con TAL. El propósito del presente proyecto de investigación es explorar los efectos de un Tratamiento Audiomotor Interactivo (TAMI) en una población infantil con TAL a partir de la estimulación de procesos de dominio general (memoria de trabajo, coordinación audiomotora, atención) y del dominio específico de la lectura (codificación gráfica-fonética y comprensión) por medio del uso de videojuegos de realidad virtual.

3. MÉTODO

3.1 Objetivo General

Explorar los efectos de un tratamiento audiomotor interactivo (TAMI) sobre la lectura, la atención, la memoria de trabajo, la sincronización audiomotora, la coordinación y el balance, la conectividad funcional, la frecuencia electroencefalográfica y la autopercepción en niños con trastorno de aprendizaje específico de la lectura (TAL).

3.2 Objetivos Particulares

- Investigar las diferencias en la precisión de la lectura, velocidad de la lectura y comprensión de la lectura entre una muestra de niños con TAL, siendo el Grupo Experimental (GE) y un grupo control de niños con TAL en un grupo de lista de espera (GLE) antes y después de TAMI.
- Explorar las diferencias en la atención visoespacial entre los grupos GE y GLE antes y después de TAMI.
- Investigar las diferencias en la memoria de trabajo, comprensión verbal, razonamiento perceptual y velocidad de procesamiento entre los grupos GE y GLE antes y después de TAMI.
- Investigar si existe una relación entre la atención visual y la lectura observando si esta cambia después de TAMI para el grupo GE en comparación con el grupo GLE.
- Explorar las diferencias en la capacidad de sincronización audiomotora entre los grupos GE y GLE antes y después de TAMI.
- Explorar la diferencia en la resolución de tareas motoras que impliquen coordinación y balance entre los grupos GE y GLE antes y después de TAMI.

- Explorar las diferencias en la conectividad funcional, por medio del análisis de la señal BOLD en regiones de interés de la red de lectura, entre los grupos GE y GLE antes y después de TAMI.
- Investigar las diferencias sobre la actividad electroencefalográfica (potencia absoluta) en niños con TAL (GE y GLE) antes y después de TAMI.
- Explorar las diferencias en la autopercepción entre los grupos GE y GLE antes y después de TAMI

3.3 Pregunta de Investigación

Tras la implementación de un tratamiento de estimulación audiomotor interactivo a niños con TAL, ¿qué efectos existen sobre sus procesos cognitivos (de dominio general y específico de la lectura) y sobre el funcionamiento del sistema nervioso?

3.4 Hipótesis:

1. Tras la aplicación del TAMI se observará una mejoría en el GE en comparación con el GLE:
 - a. Lectura
 - b. Atención visoespacial
 - c. Memoria de trabajo
 - d. Sincronización audiomotora
 - e. La coordinación y el balance
 - f. autopercepción

2. Tras la aplicación del TAMI se observará una mayor conectividad funcional en el GE entre estructuras relacionadas con el proceso de lectura en estado de reposo (RMf) en comparación con el GLE.
3. Se observará un cambio en el electroencefalograma (EEG) en reposo, probablemente relacionado con un incremento de la frecuencia del EEG tras el tratamiento TAMI en el GE en comparación al GLE.

3.5 Tratamiento Audiomotor Interactivo (TAMI)

El Tratamiento Audiomotor Interactivo (TAMI) consiste en la implementación de dos juegos de realidad virtual (Beat Saber (BeatSaber, 2019) y GrafoTami) (Figura 2 y 3). Ambos juegos utilizan un visor Oculus Rift (2019) sobre una computadora Lenovo Legion que cuenta con un sistema Windows 10, 16 GB de RAM, 1TB de Disco duro y tarjeta gráfica Nvidia X Force 1050.

El tratamiento se diseñó a partir de las dificultades en las áreas de motricidad, ritmicidad, atención y lectura en niños con TAL, descritas en la literatura (sección de antecedentes). A partir de un marco teórico de aprendizaje multimedia (Mayer, 2009; Mayer, 2011; Mayer, 2020) TAMI se diseñó como un programa de reforzamiento de habilidades motoras (balance y coordinación motora rítmica), atención visoespacial y habilidades de lectura (precisión, velocidad y comprensión de lectura de palabras y oraciones, denominación rápida por medio de identificación de objetos). El objetivo de TAMI es generar un marco de transferencia de las habilidades de dominio general y específico previamente descritas, a partir de la múltiple presentación sensorial de los estímulos y de la necesidad de respuesta integrada por parte de los participantes, haciendo uso de una plataforma de realidad virtual en base a las ventajas descritas en la sección 2.7 de los

antecedentes. La transferencia de aprendizaje será evaluada mediante la aplicación de instrumentos no virtuales descritos en la sección 3.8 (Instrumentos de Evaluación).

En base al diseño del tratamiento se seleccionaron dos videojuegos de realidad virtual que cumplen con los objetivos de éste. El primer videojuego, “BeatSaber” (BeatGames,2019), se centra en el reforzamiento de habilidades de dominio general (coordinación motora, ritmicidad, balance y atención visoespacial). El segundo juego, “GrafoTami”, fue diseñado para el tratamiento debido a que no se encontró un juego que englobara las necesidades requeridas para el mismo. GrafoTami se centra en el reforzamiento de habilidades específicas de la lectura a la par de mantener un ambiente virtual que demanda balance (por medio de rotación del jugador en 360°) y coordinación motora (por medio de la interacción con los objetos que requiere de apuntar y mover una pistola de pelotas a los estímulos dentro del juego) y que facilita la transferencia de habilidades reforzadas de dominio general a un marco que requiere de habilidades de dominio específico. Mayor detalle de cada juego se da en las secciones 3.5.1 y 3.5.2.

El sistema de reforzamiento para ambos juegos consiste en un sistema de puntajes en base al rendimiento por nivel del jugador, así como al acceso a distintos niveles en base al rendimiento en el nivel anterior. Por otro lado, se busca generar un sistema entretenido e inmersivo al utilizar un ambiente de realidad virtual que ha mostrado un mayor nivel de motivación que otras plataformas en niños con dislexia (Rodríguez-Cano, Sebastián, Delgado & Ausin Villaverde, 2021).

Tratamiento Audiomotor Interactivo - TAMI

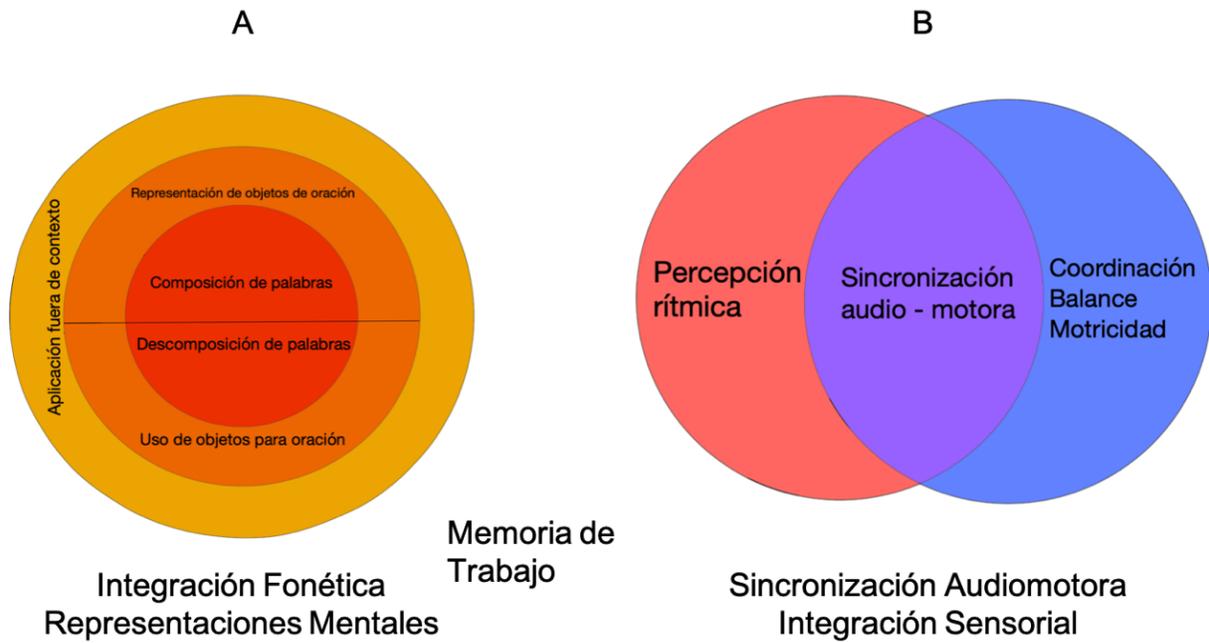


Figura 2. Representación teórica de juegos TAMI utilizados en tratamiento. A: juego GrafoTami, B: Beat Saber



Figura 3. Modelo de tratamiento de estimulación TAMI

3.5.1 BeatSaber

Juego de acción implementado en una plataforma de realidad virtual desarrollado por el estudio Hyperbolic Magnetism ahora BeatGames (2019) que consiste en realizar una serie de movimientos de coordinación audiomotora golpeando una serie de cubos en base al ritmo de una canción, variando en orden de estímulos, número de movimientos requeridos, velocidad, ritmo de la canción y dirección de movimientos (en base a la indicación por flechas presentadas dentro de los cubos) (Figura 4). Cada movimiento corresponde al ritmo de la canción presentada. En este proyecto el juego se utiliza como un método de estimulación de funciones de dominio general que involucra atención visoespacial, memoria de trabajo, coordinación visoespacial y coordinación audiomotora. Se aplicarán 15 sesiones con una duración de 30 minutos por sesión.

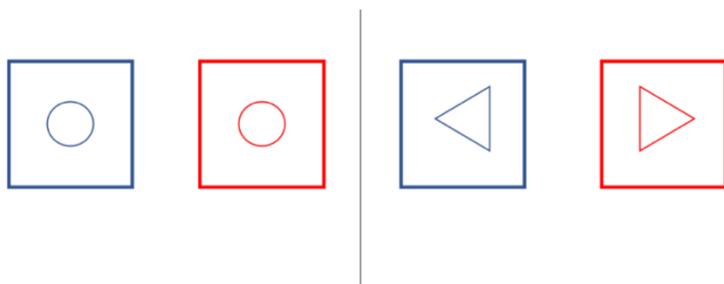


Figura 4. Ejemplificación de estímulos en juego Beat Saber

Parámetros de juego Beat Saber:

Se utilizarán 5 niveles de dificultad (Fácil, Normal, Difícil, Experto y Experto +), a los que se les asocian 5 canciones diferentes desarrolladas por los creadores del juego para sincronizar los movimientos con el ritmo de la canción. Las canciones son elegidas con base en los criterios de facilidad de seguimiento rítmico y ausencia de lenguaje durante la canción.

Canciones elegidas:

- BeatSaber Jarsolav Beck (1:56).
- Escape (ft. Summer Haze) - Summer Haze (2:42).
- Country Rounds (Sqeepo Remix) - Kings & Folk, Sqeepo (2:46).
- Rum n' Bass – Boom Kitty (3:19).
- Lvl Insane Jarsolav Beck (1:54).

Reglas de avance sobre el juego:

Por cada nivel en que el jugador obtenga un 90% de aciertos, podrá avanzar al siguiente nivel (dentro de las 5 canciones seleccionadas). En el momento en que el jugador obtenga el número de aciertos esperado en las 5 canciones, éstas se repetirán en el siguiente nivel de dificultad.

3.5.2 GrafoTami

Juego diseñado para uso en realidad virtual con plataforma UNITY (personal) y lenguaje C#. El juego consiste en dos partes: la primera consta de la identificación de objetos (figuras), donde el sujeto debe identificar el estímulo clave (palabra en color rojo) y posteriormente identificar, con un sistema de gatillo, al objeto (figura) que corresponde al estímulo clave. En la segunda parte, el sujeto debe identificar el estímulo clave (oración o frase a completar) y posteriormente identificar e interactuar con el objeto (palabra) que complete la frase u oración (Figura 5). Cuando el jugador identifica de forma correcta el objeto correspondiente al estímulo clave, un valor de 25 puntos es agregado. Al inicio de cada nivel se contabilizará el tiempo utilizado para resolverlo, el cual termina en el momento en el que no haya más palabras u objetos a identificar. Como control de

juego el jugador tendrá un número limitado de posibilidades para identificar los objetos correspondientes.

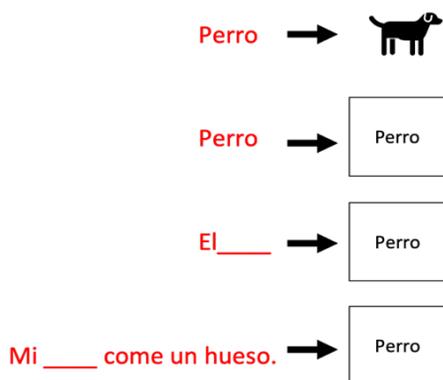


Figura 5. Ejemplificación de estructura de juego GrafoTami

El juego está conformado por 18 niveles (con dos variantes por nivel) que aumentan en orden de complejidad de lectura de la palabra, número de sílabas por palabra y número de palabras utilizadas en oraciones y frases, incluyendo en el último nivel un fragmento del texto “Observadores del Cielo” (Gallegos - Cázares, Flores - Camacho, Calderón – Canles ,& Covarrubias – Martínez, 2015). El juego de GrafoTami se centra en la estimulación de funciones de dominio específico de la lectura (codificación gráfica–fonética, manipulación gráfica–fonética, representación mental de palabras, manipulación de palabras en contexto)

Parámetros del juego GrafoTami:

Criterios:

- El paso del nivel dependerá de obtener el 100% de su puntaje en los juegos A y B.
- Cada acierto proporciona 25 puntos.

Criterios de aprobación:

- Nivel 1: 4 palabras = 100 puntos por juego.

- Nivel 2: 5 palabras 125 puntos por juego.
- Nivel 6 – 8: 5 palabras = 125 puntos por juego.
- Nivel 9: 5 palabras = 125 puntos por juego.
- Nivel 10 – 11: 3 palabras en frases incompletas = 75 puntos por juego.
- Nivel 12 – 14: 5 oraciones correctas 125 puntos por juego.
- Nivel 15 – 17: 5 oraciones correctas 125 puntos por juego.
- Nivel 18: Comprensión de párrafo corto extraído de libro “Observadores del cielo” (Gallegos - Cázares, Flores - Camacho, Calderón – Canles ,& Covarrubias – Martínez, 2015) del cual se realizan 5 preguntas de comprensión. 125 puntos por juego.

3.6 Pilotaje de Tratamiento TAMI

Se realizó un estudio de pilotaje con 9 niños (7 niños, 2 niñas) con un rango de edad entre 8 y 11 años que se encuentran entre 2º y 5º grado de primaria y no satisfacen los criterios para ser diagnosticados con TAL. Los participantes realizaron la aplicación de la batería psicométrica WISC-IV y la ejecución de las tareas de velocidad, precisión y comprensión de la subprueba de Lectura en la Escala Neuropsicológica Infantil (ENI-2). Se aplicaron 5 niveles del juego GrafoTami y 2 niveles del juego Beat Saber con las especificaciones mencionadas anteriormente seleccionando una canción de ejecución sencilla (menor número de movimientos requeridos) (“Beat Saber”, 116 seg) y de ejecución compleja (mayor número de movimientos requeridos) (“Rum n’ Bass”, 199 seg) en nivel fácil. Los resultados obtenidos se presentan de la siguiente manera: A) Datos descriptivos de la muestra con relación a ejecución de escalas WISC-IV y ENI-2; B) Confiabilidad y validez del juego GrafoTami; C) Confiabilidad y validez del juego Beat Saber; D) Correlación obtenida entre juegos de realidad virtual con los índices de memoria de

trabajo (IMT), velocidad de procesamiento (IVP), razonamiento perceptual (IRP) y comprensión verbal (ICV) y puntajes de comprensión, velocidad y precisión de lectura; y E) Conclusiones del pilotaje.

A) Datos descriptivos de la muestra con relación a ejecución de escalas WISC-IV y ENI-2.

En promedio, el coeficiente intelectual fue de 101.55 (Máx. 121, Mín. 89) con un desempeño promedio en los índices de comprensión verbal (media = 105.22), razonamiento perceptual (media = 105), velocidad de procesamiento (media = 99.11) y memoria de trabajo (media = 91.88), así como un desempeño promedio en las tareas de velocidad (media = 90), precisión (media = 92.88) y comprensión (media = 111.66) de la lectura. Estos puntajes están normalizados con base en la edad y el país de los participantes.

B) Confiabilidad y validez del juego GrafoTami

Los resultados de la aplicación de los niveles de juego GrafoTami muestran un nivel de confiabilidad α de Cronbach de 0.698. Los resultados muestran un aumento en el tiempo de ejecución conforme incrementa la dificultad del nivel (figura 7), resaltando que en la presente muestra los niños no exhiben criterios diagnósticos de TAL. Existe una correlación significativa de Spearman entre el tiempo de ejecución en los niveles 8 y 5, 9 y 8, 14 y 9 (tabla 1), lo cual sugiere que a mayor dificultad el nivel de juego tendrá mayor tiempo de ejecución.

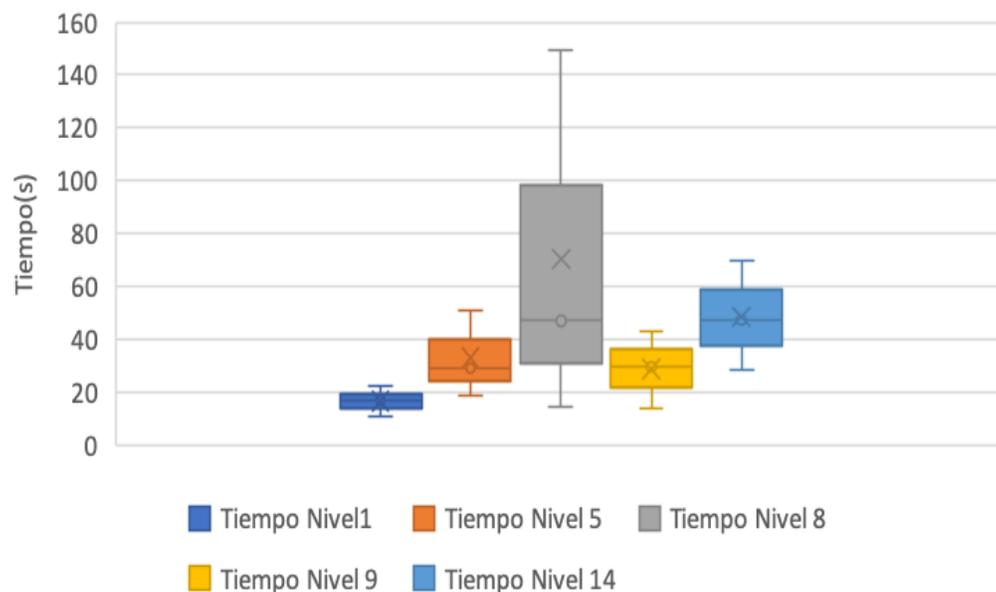


Figura 7. Gráfica de promedio de tiempo de ejecución en pilotaje del juego GrafoTami

Tabla 1. Correlación de tiempos de ejecución en niveles de pilotaje

	Nivel 1	Nivel 5	Nivel 8	Nivel 9	Nivel 14
Nivel 1	1				
Nivel 5		1	0.667*		
Nivel 8			1	0.887**	
Nivel 9				1	0.783**
Nivel 14					1

* (p = 0.05); ** (p = 0.001)

C) Confiabilidad y validez del juego Beat Saber

Los resultados de la aplicación de los niveles de juego Beat Saber muestran un nivel de confiabilidad α de 0.484. Existe una correlación significativa de Spearman entre el número de movimientos correctos (aciertos) con el puntaje del nivel (tabla 2). Existe una correlación significativa entre el número de movimientos correctos (aciertos) y entre los niveles de juego utilizados.

Tabla 2. Correlación de tiempos de ejecución en niveles de pilotaje

	Score Beat Saber	Aciertos Beat Saber	Score Rum n' Bass	Aciertos Rum n' Bass
Score Beat Saber	1	0.983**		
Aciertos Beat Saber		1		0.55*
Score Rum n' Bass			1	1**
Aciertos Rum n' Bass				1

*p = 0.05; **p = 0.001

D) Correlación obtenida entre juegos de realidad virtual con IMT, IVP, ICV, IRP y puntajes de comprensión, velocidad y precisión de lectura.

Los resultados del estudio de pilotaje muestran una correlación significativa positiva entre el tiempo de ejecución de 3 de los 5 niveles seleccionados del juego GrafoTami con los índices de razonamiento perceptual y memoria de trabajo, así como las áreas de precisión y velocidad de lectura. Por otro lado, existe una correlación positiva entre el puntaje obtenido en los niveles del juego Beat Saber con el índice de comprensión verbal y una correlación negativa con el tiempo de juego en GrafoTami (tabla 3).

Tabla 3. Correlación entre tiempo, score (GrafoTami), Score (Beat Saber), WISC y ENI;

	IRP	IMT	ICV	Velocidad	Precisión	Tiempo Nivel 1
Tiempo Nivel 1 (GT)	0.588*	0.599*				1
Tiempo Nivel 8 (GT)				0.593*	0.604*	
Score Nivel 5 (GT)	0.647*					
Score Beat Saber (BS)						-0.621*
Score Rum n' Bass (BS)			0.481a			

a (p = .10); * (p = .05)

GT (GrafoTami); BS (BeatSaber); IRP (índice de razonamiento perceptual); IMT (índice de memoria de trabajo); ICV (índice de comprensión verbal).

E) Conclusiones del pilotaje.

A pesar del tamaño limitado de la muestra ($n = 9$), los resultados nos permiten considerar que hay cierta confiabilidad, validez de constructo y validez aparente en los dos juegos de realidad virtual seleccionados para el tratamiento. Los resultados muestran una relación entre el tiempo y el puntaje de un juego de lectura con la memoria de trabajo, velocidad y precisión de lectura. La relación entre un juego específico de lectura y un juego que requiere de funciones de dominio general como Beat Saber nos permite inferir que ambos juegos requieren de funciones como memoria de trabajo y atención para su ejecución. Los resultados del estudio de pilotaje validan el uso de ambos videojuegos de realidad virtual como formas de tratamiento en el presente proyecto de investigación.

3.7 Descripción de la muestra

La muestra de participantes consistió en 11 niños diestros de entre 7 y 10 años de edad (rango de edad entre 6.9 y 10.9 años) que cursaban entre 1º y 3º año de educación primaria. Con base en el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-5, 2013), los niños con TAL deben presentar un puntaje con 1.5 desviaciones estándar por debajo del promedio (percentil 9) al menos en una de las áreas de la lectura (velocidad, precisión y comprensión) y no presentar déficit intelectual (Coeficiente Intelectual (CI) menor que 75) u otro trastorno neurocognitivo o del neurodesarrollo. Los participantes fueron asignados aleatoriamente a uno de dos grupos: Grupo Experimental (GE) y Grupo en Lista de Espera (GLE). El GE consta de 6 participantes (1 mujer, 5 hombres) con un promedio de edad de 8.35 años (7.1 – 10.9). El GLE consta de 5 participantes (3 mujeres, 2 hombres) con un promedio de edad de 7.46 años (6.9 – 7.8). Los participantes fueron contactados mediante la difusión por medio de pláticas a profesores y padres en escuelas primarias

de Querétaro, Qro. Los puntajes obtenidos en la evaluación de las áreas de comprensión, precisión y velocidad de la lectura se encuentran detallados en la tabla 4. Los puntajes obtenidos en la evaluación de el coeficiente intelectual y los índices que le componen se encuentran detallados en la tabla 5. Los grupos GE y GLE no muestran diferencias significativas en edad ($W = 20$; $p = 0.410$), comprensión, precisión y velocidad de lectura (ver tabla 4) ni en el coeficiente intelectual y los índices que le componen (ver tabla 5). El test de normalidad de Shapiro Wilks señala que la muestra de participantes no tiene una distribución normal en las áreas de precisión de la lectura (0.636 , $p < 0.001$), comprensión de la lectura (0.723 , $p < 0.001$) y velocidad de la lectura (0.728 , $p = 0.001$).

Tabla 4. Puntajes percentiles del dominio de la lectura en Escala Neuropsicológica Infantil (ENI-2)

	Grupo	Promedio	SD	Mediana	Rango	W	p
Precisión de la Lectura	GE	7.217	11.140	0.550	0.1 – 26	18.00	0.597
	CLE	7.480	16.500	0.100	0.1 – 37	0	
Comprensión de la lectura	GE	25.180	30.520	12.500	0.1 – 75	21.50	0.268
	CLE	25.700	11.350	21	0.1 – 26	0	
Velocidad de la lectura	GE	4.530	6.590	1.050	0.1 – 16	13.50	0.848
	CLE	7.060	11.260	0.100	0.1 – 26	0	
Atención visual	GE	7.830	2.850	9.000	2 – 9	5.500	0.083
	CLE	28.800	21.140	26.000	2 – 50		
Atención auditiva	GE	32.830	34.370	26.500	1 – 91	16.50	0.854
	CLE	25.880	19.050	26.00	0.4 – 50	0	

GE = Grupo Experimental; GLE = Grupo en Lista de Espera

Tabla 5. Puntajes escalares de Coeficiente Intelectual (CI) e Índices de la Escala Wechsler para Niños (WISC – IV)

	Grupo	Promedio	SD	Mediana	Rango	W	p
ICV	GE	90.830	6.990	91	79 – 99	14.500	1.000
	GLE	96.200	25.880	91	67 – 138		
IRP	GE	98.330	21.960	98	73 – 125	10.000	0.410
	GLE	110.00	7.450	110	100 - 119		
IMT	GE	89.330	4.450	89.5	83 - 94	10.500	0.461
	GLE	92.200	5.630	91	86 - 99		
IVP	GE	84.660	7.630	85	73 - 97	11.000	0.517
	GLE	92.800	13.250	94	78 - 112		
CI	GE	89.160	11.670	93	75 - 101	10.500	0.463
	GLE	97.800	12.590	97	84 – 115		

GE = Grupo Experimental; GLE = Grupo en Lista de Espera; ICV = Índice de Comprensión Verbal; IRP = Índice de Razonamiento Perceptual; IMT = Índice de Memoria de Trabajo; IVP = Índice de Velocidad de Procesamiento; CI = Coeficiente Intelectual

Criterios de inclusión, exclusión y eliminación del Grupo Experimental (GE) y Grupo en Lista de Espera (GLE)

Criterios de Inclusión:

- Coeficiente intelectual mayor o igual a 75.
- Puntaje menor o igual que 1.5 desviaciones estándar (percentil 9) en las áreas de precisión, velocidad y/o comprensión de Lectura de la Escala Neuropsicológica Infantil.
- Lateralidad diestra.

Criterios de Exclusión:

- Presentar algún trastorno psiquiátrico, neurológico o del desarrollo.
- Menarquia en las niñas.
- Desventaja sociocultural severa (madre con estudios inferiores a 3° de primaria y/o ingreso per cápita familiar inferior al 50% del salario mínimo vigente). Este criterio es establecido a partir de la evidencia mostrada por Harmony et al. (1990) en la que niños en una situación

de pobreza cuyos padres tenían escolaridad inferior a tercero de primaria, presentaban bajo desempeño escolar y alteraciones severas en su EEG.

Criterios de Eliminación:

- Decisión voluntaria del participante o de sus representantes legales en no continuar con el protocolo.
- Tres faltas consecutivas de asistencia del voluntario a las citas agendadas dentro del proceso de evaluación.
- Tres faltas consecutivas de asistencia del voluntario a las sesiones de tratamiento.

3.8 Instrumentos de Evaluación

3.8.1 Lectura

Escala Neuropsicológica Infantil (ENI-2):

La ENI-2 evalúa las áreas de memoria, habilidades construccionales, habilidades perceptuales, lenguaje, habilidades metalingüísticas, escritura, aritmética, lectura, atención, fluidez verbal, fluidez gráfica y flexibilidad. Ésta tiene un rango de coeficiente de confiabilidad de 0.858 a 0.957 (Matute, Rosselli, Ardila, & Ostrosky, 2013). Como propósito del presente proyecto se tomará en cuenta el dominio de la lectura. En la Tabla 6 se describen los subdominios del dominio de lectura: precisión, comprensión y velocidad y qué pruebas se aplican para evaluar cada uno de ellos. Existe un trastorno de la lectura cuando el puntaje obtenido por el individuo alcanza un percentil menor o igual que 9, lo que corresponde (al menos) a 2 desviaciones estándar por debajo de la media.

Tabla 6. Subdominios y pruebas de las áreas de dominio de Lectura

Dominio	Subdominio	Prueba
Lectura	Precisión	Lectura de sílabas
		Lectura no palabras
		Lectura oraciones
		Precisión lectura de texto en voz alta
	Comprensión	Oraciones
		Lectura de texto voz alta
		Lectura silenciosa en un texto
	Velocidad	lectura de texto en voz alta
		Lectura silenciosa de un texto

3.8.2 Atención

Escala Neuropsicológica Infantil (ENI-2):

Con propósito el proyecto se tomará en cuenta el dominio de atención el cual se divide en las áreas de atención visual y atención auditiva. El área de atención visual consta de dos tareas de cancelación (letras y figuras), mientras que el área de atención auditiva consta de las tareas de repetición de dígitos en progresión y dígitos en regresión. De ambas áreas se tomarán en cuenta los puntajes percentiles.

Test de Variables de Atención (TOVA):

Consiste en una tarea visual de ejecución continua computarizada y estandarizada en población normal, con duración de 21.6 minutos, en la cual se evalúan atención selectiva e inhibición (Greenberg, 1991). Cada 2 segundos, se presenta aleatoriamente (durante 100 ms) uno de dos estímulos en un monitor de computadora. La tarea del sujeto es presionar un botón en el momento

en que el estímulo clave (cuadrado blanco que contiene en la parte superior un pequeño cuadrado negro) aparece y no presionar cuando no aparece (es una tarea de tipo "go / no go"). La prueba se divide en dos segmentos. Durante el primer segmento (atención selectiva) el estímulo clave tiene una aparición infrecuente (22.5%), mientras que durante, el segundo segmento (inhibición) tiene una aparición frecuente (77.5%). Las variables de interés para este estudio son: el porcentaje de errores por omisión, el porcentaje y errores por comisión, el tiempo de respuesta y el puntaje global transformado a una puntuación z (conocido como ADHD score).

3.8.3 Memoria de Trabajo

Escala Weschler de Inteligencia para niños (WISC-IV):

La escala permite una valoración psicométrica de los índices de razonamiento perceptual, memoria de trabajo, velocidad de procesamiento y comprensión verbal (Tabla 7), así como del coeficiente intelectual. El desempeño del niño es comparado con normas de la población mexicana que se encuentra en un mismo rango de edad y nivel de escolaridad. La validez de constructo de los índices es la siguiente: Comprensión Verbal ($r = 0.94$), Razonamiento Perceptual ($r = 0.92$), Memoria de Trabajo ($r = 0.92$), Velocidad de Procesamiento ($r = 0.88$) y un coeficiente total (CI) ($r = 0.97$) (Wechsler, 2008). En base al CI obtenido, el individuo se clasifica como: discapacidad intelectual (coeficiente menor a 70), limítrofe (coeficiente entre 70 y 80), promedio bajo (coeficiente entre 80 y 90), promedio (coeficiente entre 90 y 110), promedio alto (coeficiente entre 110 y 120), superior (coeficiente entre 120 y 130) y muy superior (coeficiente superior a 130).

Tabla 7. Índices y pruebas WISC-IV

Índices	Pruebas
Índice de Comprensión Verbal (ICV)	Semejanzas Vocabulario Comprensión Información Palabras en contexto (pistas)
Índice de Razonamiento Perceptual (IRP)	Diseño con cubos Conceptos con dibujos Matrices Figuras incompletas
Índice de Memoria de Trabajo (IMT)	Retención de dígitos Sucesión de Números y letras Aritmética
Índice de Velocidad de Procesamiento (IVP)	Claves Búsqueda de símbolos Registros

3.8.4 Sincronización Audiomotora

Tarea de Sincronización Audiomotora (TSA):

La tarea de Sincronización audiomotora consiste en la vocalización de una serie de susurros con la sílaba “ta” mientras se escucha una serie de seis sílabas computarizadas que se presentan de forma continua mediante audífonos. Al participante se le da la instrucción de susurrar a un ritmo similar al de las sílabas escuchadas. La presentación de la tarea consta de dos bloques de 1 minuto, con intervalos previos de práctica e instrucciones que duran entre 1 y 2 minutos. La tarea es presentada en una computadora portátil MacBook con un fondo de pantalla en blanco y las instrucciones en color negro. Durante la ejecución de la tarea, se presentará un estímulo neutro (punto de color rojo fijo) en la pantalla de la computadora para mantener la atención del

participante hacia ese punto. El sujeto realizará la tarea utilizando unos audífonos “earpods” de la marca Apple. Los resultados serán analizados mediante el programa MATLAB R2016 a partir del cálculo del valor de la envolvente de los susurros y su comparación con el audio escuchado. El cálculo se realiza a partir de la descomposición del sonido en sus fases (por medio de la transformación de Hilbert) y la estimación de sincronía a partir de la diferencia entre el sonido escuchado y el sonido producido (Phase Locking Value, PLV), lo que genera un valor entre 0 y 1 (Assaneo et al., 2019).

3.8.5 Coordinación y balance

Tarea de coordinación motora:

Esta tarea se realiza en colaboración con la Unidad de Biomecánica del INB, UNAM, campus Juriquilla. Consta de las siguientes actividades motoras, enfocadas en la coordinación y el balance:

- Bipedestación (BP): El sujeto se encuentra parado sobre ambos pies con brazos relajados y palmas abiertas.
- Unipodal en condición de ojos abiertos (UPOA): El sujeto se encuentra parado en un solo pie (no dominante) con los brazos extendidos lateralmente en condición de ojos abiertos.
- Unipodal en condición de ojos cerrados (UPOC): El sujeto se encuentra parado en un solo pie (no dominante) con los brazos extendidos lateralmente en condición de ojos cerrados.
- Marcha en tándem (MAHTA): El sujeto realiza marcha sobre una línea recta de 3 metros colocando un pie delante del otro, comenzando con el pie derecho. Al llegar al final de la línea el sujeto realiza un giro de 180° y camina de regreso sobre la misma línea.
- Saltos: Saltos laterales con ambos pies cruzando una línea recta durante 15 segundos.

La tarea de coordinación motora se basa en la Batería de Evaluación de Coordinación Motora para niños (KTK por su nombre en alemán; Schilling y Kiphard, 1974), previamente adaptada para su aplicación en población latinoamericana (dos Santos et al., 2018).

Antes de iniciar las actividades, al niño se le colocan 41 marcadores distribuidos a lo largo del cuerpo. Durante la ejecución de la tarea, se hace un seguimiento biomecánico (mediante el uso de infrarrojo) de los movimientos del niño; esto corresponde a una adaptación del Modelo Davis (Olree & Christopher, 1995). Para el análisis y registro de los movimientos, se utiliza el Software Smart Tracker. Los valores biomecánicos registrados en estos marcadores son nuestras variables de interés. Estos valores se centran en el desplazamiento (distancia del movimiento), la oscilación durante la ejecución de la tarea, y el tiempo de apoyo y la presencia de doble apoyo en el caso de las actividades unipodales.

3.8.6 Conectividad Funcional

Resonancia Magnética Funcional (RMf):

Estudio de RMf en reposo de forma previa y posterior al tratamiento con el objetivo de observar la actividad metabólica, la cual refleja de forma indirecta la actividad neuronal. El estudio será realizado en un resonador de 3 Tesla GE Discovery MR750, ubicado en la Unidad de Resonancia Magnética del Instituto de Neurobiología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Juriquilla, Querétaro. El número de participantes en esta sección fue de 5 (1 mujer, 4 hombres) del GE. 1 participante fue excluido a razón de una falta de deseo de participar dentro de esta sección

del estudio. En base al estudio realizado por Alcauter et al. (2017) la secuencia que se utilizó para la ejecución del estudio es la siguiente:

Imagen T2* con una secuencia de imagen ecoplanar (TR = 2000ms, TE = 40ms, tamaño final del voxel = 64 mm³) en una condición de ojos cerrados con un total de 300 volúmenes y un tiempo de adquisición de 10 minutos. A la par se realizará la adquisición de una imagen con propósito de referencia anatómica de alta resolución estructural con la siguiente secuencia: Imagen pesada a T1 utilizando un sistema de echo de gradiente (SPGR) con una resolución espacial de 1 x 1 x 1 mm³ (TR = 8.1ms, TE = 3.2ms, ángulo de giro = 12. 0°).

El análisis de las imágenes obtenidas y de la saturación de oxígeno en las estructuras relevantes para la red de lectura y las regiones de interés, están descritos en Alcauter et al. (2017) y en Martin, Schurz, Kronbichler, & Richlan (2015).

El preprocesamiento utilizado se basa en el propuesto por García Tabuenca, Díaz Patiño, Arelio y Alcauter (2020). Éste se basa en la implementación de MRIB's Software Libraries (FSL v.5.0.6; Jenkinson et al., 2012) que incluye los pasos de eliminación de los cuatro primeros volúmenes, espaciado temporal, corrección del movimiento de la cabeza, extracción del cerebro, regresión de las variables confusoras, pase de banda con filtrado temporal (0.01 - 0.08Hz) y normalización espacial. Las variables confusoras que se utilizaron para el análisis de regresión de la imagen funcional incluyeron los seis parámetros de movimiento de cuerpo rígido, el promedio de señal de la sustancia blanca y líquido cefalorraquídeo. A la par se tomaron los derivativos de las 8 variables confusoras teniendo un total de 16 variables. Se calculó el promedio de la raíz cuadrada de los

volúmenes relacionados con el movimiento de la cabeza (RMS). Los sujetos que presentaban un promedio mayor a 0.55 mm o 4 minutos de señal de afectada por movimiento fueron descartados. Por último, se realizó el registro de cada volumen de fMRI con su correspondiente imagen TI con un registro no lineal de 4 x4 x4 mm³ y ajuste al atlas del Instituto Neurológico de Montreal (MNI)

Se generaron esferas de 4 mm de las regiones de interés (ROI) en base a las redes de lectura propuestas por Martin et al. (2015) y Alcauter et al. (2017), para mayor detalle ver tabla 8. Se realizó el cálculo del promedio de la señal de las ROI. Para cada sujeto se realizó una correlación de Pearson para estimar la conectividad entre cada ROI y formar una matriz, posteriormente se realizó una transformación z de Fisher. Para identificar redes (conjunto o clúster de conexiones) que son significativamente distintas entre los grupos se utilizó la aproximación por “network-based statistics (NBS)” (Zalesky, Fornito, & Bullmore, 2010). La aproximación por NBS señala la fuerza de conectividad del clúster que muestra una diferencia significativa entre dos grupos (comparación pre – post) utilizando 10,000 permutaciones. El análisis fue realizado utilizando una NBS toolbox para MATLAB (versión R2019a). A la par se realizó un análisis de correlación de Pearson con corrección por FDR entre las matrices de conectividad y las variables cognitivas de habilidades de lectura (precisión de la lectura, comprensión de la lectura y velocidad de la lectura).

Tabla 8. Regiones de interés relacionadas con la red de lectura bajo ejecución de reposo

Estudio	Estructura	x	y	z
Esferas de 4mm				
Alcauter et al, 2017	Caudado izquierdo	-22	-22	-8
	Ínsula izquierda	-30	6	32
	Giro frontal medial izquierdo, parte lateral	-25	33	-8
	Giro medial temporal izquierdo	-46	6	0
	Parte opercular izquierda del giro frontal inferior	-18	18	0
	Parte orbital izquierda del giro frontal inferior	-38	-2	36
	Putamen izquierdo	-26	10	36
	Opérculo Rolándico izquierdo	-10	14	8
	Giro frontal superior dorsolateral	-30	10	28
	Giro temporal superior izquierdo	-46	6	4
	Polo temporal superior izquierdo	-18	30	36
	Giro transverso temporal izquierdo	-42	-10	40
	Área triangularis izquierda	-50	-10	-4
	Giro postcentral izquierdo	-38	6	20
	Giro precentral izquierdo	-30	-26	12
Martin et al, 2015	Área motriz suplementaria izquierda	-2	24	56
	Área motriz suplementaria derecha	4	8	50
	Giro frontal inferior izquierdo	-50	22	4
	Giro frontal medial izquierdo	-52	24	18
	Giro precentral izquierdo	-48	26	24
	Giro temporal inferior izquierdo	-56	4	32
	Giro temporal superior izquierdo	-52	-60	14
	Giro temporal medial izquierdo	-56	-32	16
	Lóbulo parietal superior izquierdo	-58	-26	-6
Área motriz suplementaria izquierda	-22	-52	52	

3.8.7 Actividad electroencefalográfica

Electroencefalograma (EEG)

El EEG es el registro de la actividad eléctrica cerebral y se representa por una gráfica del voltaje (microvolts) en función del tiempo (milisegundos). El EEG tiene una naturaleza oscilatoria; así, la frecuencia dominante de las oscilaciones viene a ser su principal descriptor. Entonces, una forma adecuada de analizar el contenido de frecuencias del EEG, es empleando métodos de series de tiempo. Existen muchas formas de analizar series de tiempo; sin embargo, la forma más común de hacerlo es calculando el Espectro de Potencias de la señal de EEG por medio de la Transformada Rápida de Fourier (FFT).

En el dominio de las frecuencias pueden definirse las siguientes bandas: delta (1.5 – 3.5 Hz), theta (3.6 – 7.5 Hz), alfa (7.6 – 12.5 Hz) y beta (12.6 – 19 Hz). La Potencia Absoluta (PA) de una banda corresponde al área bajo la curva de la potencia acotada por los límites de la banda. Dada la alta variabilidad interindividual del EEG, la PA debe corregirse por el Poder Geométrico (Hernández, 1994), el cual reduce esa variabilidad en más de un 40%.

Para establecer un criterio de normalidad del EEG en reposo es necesario, por un lado, hacer un análisis visual de la señal que nos permita detectar grafoelementos anormales. Por otro lado, es imprescindible el uso de normas. En este trabajo se utilizarán las normas descritas por Valdés et al. (1994) y Bosch-Bayard et al. (2020). Al comparar con normas se obtienen valores z , que se definen como sigue:

$$z = (x - \mu) / \sigma;$$

donde x es el valor de potencia del individuo en una banda para determinada derivación, y μ y σ son la media y la desviación estándar, respectivamente, de esa potencia en la base de datos normativa para individuos de la misma edad.

Se llevará a cabo un registro de EEG en las 19 derivaciones del sistema internacional 10-20, en un montaje referencial, referido a los lóbulos de las orejas en cortocircuito. Para ello se utilizará el programa Track Walker, instalado en el sistema de registro y análisis MEDICID-IV (NEURONIC A.C.) con una frecuencia de muestreo de 200Hz y un periodo de muestreo de 5 milisegundos.

3.8.8 Autoconcepto

Escala de Autoconcepto Piers-Harris:

La escala consta de un cuestionario con 80 reactivos enfocados a población infantil escolar. Se divide en 6 áreas: autoconcepto conductual (18 reactivos), autoconcepto intelectual (12 reactivos), autoconcepto físico (17 reactivos), falta de ansiedad (12 reactivos), popularidad (9 reactivos) y felicidad y satisfacción (12 reactivos). A partir de los puntajes obtenidos en estas 6 áreas puede obtenerse un puntaje de autoconcepto global. Los valores obtenidos son transformados a puntuación percentil mediante la comparación con normas desarrolladas en niños con desarrollo típico del mismo grado escolar. (Piers, Herzberg & Harris, 1969; Fierro, Godoy & Cardenal, 1987)

3.9 Procedimiento

El procedimiento experimental consiste en las siguientes etapas:

- Reclutamiento
- Aplicación de Pruebas
- Tratamiento
- Evaluación Posterior.

Etapa de reclutamiento: Visita a escuelas de la ciudad de Querétaro, Qro., para exponer el proyecto a padres de niños que muestran dificultades académicas en opinión de los maestros. Posteriormente se hablará por teléfono a los padres interesados en que sus hijos ingresen al proyecto. En el primer contacto se les invitará a asistir a una entrevista de valoración general que abarca los siguientes temas (desarrollo de su hijo, ambiente familiar, desarrollo escolar, accidentes previos, percepción de la conducta en casa y escuela). A la par se realizará la aplicación de las pruebas ENI y WISC – IV.

Los niños que fueron incluidos en el protocolo de investigación se les entregó una hoja de consentimiento a los padres en donde se les informó de manera escrita y verbal el propósito del proyecto de investigación y las pruebas que se realizaron dentro del protocolo. Se les informó que tienen la libertad de abandonar el proyecto en el momento en que lo deseen. Se les informó que los datos obtenidos se manejarán de forma confidencial y serán tratados de manera anónima, sin hacer alusión a ningún tipo de información general en cualquier resultado que sea difundido a partir de los datos obtenidos en el proyecto y cumpliendo los acuerdos de la declaración de Helsinki. En caso de que el participante no cumpla con los criterios de inclusión, decida terminar su colaboración o no asista a tres sesiones consecutivas de tratamiento, se le entregará un reporte con los resultados de las pruebas realizadas hasta el momento.

Etapa de Aplicación de Pruebas:

La aplicación de pruebas se realizó en dos periodos: 1) previo al inicio del tratamiento en ambos grupos (GE y GLE) y 2) posterior al tratamiento sólo en el GE. Se realizó la aplicación de las siguientes pruebas:

- WISC-IV (aplicada para criterio de inclusión).
- ENI-2 (aplicada para criterio de inclusión).
- Test de Variables de Atención (TOVA).
- Tarea de Sincronización Audiomotora (TSA).
- Escala de Autoconcepto Piers Harris (PH).
- Electroencefalograma (EEG) en reposo con ojos cerrados.
- Tarea de Biomecánica (TBM).
- Resonancia Magnética funcional (RMf).

Etapa de Tratamiento: El GE recibió el tratamiento por 30 sesiones (3 sesiones de 30 minutos a la semana) de las cuales jugó en las primeras 15 sesiones el juego de Beat Saber y las siguientes 15 el juego de GrafoTami, acorde a lo especificado en la sección de tratamiento. El número de sesiones y tiempo se basan en los parámetros comunes de aplicación en base a la revisión realizada por Stanmore, Stubbs, Vancampfort y Firth (2017).

Etapa de Evaluación Posterior: Al término del tratamiento se realizó la aplicación de los siguientes instrumentos: EEG, RMf, TSA, TBM, TOVA, PH, ENI-2 y WISC-IV al GE. A razón de la

pandemia ocasionada por COVID – 19 y las restricciones sanitarias únicamente se pudieron aplicar los instrumentos de ENI – 2, TOVA, PH, TSA y WISC-IV al GLE para la evaluación posterior. Al concluir el tratamiento y pruebas posteriores se realizó la entrega de un reporte de resultados a los padres de cada voluntario dentro de la muestra.

4. ANÁLISIS DE DATOS

4.1 Evaluación de efectos del tratamiento en el Grupo Experimental y comparación con el Grupo en Lista de Espera.

4.1.1 Comparación cuantitativo pre-post tratamiento entre Grupo Experimental y Grupo en lista de espera.

Se realizó un análisis descriptivo de razón de las variables de interés (definidas en la sección de instrumentos) para conocer el coeficiente de dispersión, coeficiente de variación y coeficiente de concentración entre los puntajes previos y posteriores al tratamiento en ambos grupos. Para realizar la comparación entre grupos se calculó la diferencia entre los puntajes de evaluación posterior y previa (valores post – valores pre). El resultado de la diferencia recibió el nombre de DIFFscore. Tras la obtención del DIFFscore de las variables del dominio de lectura, atención, sincronización audiomotora y autoconcepto se realizó un análisis estadístico no paramétrico por medio de la prueba U de Mann Whitney con corrección por Monte Carlo (10,000 muestras) para conocer si había diferencias significativas entre los grupos tras el tratamiento.

Se realizó el cálculo del tamaño del efecto de manera cuantitativa utilizando la *d* de Cohen (1988; Ellis, 2010) en las áreas de dominio de lectura y atención de la escala ENI–2 así como para las

variables ADHD score, porcentaje de errores por omisión, porcentaje de errores por comisión y tiempo de respuesta de la prueba TOVA y para las dimensiones previamente mencionadas de la escala de autoconcepto Piers Harris. Esta medida toma en consideración los promedios de la evaluación posterior y los divide entre el promedio de las desviaciones estándar tomando en cuenta la siguiente fórmula:

$$d = \frac{\text{(promedio de grupo experimental - promedio de grupo control)}}{\text{Promedio de desviación estándar de ambos grupos}}$$

Los resultados generan un valor que oscila entre -2 y 2 y dan un referente sobre el tamaño del efecto de un tratamiento sobre un grupo experimental.

4.1.2 Comparación cualitativa pre – post tratamiento entre Grupo Experimental y Grupo en Lista de Espera

Se realizó un análisis no paramétrico U de Mann Whitney con corrección por Monte Carlo (10,000 muestras) para los puntajes percentiles de la Escala Neuropsicológica Infantil (ENI – 2) en las áreas de dominio de lectura (precisión, comprensión y velocidad) y atención (atención visual y atención auditiva) obtenidos antes y después del tratamiento. Mismo análisis fue realizado para el Test de Variables de Atención (TOVA) (que abarca las variables de ADHD score, porcentaje de errores por omisión, porcentaje de errores por comisión y tiempo de respuesta), la tarea de sincronización audiomotora (tomando en cuenta el valor de la envolvente promedio) y la escala de autoconcepto Piers Harris (considerando los puntajes percentiles en las áreas de autoconcepto descritas en la sección de instrumentos).

Se realizó un análisis cualitativo calculando el tamaño del efecto por medio del cálculo del valor de los pares que no se sobrelapen (NAP, por sus siglas en inglés) (Parker & Vannest, 2009) con el objetivo de observar los cambios individuales del tratamiento sobre el grupo experimental en comparación con el grupo control (Grupo en Lista de Espera). El método consiste en calcular el porcentaje de aquellos pares (puntajes pre – post) en los que los valores posteriores sean mayores que los valores previos por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{NAP} = (\text{Total de pares} - \text{Pares en los que Pre} > \text{Post}) / \text{Total de pares}$$

Entendiendo al total de pares como todas las posibles combinaciones de elementos que componen una variable y la condición $\text{Pre} > \text{Post}$ como el número de pares en los que los valores previos son mayores a los valores obtenidos en la evaluación posterior. A continuación, se presenta una tabla de los elementos que componen las variables de lectura, atención, sincronización audiomotora, autoconcepto y memoria de trabajo (tabla 9).

Tabla 9. Variables y elementos utilizados para el análisis cualitativo de no solapamiento de pares (NAP)

Variable	Instrumento	Elementos que le componen
Precisión de la lectura	ENI – 2	Lectura de sílabas, Lectura de palabras, Lectura de no palabras, Lectura de oraciones, Palabras con error
Comprensión de la lectura	ENI – 2	Comprensión de oraciones, Comprensión de lectura en voz alta, Comprensión de lectura en silencio
Velocidad de la lectura	ENI -2	Lectura en voz alta, Lectura en silencio
Atención visual	ENI – 2	Cancelación de dibujos, Cancelación de letras
Atención auditiva	ENI -2	Dígitos en progresión, Dígitos en regresión
ADHD score	TOVA	ADHD score (z score)
Porcentaje de errores	TOVA	Porcentaje de errores por omisión, Porcentaje de errores por comisión
Tiempo de respuesta	TOVA	Tiempo de respuesta
Valor de la envolvente	TSA	Valor de la envolvente (1° registro), Valor de la envolvente (2° registro)
Autoconcepto	Piers Harris	Autoconcepto conductual, Autoconcepto intelectual, Autoconcepto físico, No ansiedad, Percepción de popularidad, Percepción de felicidad y satisfacción
Comprensión Verbal	WISC – IV	Semejanzas, Vocabulario, Comprensión, Información
Razonamiento Perceptual	WISC – IV	Diseño con cubos, Conceptos con dibujos, Matrices, Figuras incompletas
Memoria de Trabajo	WISC – IV	Retención de dígitos, Sucesión de números y letras, Aritmética
Velocidad de Procesamiento	WISC – IV	Claves, Búsqueda de Símbolos

ENI – 2 = Escala Neuropsicológica Infantil; TOVA = Test de Variables de Atención; TSA = Tarea de Sincronización Audiomotora; Piers Harris = Escala de Autoconcepto Piers Harris; WISC – IV = Escala Wechsler de Inteligencia para Niños

4.2 Evaluación de efectos del tratamiento en Grupo Experimental.

A razón de la pandemia ocasionada por COVID19 sobre los periodos de Primavera – Otoño 2020 y primavera 2021 solamente fue posible adquirir la evaluación posterior en el GE (n = 6) sobre las variables de memoria de trabajo (escala WISC – IV) coordinación y balance (tareas motoras), actividad electroencefalográfica (EEG) y conectividad funcional (RMf).

4.2.1 Comparación pre – post tratamiento

Para la evaluación de los índices evaluados por la escala WISC – IV (comprensión verbal, razonamiento perceptual, memoria de trabajo y velocidad de procesamiento), los valores normados de potencias obtenidas en el EEG (19 canales acorde al sistema internacional 10-20) y los valores obtenidos en las tareas motoras por medio del análisis de biomecánica (oscilación, distancia y velocidad de movimiento) se realizó un análisis estadístico no paramétrico utilizando la prueba U de Mann Whitney con corrección por Monte Carlo (10,000 muestras) para conocer si había diferencias estadísticamente significativas después del tratamiento.

Para conocer si había diferencias significativas después del tratamiento en la conectividad funcional se realizó un análisis de permutaciones sobre las matrices de conectividad obtenidas a partir del promedio de actividad de regiones de interés de la señal obtenida en el estudio por Resonancia Magnética Funcional (RMf) (ver más información en la sección de instrumentos). A la par se realizó un análisis de correlación de Spearman con corrección por FDR para conocer si había una relación significativa entre la conectividad funcional obtenida y las variables del dominio de la lectura (precisión, velocidad y comprensión) y observar si dicha correlación se modificaba después del tratamiento.

4.3 Software

Los análisis estadísticos no paramétricos fueron realizados utilizando el software SPSS (versión 25). El análisis cualitativo del cálculo del tamaño del efecto fue realizado utilizando el software de Microsoft Excel (versión 2012). El análisis por permutaciones de conectividad funcional se realizó utilizando el toolbox “Network Based Statistics” (NBS Connectome v1.2, 2012) ((Zalesky, Fornito, & Bullmore, 2010) para MATLAB (versión R2019). Por último, las gráficas presentadas fueron realizadas utilizando el software JASP versión 0.13.1 (JASP Team (2020)

5. RESULTADOS

5.1 Efectos del tratamiento en el Grupo Experimental y comparación con el Grupo en Lista de Espera.

5.1.1 Escala Neuropsicológica Infantil (ENI – 2)

El análisis descriptivo de razones muestra un mayor coeficiente de dispersión y de variación para el GE en comparación con el GLE en las variables de precisión de la lectura, comprensión de la lectura y atención visual mientras que el grupo GLE tiene un mayor coeficiente de dispersión y variación en las variables de velocidad de la lectura y atención auditiva como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Coeficiente de Dispersión (COD), Coeficiente de Variación (COV) y Coeficiente de Concentración (COC) del Grupo Experimental (GE) y Grupo en Lista de Espera (GLE) en las variables de dominio de la lectura y atención.

Variable	Grupo	Mediana	SD	COD	COV	COC (50% de la mediana inclusiva)
Precisión de la lectura	GE	0.157	0.370	1.536	257.0	33.3%
	GLE	1.000	0.438	0.282	54.0	80.0%
Comprensión de la lectura	GE	0.595	10.008	7.509	1835.4	0.0%
	GLE	0.703	4.301	4.301	665.5	40.0%
Velocidad de la lectura	GE	0.716	0.487	0.590	71.3	66.7%
	GLE	1.000	5.542	2.687	602.5	60.0%
Atención visual	GE	1.000	0.767	1.811	370.1	33.3%
	GLE	1.923	6.524	0.569	76.8	40.0%
Atención auditiva	GE	1.217	63.946	0.431	65.3	60.0%
	GLE	1.000	0.584	24.367	5867.8	33.3%

Hay una diferencia significativa en el DIFFscore entre los grupos en la variable de atención visual ($U = 4.052$, $df = 1$, $p = 0.043$) en donde el GE muestra un mayor rango (7.830) en comparación al GLE (3.800) (figura 8). En un análisis Post hoc de medianas se observa que existe un aumento significativo del percentil en la variable de atención visual para el GE (mediana = 9; $\chi^2 = 8.211$; $p = 0.042$). No se encuentra una diferencia significativa para el GLE.

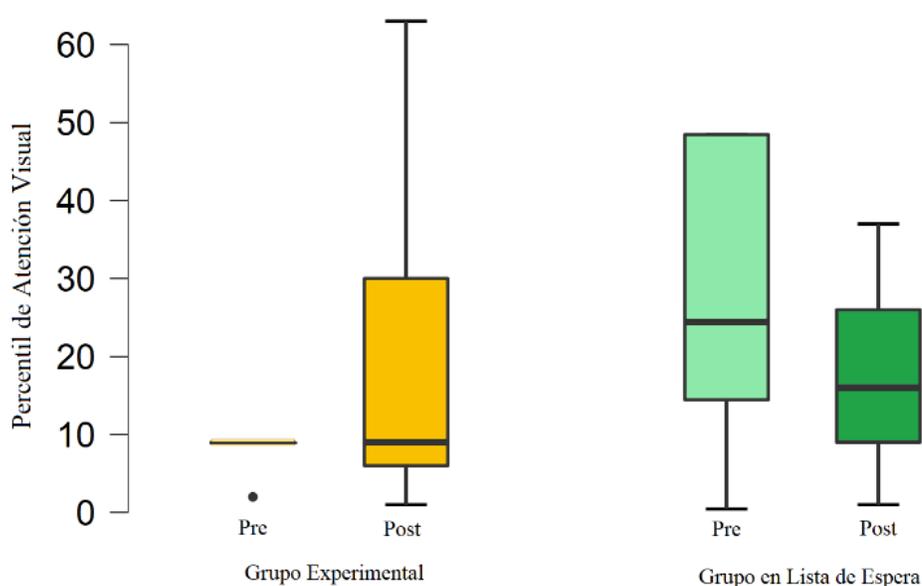


Figura 8. Percentiles de la variable de atención visual antes y después del tratamiento para Grupo Experimental (amarillo) y Grupo en Lista de Espera (verde).

Después del tratamiento TAMI hay una correlación estadísticamente significativa entre la atención visual y la velocidad de la lectura para el GE ($r = 0.992$; $p = 0.001$) pero no para el GLE ($r = 0.714$; $p = 0.176$) como se puede observar en la figura 9. Antes del tratamiento no existe una correlación significativa para los grupos GE ($r = 0.266$; $p = 0.611$) y GLE ($r = 0.544$; $p = 0.343$).

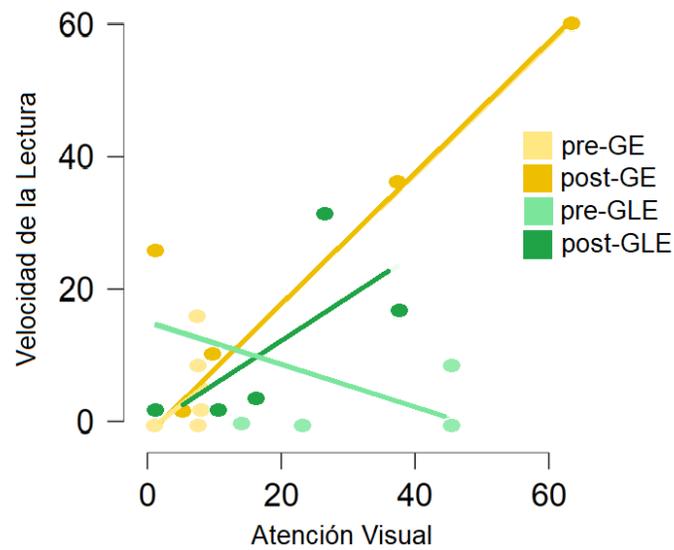


Figura 9. Correlación entre Atención Visual y Velocidad de la Lectura para Grupo Experimental (GE, en amarillo) y Grupo en Lista de Espera (GLE, en verde) antes y después de tratamiento TAMI

El tamaño del efecto (d-Cohen) muestra un mayor efecto de TAMI para las variables de velocidad de la lectura y un mayor efecto para el GLE en la variable de atención auditiva como se puede observar en la tabla 11.

Tabla 11. Tamaño del efecto (d-Cohen) de tratamiento TAMI para Grupo Experimental (GE) y Grupo en Lista de Espera (GLE) en los dominios de lectura y atención de la Escala Neuropsicológica Infantil (ENI – 2).

			Promedio post tratamiento	SD	d
Precisión de la Lectura	GE	Pre	7.21	11.14	0.23
		Post	26.68	30.56	
	GLE	Pre	7.48	16.50	
		Post	20.06	25.79	
Comprensión de la Lectura	GE	Pre	25.18	30.52	0.09
		Post	40.01	34.88	
	GLE	Pre	25.70	11.35	
		Post	36.84	33.49	
Velocidad de la Lectura	GE	Pre	4.53	6.59	0.45
		Post	18.26	13.86	
	GLE	Pre	7.06	11.26	
		Post	10.04	12.49	
Atención Visual	GE	Pre	7.83	2.85	0.16
		Post	20.66	22.22	
	GLE	Pre	28.80	21.14	
		Post	17.80	12.63	
Atención Auditiva	GE	Pre	32.83	34.37	-0.69
		Post	22.35	30.32	
	GLE	Pre	25.88	19.05	
		Post	38.20	15.49	

El análisis cualitativo muestra un mayor tamaño del efecto (valor NAP) para los participantes del GE en comparación con el GLE en las variables de precisión de la lectura (GE: NAP promedio = 0.76; intervalo de confianza (90%) = 0.47 – 0.99; GLE: NAP promedio = 0.61; intervalo de confianza (90%) = 0.33 – 0.89), velocidad de la lectura (GE: NAP promedio = 0.72; intervalo de confianza (90%) = 0.30 – 1; GLE: NAP promedio = 0.60; intervalo de confianza (90%) = 0.22 – 0.79) y atención visual (GE: NAP promedio = 0.62; intervalo de confianza (90%) = 0.19 - 1; GLE: NAP promedio = 0.25 ; intervalo de confianza (90%) = -0.22 – 0.72). Hay un mayor tamaño del efecto para el grupo GLE en la atención auditiva (GE: NAP promedio = 0.43;

intervalo de confianza (90%) = 0.04 – 0.87; GLE: NAP promedio = 0.62 ; intervalo de confianza (90%) = 0.15 – 1) como puede observarse en la figura 10. Los valores del valor NAP se encuentran en la tabla 12.

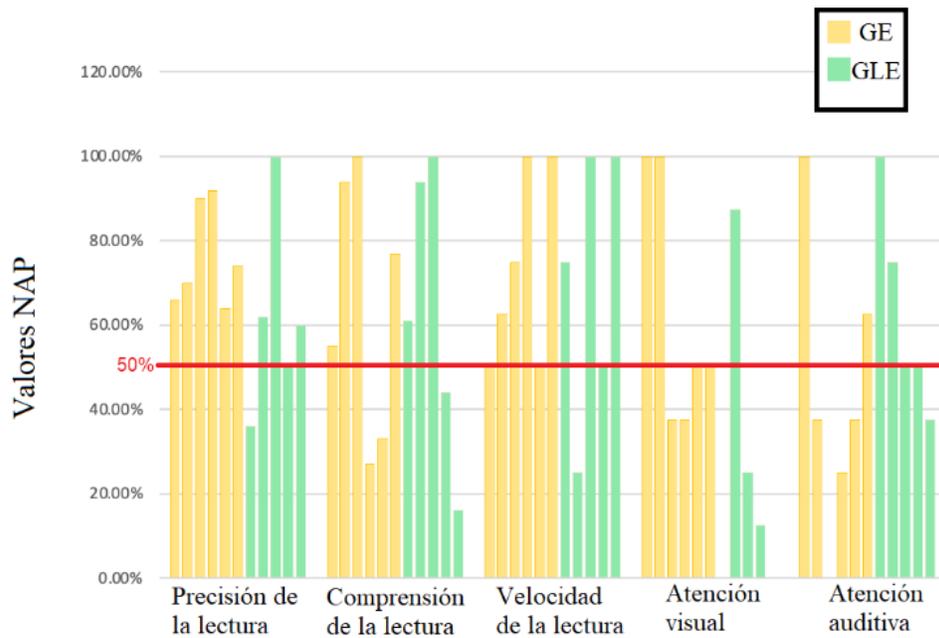


Figura 10. Valores NAP del tamaño del efecto individual en los dominios de lectura y atención de la Escala Neuropsicológica Infantil (ENI – 2) para el Grupo Experimental (GE) y el Grupo en Lista de Espera (GLE). Valores por encima del 50% (línea roja) son considerados no aleatorios.

Tabla 12. Valores NAP (tamaño del efecto) para participantes del Grupo Experimental (GE) Y Grupo en Lista de Espera (GLE) en los dominios de lectura y atención de la Escala Neuropsicológica Infantil (ENI -2).

N° de P Grupo	1 GE	2 GE	3 GE	4 GE	5 GE	6 GE	7 GLE	8 GLE	9 GLE	10 GLE	11 GLE
Precisión de la Lectura											
Total de pares	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
Pre > Post	8.5	7.5	2.5	2.0	9.0	6.5	16.0	9.50	0	12.5	10.0
NAP (%)	66.0	70.0	90.0	92.0	64.0	74.0	36.0	62.0	100	50.0	60.0
Intervalo de confianza 90%											
de	-0.35	-0.47	0.17	0.21	-0.35	-0.15	-0.91	-0.39	0.37	-0.63	-0.43
confianza	0.91	0.79	1	1	0.91	1	0.35	0.87	1	0.63	0.83
Comprensión de la Lectura											
Total de pares	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
Pre > Post	4.0	0.5	0	6.5	6.0	2.0	3.5	0.5	0.	5.0	7.5
NAP (%)	55.0	94.0	100	27.0	33.0	77.0	61.0	94.0	100	44.0	16.0
Intervalo de confianza 90%											
de	-0.72	0.05	0.16	-1	-1	-0.39	-0.83	0.05	0.16	-0.94	-1
confianza	0.94	1	1	0.39	0.50	1	0.83	1.1	1	0.72	0.17
Velocidad de la Lectura											
Total de pares	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Pre > Post	2.0	1.5	1.0	0	2.0	0.0	1.0	3.0	0	2.0	0
NAP	50.0	62.5	75.0	100	50.0	100	75.0	25.0	100	50.0	100
Intervalo de confianza 90%											
de	-1	-0.81	-0.56	-0.06	-1	-0.06	-0.56	-1	-0.06	-1	-0.06
confianza	1	1	1	1	1	1	1	0.56	1	1	1
Atención Visual											
Total de pares	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Pre > Post	0	0	2.5	2.5	2.0	2.0	4.0	0.5	3.0	3.5	4.0
NAP	100	100	37.5	37.5	50.0	50.0	0.0	87.5	25.0	12.5	0
Intervalo de confianza 90%											
de	-0.06	-0.06	-1	-1	-1	-1	-1	-0.31	-1	-1	-1
confianza	1	1	0.81	0.81	1	1	0.06	1	0.56	0.31	0.06
Atención Auditiva											

Total de pares	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Pre > Post	0	2.5	4.0	3.0	2.5	1.5	0	1.0	2.0	2.0	2.5
NAP	100	37.5	0	25.0	37.5	62.5	100	75.0	50.0	50.0	37.5
Intervalo de confianza 90%	-0.06	-1	-1	-1	-1	-0.81	-0.06	-0.56	-1	-1	-1
	1	0.81	0.06	0.56	0.81	1	1	1	1	1	0.81

NAP = pares que no sobrelapen; Pre > Post = Número de pares en los que el valor de la evaluación previa es mayor al de la evaluación posterior; N° de P = número de participante.

5.1.2 Test de Variables de Atención (TOVA)

El análisis descriptivo de razón muestra un mayor coeficiente de dispersión y de variación para el GLE en comparación con el GE en las variables de porcentaje de errores por omisión, errores por comisión y tiempo de respuesta, mostrando un aumento en el porcentaje de errores y tiempo de respuesta en comparación al GE como se puede observar en la tabla 13.

Tabla 13. Coeficiente de Dispersión (COD), Coeficiente de Variación (COV) y Coeficiente de Concentración (COC) del Grupo Experimental (GE) y Grupo en Lista de Espera (GLE) en el porcentaje de errores y tiempo de respuesta en la tarea TOVA.

Variable	Grupo	Mediana	SD	COD	COV	COC (50% de la mediana inclusiva)
Errores por omisión	GE	2.809	2.784	0.674	101.7	66.7%
	GLE	0.509	2.650	3.849	644.1	40.0%
Errores por comisión	GE	1.034	0.243	0.175	25.0	100.0%
	GLE	1.779	1.241	0.524	70.4	60.0%
Tiempo de respuesta	GE	1.085	0.262	0.172	25.2	100.0%
	GLE	0.934	0.478	0.390	59.0	60.0%

No hay una diferencia significativa en el DIFFscore entre los grupos GE y GLE. Después del tratamiento hay una disminución significativa del porcentaje de errores por omisión para el GE

($U = 5.500$; $W = 26.500$; $z = -2.009$; $p = 0.043$) disminuyendo de un rango promedio de 8.58% a 4.42% de errores por omisión (figura 11).

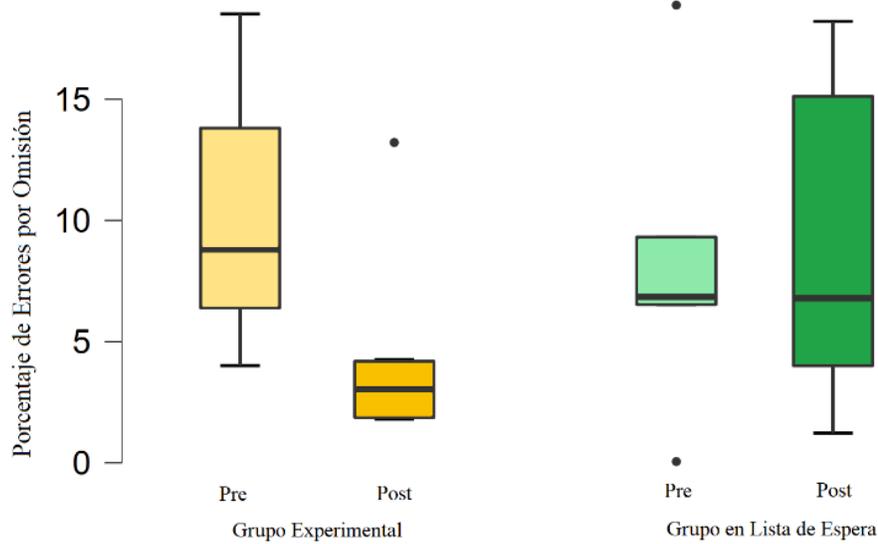


Figura 11. Porcentaje de errores por Omisión en el Test de Variables de Atención (TOVA) antes y después del tratamiento TAMI para el Grupo Experimental (amarillo) y el Grupo en Lista de Espera (verde).

El tamaño del efecto (d-Cohen) muestra un mayor efecto de TAMI para las variables de porcentaje de errores por omisión y comisión. Muestra un mayor aumento del tiempo de respuesta para el GE en comparación con el GLE como se puede observar en la tabla 14.

Tabla 14. Tamaño del efecto (d-Cohen) de tratamiento TAMI para Grupo Experimental (GE) y Grupo en Lista de Espera (GLE) en las variables del Test de Variables de Atención (TOVA)

			Promedio post tratamiento	SD	d
ADHD Score	GE	Pre	-4.44	1.89	0.13
		Post	-2.84	0.72	
	GLE	Pre	-4.15	4.81	
		Post	-3.09	2.98	
Porcentaje de errores por omisión	GE	Pre	10.20	5.58	-0.85
		Post	4.57	4.01	
	GLE	Pre	8.27	6.82	
		Post	9.07	6.51	
Porcentaje de errores por comisión	GE	Pre	11.70	5.93	-1.93
		Post	10.21	3.99	
	GLE	Pre	6.91	2.29	
		Post	4.53	1.86	
Tiempo de Respuesta	GE	Pre	538.33	76.16	11.55
		Post	472.66	45.37	
	GLE	Pre	653.00	136.21	
		Post	591.2	107.52	

El análisis cualitativo muestra un tamaño del efecto (valor NAP) mayor para los participantes del grupo GE en las variables de ADHD score (GE: NAP promedio = .50 ; intervalo de confianza (90%) = -0.17 - 1; GLE: NAP promedio = 0.30; intervalo de confianza (90%) = -0.43 - 1) y porcentaje de errores (GE: NAP promedio = 0.79 ; intervalo de confianza (90%) = 0.35 - 1; GLE: NAP promedio = 52; intervalo de confianza (90%) = -0.05 - 1), mientras que los participantes del grupo GLE muestran mayores valores NAP para la disminución del tiempo de respuesta (GE: NAP promedio = 0.16; intervalo de confianza (90%) = -0.50 – 0.83; GLE: NAP promedio = 0.40; intervalo de confianza (90%) = -0.33 – 1). Esto se puede observar en la tabla

Tabla 15. Valores NAP (tamaño del efecto) para los participantes del Grupo Experimental (GE) Y Grupo en Lista de Espera (GLE) en el Test de Variables de Atención (TOVA)

N° de P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Grupo	GE	GE	GE	GE	GE	GE	GLE	GLE	GLE	GLE	GLE	
ADHD Score												
Total de Pares	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Pre > Post	0.0	1.0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	0	1.0	1.0	1.0	
NAP (%)	100	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	
Intervalo de confianza 90%	-0.64 1	-1 0.64	-0.64 1	-1 0.64	-1 0.64	-1 0.64	-1 0.64	-1 0.64	-0.64 1	-1 0.64	-1 0.64	-1 0.64
Porcentaje de Errores												
Total de Pares	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
Pre < Post	2.0	0	0	0	2.0	1.0	3.0	1.0	2.0	3.0	0.5	
NAP (%)	50.0	100	100	100	50.0	75.0	25.0	75.0	50.0	25.0	87.5	
Intervalo de confianza 90%	-1 1	-0.06 1	-0.06 1	-0.06 1	-1 1	-0.56 1	-1 0.56	-0.56 1	-1 1	-1 0.56	-0.31 1	
Tiempo de Respuesta												
Total de Pares	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Pre < Post	1.0	1.0	0	1.0	1.0	1.0	0	0	1.0	0	1.0	
NAP (%)	0	0	100	0	0	0	100	100	0	100	0	
Intervalo de confianza 90%	-1 0.64	-1 0.64	-0.64 1	-1 0.64	-1 0.64	-1 0.64	-0.64 1	-0.64 1	-1 0.64	-0.64 1	-1 0.64	

NAP = pares que no sobrelapan; Pre > Post = Número de pares en los que el valor de la evaluación previa es mayor al de la evaluación posterior; Pre < Post = Número de pares en los que el valor de la evaluación previa es menor al de la evaluación posterior; N° de P = número de participante.

5.1.3 Tarea de Sincronización Audiomotora

El análisis descriptivo de razones muestra un mayor coeficiente de dispersión para el GLE (0.224) en comparación con el GE (0.180) en el valor de la envoltura promedio; sin embargo, ambos grupos presentan un coeficiente de variación menor al 50% y un coeficiente de concentración mayor al 80% dentro del 50% del valor de la mediana correspondiente a cada grupo.

No hay diferencias significativas entre los grupos y en la comparación pre-post tratamiento. El tamaño del efecto (d-Cohen) no muestra un efecto significativo del tratamiento TAMI ($d = 0.32$) en el GE (promedio = 0.49; SD = 0.29) en comparación con el GLE (promedio = 0.41; SD = 0.15). El análisis cualitativo muestra un mismo número de participantes que exceden el valor NAP (tamaño del efecto) del 50% para el GE y el GLE (GE: NAP promedio = 0.62 ; intervalo de confianza (90%) = 0.192 - 1; GLE: NAP promedio = 0.63 ; intervalo de confianza (90%) = 0.171 - 1) como puede verse en la figura 12.

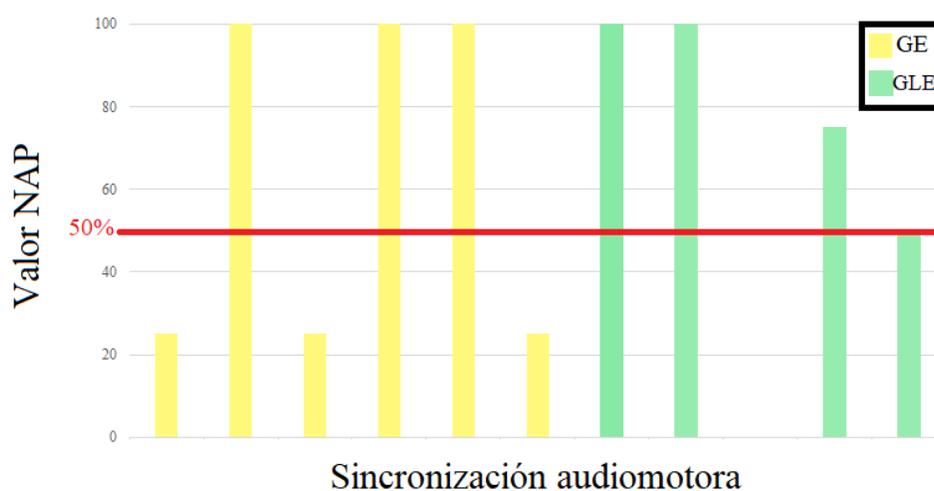


Figura 12. Valores NAP del tamaño del efecto individual en la Tarea de Sincronización Audiomotora para el Grupo Experimental (GE) y el Grupo en Lista de Espera (GLE). Valores por encima del 50% (línea roja) son considerados no aleatorios.

5.1.4 Escala de Autoconcepto Piers Harris

El análisis descriptivo de razones muestra un mayor coeficiente de dispersión y de variación para el GLE en comparación con el GE en el autoconcepto en las dimensiones de conducta, percepción física, no ansiedad, popularidad y autoconcepto global mientras que el GLE muestra un mayor coeficiente de dispersión y de variación en las dimensiones de percepción intelectual y felicidad como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Coeficiente de Dispersión (COD), Coeficiente de Variación (COV) y Coeficiente de Concentración (COC) del Grupo Experimental (GE) y Grupo en Lista de Espera (GLE) en las dimensiones del autoconcepto en la Escala de Autoconcepto Piers Harris

Dimensión de autoconcepto	Grupo	Mediana	SD	COD	COV	COC (50% de la mediana inclusiva)
Conductual	GE	0.857	3.131	1.788	393.1	66.7%
	GLE	2.333	1.096	0.349	58.3	60.0%
Intelectual	GE	0.875	0.596	0.510	71.7	50.0%
	GLE	1.000	1.023	0.717	110.9	60.0%
Percepción física	GE	0.283	0.412	0.757	153.3	66.7%
	GLE	1.000	0.370	0.234	37.2	80.0%
No ansiedad	GE	1.250	3.782	1.480	318.0	50.0%
	GLE	1.250	0.809	0.494	68.4	40.0%
Popularidad	GE	0.750	1.234	1.080	174.9	50.0%
	GLE	1.000	1.118	0.681	122.7	60.0%
Felicidad	GE	0.812	0.467	0.333	57.9	66.7%
	GLE	0.897	1.646	1.327	213.6	40.0%
Global	GE	0.522	1.440	1.737	310.4	50.0%
	GLE	1.489	0.703	0.343	48.1	60.0%

No hay diferencias significativas en la comparación entre grupos y el análisis pre – post tratamiento. El tamaño del efecto (d-Cohen) muestra un mayor efecto de TAMI para las variables de felicidad y satisfacción. Muestra un mayor efecto para el grupo GLE en la variable de autoconcepto intelectual como se puede observar en la tabla 17.

Tabla 17. Tamaño del efecto (d-Cohen) de tratamiento TAMI para Grupo Experimental (GE) y Grupo en Lista de Espera (GLE) en las variables de la Escala Autoconcepto Piers Harris

Autoconcepto	Grupo		Promedio post tratamiento	SD	d
Conductual	GE	Pre	19.83	17.44	-0.24
		Post	23.83	21.70	
	GLE	Pre	37.00	23.78	
		Post	29.20	22.01	
Intelectual	GE	Pre	8.67	3.49	-0.73
		Post	10.00	5.00	
	GLE	Pre	16.00	5.48	
		Post	14.00	5.83	
Físico	GE	Pre	27.17	36.55	0.07
		Post	55.16	24.15	
	GLE	Pre	54.40	26.46	
		Post	53.40	25.53	
No Ansiedad	GE	Pre	18.33	19.41	0.12
		Post	23.00	20.44	
	GLE	Pre	15.00	22.40	
		Post	20.80	13.80	
Popularidad	GE	Pre	18.67	12.91	0.26
		Post	24.16	12.71	
	GLE	Pre	25.00	13.93	
		Post	21.00	11.57	
Felicidad	GE	Pre	55.00	16.43	1.07
		Post	71.50	20.72	
	GLE	Pre	46.00	22.70	
		Post	45.80	27.04	
Global	GE	Pre	25.83	25.25	-0.99
		Post	28.83	17.78	
	GLE	Pre	32.89	19.49	
		Post	31.00	25.96	

El análisis cualitativo muestra un mayor tamaño del efecto para los participantes del GE (NAP promedio = 0.62; intervalo de confianza (90%) = 0.39 – 0.85) en comparación al GLE (NAP promedio = 0.47; intervalo de confianza (90%) = 0.21 – 0.72) como se muestra en la figura 13.

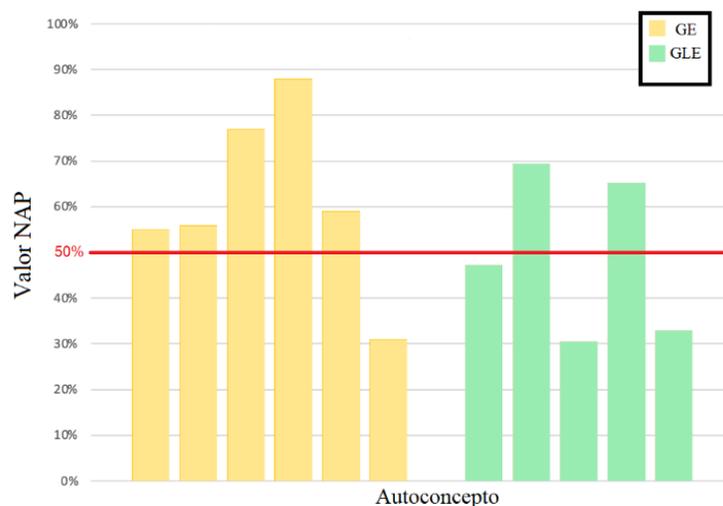


Figura 13. Valores NAP (tamaño del efecto) de la variable de autoconcepto de los participantes de los participantes del Grupo Experimental (GE) y el Grupo en Lista de Espera (GLE). Valores por encima del 50% (línea roja) son considerados no aleatorios.

5.2 Evaluación de efectos del tratamiento en Grupo Experimental.

5.2.1 Escala Wechsler de Inteligencia para niños (WISC – IV)

No se encuentran diferencias estadísticamente significativas en la comparación de los resultados obtenidos antes y después del tratamiento TAMI. El análisis cualitativo muestra un mayor tamaño del efecto (valor NAP) para los índices de velocidad de procesamiento (GE: NAP promedio = 0.75 ; intervalo de confianza (90%) = 0.27 – 1) y comprensión verbal (GE: NAP promedio = 0.60 ; intervalo de confianza (90%) = 0.28 – 0.92), como puede observarse en la figura 14 y tabla 18.

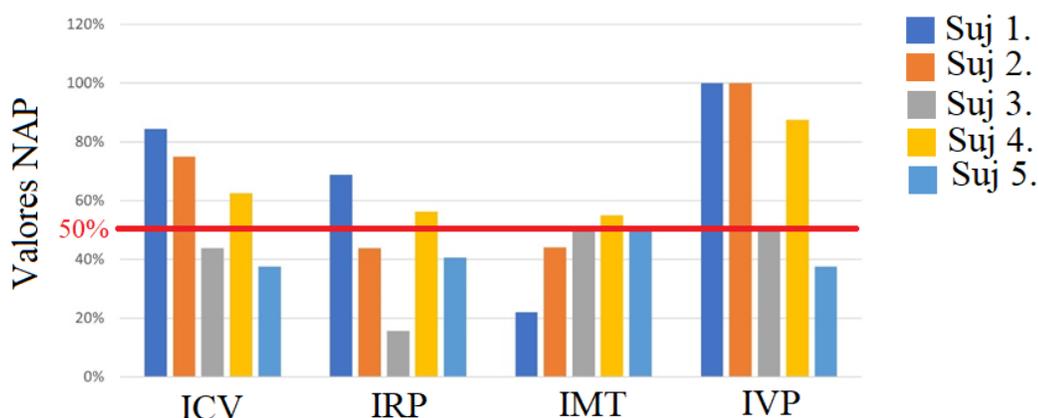


Figura 14. Valores NAP (tamaño del efecto) de los índices de Comprensión Verbal (ICV), Razonamiento Perceptual (IRP), Memoria de Trabajo (IMT) y Velocidad de Procesamiento (IVP) para el Grupo Experimental. Valores por encima del 50% (línea roja) son considerados no aleatorios.

Tabla 18. Valores NAP (tamaño del efecto) para los participantes del Grupo Experimental (GE) en la Escala Weschler para Niños (WISC – IV)

Nº de P Grupo	1 GE	2 GE	3 GE	4 GE	5 GE
Índice de Comprensión Verbal					
Total de Pares	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
Pre > Post	2.5	4.0	9.0	6.0	10.0
NAP	84.00	75.00	43.75	62.50	37.50
Intervalo de confianza 90%	0.01 1	-0.21 1	-0.83 0.58	-0.58 0.83	-0.92 0.49
Índice de Razonamiento Perceptual					
Total de Pares	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
Pre < Post	5.0	9.0	13.5	7.0	9.5
NAP	68.75	43.75	15.62	56.25	40.60
Intervalo de confianza 90%	-0.33 1	-1 0.21	-1 0.02	-0.58 0.83	-0.90 0.52
Índice de Memoria de Trabajo					
Total de Pares	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
Pre < Post	7.0	5.0	4.5	4.0	4.5
NAP	22.00	44.00	50.00	55.00	50.00
Intervalo de confianza 90%	-1 0.17	-0.94 0.72	-0.83 0.83	-0.72 0.94	-0.83 0.83

Índice de Velocidad de Procesamiento					
Total de Pares	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Pre < Post	0.0	0.0	2.0	0.5	2.5
NAP	100.0	100.00	50.00	87.50	37.50
Intervalo de confianza 90%	-0.06	-0.06	-1	-0.31	-1
	1	1	1	1	0.81

5.2.2 Tareas motoras de coordinación y balance (análisis biomecánico)

Hay una reducción significativa en la velocidad de movimiento de las tareas de unipodal con ojos abiertos (UPOA) y unipodal con ojos cerrados (UPOC) existiendo una menor velocidad de movimiento en la evaluación posterior, así como una menor distancia entre pies y tiempo de error en la tarea UPOC (tabla 19). De igual manera se observa una diferencia significativa de la distancia de salto en la tarea saltos ($U = 1.5$, $W = 16.5$, $p = 0.026$, media (pre) = 0.230m, media (post) = .283m)

Tabla 19. Resultados Prueba U de Mann Whitney en tareas motoras antes y después de TAMI

	Variable	U	W	p	Media(pre)	Media(post)
UPOA	Velocidad Lateral ca	0	15	0.007	0.082 m/s	0.03 m/s
	Velocidad Lateral c7	0	15	0.007	0.047 m/s	0.018 m/s
	Velocidad Lateral s	1	16	0.016	0.043 m/s	0.016 m/s
UPOC	Velocidad a/p ca	1	16	0.016	0.093 m/s	0.05 m/s
	Velocidad a/p s	2	17	0.033	0.058 m/s	0.03 m/s
	Velocidad Lateral ca	0	15	0.007	0.128 m/s	0.051 m/s
	Velocidad Lateral s	2	17	0.033	0.092 m/s	0.047 m/s
	Distancia entre pies	2	17	0.031	0.072 m	0.035 m
	Tiempo de error	2	17	0.033	10.32 s	0.36 s

a/p = anterior – posterior; ca = cabeza; c = c7; s = sacro; m = metros; s = segundos

5.2.3 Electroencefalograma (análisis de la PA)

Después del tratamiento TAMI, hay una disminución estadísticamente significativa de la PA Theta en las derivaciones Fp1, Fp2, F3, F4, F8, Cz, C3, C4, P3, P4, T4, T6 y O2, y de la PA Delta en las derivaciones C4 y P4. También se observó después del tratamiento un aumento significativo de la PA Beta en la derivación P3 (Tabla 20)

Tabla 20. Diferencias significativas en la Potencia Absoluta del EEG (valor z) en el Grupo Experimental al comparar antes y después del tratamiento TAMI.

Derivación	Band	Promedio pre	Promedio post	U	W	p	Intervalo confianza 99%	
C4	Delta	1.695	-0.153	5	25	0.039	0.034	0.044
P4	Delta	2.055	0.243	1	22	0.004	0.002	0.006
Fp1	Theta	-0.052	-1.203	1	22	0.004	0.002	0.006
Fp2	Theta	-0.128	-1.293	3	24	0.016	0.013	0.019
F3	Theta	0.520	-0.553	4	25	0.023	0.019	0.027
F4	Theta	0.553	-0.672	2	23	0.008	0.005	0.010
C3	Theta	0.965	-0.743	1	22	0.004	0.002	0.006
C4	Theta	0.757	-1.057	0	21	0.002	0.001	0.003
P3	Theta	0.725	-0.485	0	21	0.002	0.001	0.003
P4	Theta	1.065	-0.713	0	21	0.002	0.001	0.003
O2	Theta	1.498	0.128	4	25	0.023	0.019	0.027
F8	Theta	1.002	-0.090	5	26	0.039	0.034	0.044
T4	Theta	0.153	-1.125	2	23	0.008	0.005	0.010
T6	Theta	1.132	0.112	2	23	0.008	0.005	0.010
Cz	Theta	0.583	-0.763	2	23	0.008	0.005	0.010
Pz	Theta	0.767	-0.513	0	21	0.002	0.001	0.003
P3	Beta	-0.987	0.662	3	24	0.013	0.010	0.016

5.2.4 Conectividad funcional (análisis por Resonancia Magnética funcional)

Los resultados no muestran una diferencia significativa en la conectividad entre las regiones de interés con el tamaño de la muestra especificado ($n = 6$).

El análisis de correlación de las matrices de conectividad con los puntajes obtenidos en el dominio de la lectura en la Escala Neuropsicológica Infantil que abarca la velocidad, precisión y comprensión de la lectura muestra una correlación significativa negativa, antes del tratamiento, entre el Área Motriz Suplementaria (AMS) del hemisferio derecho y el Giro Precentral (GP) del hemisferio izquierdo con la comprensión de la lectura ($r = -0.9883$; $p = 0.0014$). AMS (i) – GP (i): $r = -0.4479$; $p = 0.4493$). Después del tratamiento existe una relación significativa positiva entre el AMS del hemisferio izquierdo y el GP del hemisferio izquierdo con la comprensión de la lectura ($r = 0.9976$; $p = 0.00013$) (post AMS(d), GP(i): $r = 0.16626$; $p = 0.78929$) señalando un cambio en la conectividad funcional de dichas estructuras y su relación con el desempeño en una tarea que requiere comprensión de la lectura (figura 15).

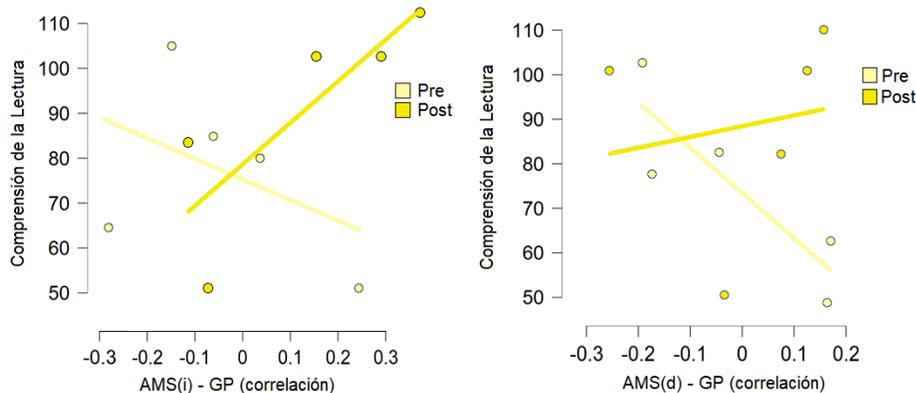


Figura 15. Correlación entre la conectividad del Área Motriz Suplementaria del hemisferio izquierdo (AMS(i)) - Giro Precentral (GRP) y la comprensión de la lectura antes (amarillo claro) y después (amarillo oscuro) del tratamiento en el grupo experimental. Correlación entre la conectividad del Área Motriz Suplementaria del hemisferio derecho (AMS(d)) - Giro Precentral (GRP) y la comprensión de la lectura antes (amarillo claro) y después (amarillo oscuro) del tratamiento en el grupo experimental.

6. DISCUSIÓN

El objetivo principal de este proyecto de investigación era el explorar en forma de un estudio de pilotaje los efectos de un tratamiento audiomotor, que utiliza juegos de realidad virtual, sobre la lectura, la atención visoespacial, la autopercepción, la memoria de trabajo, el balance y la coordinación motora, la actividad electroencefalográfica y la conectividad cerebral funcional. La hipótesis principal sugería que habría una mejora en cada área después del tratamiento y una mayor diferencia de puntajes entre el Grupo Experimental (GE) con el Grupo en Lista de Espera (GLE) en las áreas de lectura, atención, motricidad, sincronización audiomotora y autoconcepto. Acorde a los resultados, la hipótesis se corrobora parcialmente.

6.1 Efectos de TAMI sobre la Lectura y la Atención Visoespacial

Los resultados muestran un efecto estadísticamente significativo del tratamiento TAMI sobre la ganancia en el área de atención visual para el GE. Se muestra un mayor coeficiente de dispersión y coeficiente de variación del grupo experimental en contraste con el GLE en las variables de precisión y comprensión de la lectura indicando un mayor cambio después del tratamiento. El tamaño del efecto (d-Cohen) muestra un efecto del tratamiento sobre la velocidad de la lectura mayor a 0.4. De acuerdo con Hattie (2009), en estudios centrados a la aplicación de modelos de aprendizaje y juegos un tamaño del efecto igual o mayor a 0.4 reflejan un cambio significativo; sin embargo, al no existir una diferencia estadísticamente significativa en esta variable solo puede ser considerado como una probabilidad en la que ante una mayor muestra se observará una mayor diferencia pre-post tratamiento. Por otro lado, los resultados muestran un nulo efecto en el área de atención auditiva siendo el GLE el que mayor cambio presentó en la evaluación posterior.

El análisis cualitativo señala que un mayor número de participantes del GE muestran un tamaño del efecto (valor NAP) mayor o igual al 50 % (precisión de la lectura = 6 de 6 participantes; velocidad de la lectura = 5 de 6 participantes; comprensión de la lectura = 5 de 6 participantes) en contraste con el GLE (precisión de la lectura = 4 de 5 participantes; velocidad de la lectura = 3 de 5 participantes; comprensión de la lectura = 3 de 5 participantes). El tamaño del efecto calculado por el valor NAP representa el porcentaje de cambio después del tratamiento y se ha establecido por convención (Parker & Vannest, 2009; Peterson-Brown, Karich & Symons, 2012) que valores mayores al 50% refieren un efecto significativo en estudios de caso único.

El efecto del tratamiento TAMI sobre la atención visual se refuerza ante la disminución significativa en el porcentaje de errores por omisión en el TOVA para el GE. Los errores por omisión en el TOVA surgen a partir de una falta de atención sostenida durante la ejecución de la tarea (Greenberg, 1991). Los resultados concuerdan con el tamaño del efecto (d-Cohen), que muestra un efecto mayor a 0.4 de TAMI sobre la disminución de los errores por comisión. Un mayor coeficiente de dispersión y de variabilidad del GLE en el porcentaje de errores por omisión y comisión indican un aumento en el porcentaje de errores, mientras que esto no se observa en el GE. El análisis cualitativo muestra que un mayor número de participantes para el GE tuvieron un tamaño del efecto (valor NAP) por encima del 50% en las áreas de disminución del porcentaje de errores (6 de 6 participantes) en comparación con el GLE (3 de 5 participantes). Por otro lado, el GLE presenta un mayor número de participantes con un tamaño del efecto mayor al 50% en la disminución del tiempo de respuesta en el TOVA (3 de 5 participantes) en contraste con el GE (1 de 6 participantes). Un incremento en la atención visoespacial se relaciona con menos errores y un aumento en el tiempo de respuesta durante la ejecución de tareas visoespaciales.

Existe un vínculo entre la atención visoespacial y la lectura. Investigaciones previas sostienen que un déficit en la atención visoespacial pudiera causar un déficit en el reconocimiento visual de las palabras afectando la codificación grafema – fonema de la lectura (Vidyasagar & Palmer, 2009; Facoetti, Trussardi Ruffino & Lorusso, 2010). Dicha relación se muestra ante la correlación positiva estadísticamente significativa que se da entre la atención visual y la velocidad de la lectura para el GE después del tratamiento TAMI.

6.2 Efecto de TAMI sobre la sincronización audiomotora

Los resultados no muestran una diferencia entre el GE y el GLE en la variable de sincronización audiomotora. Esto podría deberse a un coeficiente de dispersión y variabilidad similar entre los grupos y a que un número similar de participantes del GE (3 de 6) y del GLE (3 de 5) reflejan un tamaño del efecto mayor al 50% mostrando una falta de asociación entre el cambio observado y el tratamiento TAMI.

6.3 Efecto de TAMI sobre funciones cognitivas generales

Los resultados del análisis cualitativo sobre el GE en los índices de Comprensión Verbal, Razonamiento Perceptual, Memoria de Trabajo y Velocidad de Procesamiento muestran un mayor número de participantes (3 de 5) con un tamaño del efecto (valor NAP) mayor al 50% en la comprensión verbal y la velocidad de procesamiento, sugiriendo un mayor efecto del tratamiento TAMI sobre procesos de atención selectiva bajo presión de tiempo (velocidad de procesamiento) y la capacidad de retención de conceptos de índole verbal (comprensión verbal). Sin embargo, no

se encontraron diferencias estadísticamente significativas tras el tratamiento y los resultados carecen de comparación con el GLE.

6.4 Efecto de TAMI sobre la coordinación motora gruesa y el balance

De acuerdo con la Teoría de Sistemas Sensoriales (Wasilewski, 2018), hay una relación entre los procesos cognitivos y motores incluyendo a la atención y la coordinación motora gruesa. Esta relación es necesaria para la percepción y codificación de estímulos multisensoriales de una manera sincronizada (Ayres & Robbins, 2005). Esta relación puede observarse en el vínculo entre los movimientos de la mano y la lectura en silencio en niños de educación preescolar (Sun, Pine, Riviere, Moreno & Dehaene, 2016). La evaluación biomecánica del GE mostró una mejora significativa después del tratamiento TAMI en las variables relacionadas con el balance (velocidad lateral, velocidad anteroposterior, y distancia de pies) en las tareas unipodales en las condiciones de ojos cerrados y abiertos, así como en tareas de coordinación motora gruesa como la de saltos. Esta mejora puede estar asociada a un reforzamiento motor continuo dentro del uso de los juegos de realidad virtual usados en el tratamiento (Kourakli et al., 2017; Kosmas, Ioannou, & Zaphiris, 2019).

6.5 Efecto de TAMI sobre la potencia absoluta del EEG

El análisis de los cambios en el EEG observados en el GE muestran que después del tratamiento hay una disminución de la PA Theta en regiones frontopolares, frontales, centrales y parietales de forma bilateral, así como una disminución de la PA Theta en regiones temporales y occipitales del hemisferio derecho (ver tabla 11). También hay una disminución de la PA Delta en áreas centrales y parietales del hemisferio derecho y un aumento en la PA Beta en la región parietal del hemisferio

izquierdo. De acuerdo con investigaciones previas (Harmony et al, 1990; Harmony et al, 1995; Fernández et al, 2002) se ha descrito una mayor PA Delta y Theta en niños con trastorno de aprendizaje en áreas fronto-temporales, esto se ha asociado a un retraso en la madurez del EEG. El cambio observado en el GE después del tratamiento podría relacionarse a un cambio en la madurez del EEG. En una investigación realizada por Papagiannopoulou y Lagopoulos (2016) en la que comparan la PA del EEG en reposo entre 21 niños con dislexia y 19 niños con desarrollo típico, se encontró que el grupo con dislexia presentaba una mayor PA Theta en regiones frontales de forma bilateral, en el área de Broca y Wernicke (de forma bilateral) y de forma general sobre el hemisferio izquierdo, a la par de una menor PA Beta en el hemisferio izquierdo lo cual se ha asociado a un proceso de falta de maduración electroencefalográfica. Con base en esto, una explicación a los efectos del tratamiento sobre el EEG de los participantes es que se estimuló un proceso de maduración electroencefalográfica en los niños del GE; sin embargo, esto no es posible asegurarlo ya que no se tiene un contraste con el GLE.

6.6 Efecto de TAMI sobre la conectividad funcional neuronal en reposo

Las mejoras tras el tratamiento en los dominios de lectura, atención y motricidad gruesa para el GE podrían explicar el cambio en la relación entre la conectividad funcional del Área Motriz Suplementaria (AMS) y el Giro Precentral (GP) con los puntajes percentiles de la comprensión de la lectura. Previo al tratamiento hay una relación negativa entre las estructuras corticales (AMS hemisferio derecho y GP., AMS hemisferio izquierdo y GP) con la comprensión de la lectura. Después del tratamiento dichas relaciones se vuelven positivas. Ambas estructuras corticales han sido relacionadas con procesos de control motor grueso, atención visual y producción del lenguaje (Guenther, Tourville & Bohland, 2015) a la par de ser estructuras presentes durante la solución de

tareas de lectura y atención visual en población infantil (Martin et al, 2015). La conectividad funcional neuronal en reposo hace referencia a un estado de preparación para la realización de una tarea (Yeo et al, 2011; Yeo, Krienen, Chee, & Buckner, 2014), en este caso codificación y comprensión de la lectura. Un estudio por metaanálisis de la conectividad funcional en reposo de niños con trastorno de aprendizaje en la lectura (Perdue et al, 2022) señala que, tras distintas intervenciones, tales como entrenamiento de identificación de sonidos y palabras o ejercicios de comprensión de la lectura, existe una mayor conectividad entre estructuras de la red de la lectura y sus estructuras homólogas en el hemisferio derecho. Este cambio de conectividad se ha relacionado de forma positiva con áreas del dominio de la lectura, tal como la comprensión de la lectura (Richards et al, 2007). Los resultados obtenidos concuerdan con la literatura y señalan un posible mecanismo compensatorio en donde el efecto de TAMI sobre la lectura conlleva a un posible cambio de conectividad entre las estructuras de la red de la lectura y su relación con la comprensión, este proceso requiere de la activación de estructuras homólogas de ambos hemisferios, en este caso el AMS del hemisferio izquierdo y derecho, y su conectividad con el GP. Sin embargo, al no haber encontrado diferencias de conectividad funcional por clústeres de estructuras de la red de la lectura en la comparación pre vs post tratamiento, no es posible confirmar esta interpretación. La falta de diferencias significativas es probablemente asociado al pequeño de la muestra y el poco poder estadístico.

El mecanismo compensatorio mencionado difiere a la población con típico desarrollo donde es esperada una lateralización al hemisferio izquierdo de conectividad entre estructuras cerebrales relacionadas a la lectura conforme se desarrolla un proceso de aprendizaje de la lectura ((Dehaene, Cohen, Morais, & Kollinsky, 2015); sin embargo existen otras poblaciones específicas donde

puede observarse este mecanismo compensatorio tras intervenciones de aprendizaje, tal como niños con Trastorno del Espectro Autista, involucrando estructuras como el GP y AMS (Maximo, Murdaugh, Kelley, & Kana, 2017). Dadas las características específicas de la población con relación al aprendizaje de la lectura, los cambios de conectividad funcional de estructuras asociadas a la misma, así como la disminución de la potencia de alfa y theta obtenida a partir de análisis de los puntajes z, podría interpretarse que el TAMI influyó sobre el proceso de maduración electroencefalográfica y de conectividad funcional de estructuras neuronales; sin embargo, ambos análisis requieren de una mayor muestra y comparación con un grupo control para sustentar dicha interpretación.

6.7 Posibles mecanismos de explicación

Los resultados obtenidos en este estudio exploratorio cumplen parcialmente con los objetivos del programa de tratamiento el cual busca reforzar la atención visual, el balance, la coordinación motriz y la lectura. Resultados similares han sido observados en la aplicación de videojuegos de 2 dimensiones enfocados en la estimulación de atención selectiva, memoria de trabajo e integración multisensorial en niños con dislexia y dificultades de lectura (Bavelier, Green, & Seidenberg, 2013; Franceschini, Gori, Ruffino, Viola, Molteni & Facoetti, 2013; Nava, Föcker, & Gori, 2019) en donde se han observado efectos positivos de los programas sobre la memoria de trabajo y atención; Sin embargo, no se habían observado efectos significativos sobre la motricidad ni se había ahondado en la exploración de mecanismos de actividad y conectividad funcional neuronal como el presente pilotaje lo demuestra.

Una posible explicación para los efectos del tratamiento puede ser el reforzamiento sobre el sistema vestibular y el sistema ocular (McPhilips & Sheehy, 2004; Viholainen et al, 2011; Freedman et al, 2017). La estimulación de dichos sistemas está presente durante la ejecución de tareas motoras que requieren de rotación y fijación visual, ambos elementos presentes durante el tratamiento, induciendo mecanismos de plasticidad que llevan a un mejor desempeño en procesos cognitivos afectados positivamente. Tanto el sistema oculomotor como vestibular dependen del núcleo geniculado lateral que proyecta a la corteza visual primaria a través de la vía Magnocelular y Parvocelular (Liu, Bryan, Miki, Woo, Liu & Elliot, 2006). Ambas vías se han relacionado con la atención visoespacial dada la alta frecuencia temporal (vía Magnocelular) y espacial (vía Parvocelular) que se requiere para la realización de tareas (O'Connor, Fukui, Pinsk & Kastner, 2002). El reforzamiento de los sistemas vestibular y oculomotor afecta el proceso cognitivo de atención visoespacial. Este efecto agregado tiene un impacto sobre la precisión de la lectura y la velocidad de la lectura dado que este proceso cognitivo complejo depende de la integración de balance, coordinación del movimiento, movimiento ocular sacádico preciso y atención visoespacial para poder desarrollar una codificación de grafema fonema, retención de la información y manipular los elementos abstractos para crear representaciones mentales de las palabras (Ellis & Young, 1988; Ayres, 2007; Hulme, Nash, Gooch, Lervåg, & Snowling, 2015; Levesque, Kiegger & Deacon, 2019). Por otro lado, la Teoría de Sistemas Dinámicos de Thelen (2001) sostiene que existe una relación entre el desarrollo motor y el desarrollo cognitivo, ya que avances en el desarrollo motor se reflejan en una facilidad para iniciar nuevas formas de interacción con el ambiente y refuerzan el desarrollo cognitivo; a pesar de que esta teoría se centra en etapas tempranas del desarrollo, estos mecanismos siguen presentes durante etapas posteriores. En contraste, la hipótesis de equivalencia (Moran et al., 2012) sostiene que esta relación se

mantiene a partir de mecanismos de simulaciones mentales motoras durante el uso de habilidades cognitivas y explica la presencia de actividad funcional de estructuras motoras en la ejecución de tareas cognitivas. Otra explicación a los resultados obtenidos es que al estimular funciones motoras tales como la postura y la coordinación gruesa de movimientos de forma rítmica se facilita un proceso de interacción con el contenido cognitivo del tratamiento que involucra atención, memoria de trabajo, codificación de palabras, asociación palabra – objeto y comprensión de la lectura.

6.8 Efecto de TAMI sobre el autoconcepto

Se observa un efecto significativo de TAMI sobre el autoconcepto, particularmente sobre la percepción de felicidad – satisfacción mientras que hay un nulo efecto sobre el autoconcepto conductual. Estos resultados se ven apoyados por un mayor coeficiente de dispersión y variabilidad tras el tratamiento para el GE en las dimensiones del autoconcepto de felicidad, no ansiedad, conductual, popularidad y global en comparación con el GLE. El análisis cualitativo muestra un mayor número de participantes con un tamaño del efecto (Valor NAP) mayor al 50% para el GE (5 de 6 participantes) en contraste con el GLE (2 de 5 participantes) sugiriendo que el tratamiento influyó sobre el autoconcepto del GE. Esto podría atribuirse a efectos directos e indirectos del tratamiento TAMI. Es posible que el incremento en las áreas de autoconcepto físico e intelectual sea un resultado del entrenamiento, dado que los participantes se encontraban en un programa que reforzaba su desempeño motor e intelectual en cada sesión. Por otro lado, la mejora sobre las áreas de autoconcepto conductual, felicidad y satisfacción, reducción de ansiedad y percepción de mayor sociabilidad podría atribuirse a un efecto indirecto.

Existe una relación bidireccional entre el desempeño académico, la atención, la sociabilidad y las habilidades motoras (Child, Cirino, Fletcher, Willcut, & Fuchs, 2019) por lo que una mejora sobre el autoconcepto físico e intelectual pudo traer como consecuencia un mejor desempeño escolar y, por lo tanto, cambios en el ambiente escolar y familiar. Investigaciones previas han reportado que niños con TAL tienen una mayor probabilidad de desarrollar dificultades sociales en la escuela, así como mayor ansiedad y depresión que funcionan como predictores de futuros problemas de conducta y deserción escolar (Sánchez López, Hernández Sandoval, Pérez Silva, & Servin Aranda, 2009; Alesi, Rappo, & Pepi, 2012). Cambios positivos conductuales en la escuela y en el hogar podrían reducir la ansiedad y por ende tener un impacto positivo sobre las habilidades sociales de la persona, afectando su autoconcepto general y su percepción de felicidad y satisfacción.

6.9 Consideraciones de TAMI en el campo del uso de videojuegos en el aprendizaje de funciones cognitivas

Los resultados favorecen la Teoría de Transferencia Específica de Habilidades Generales (Anderson & Bavelier, 2011) en la que se estimulan funciones de forma correspondiente al diseño del tratamiento y dichas funciones pueden ser transferibles a otros marcos de aprendizaje o evaluación. Es decir, TAMI se diseñó enfocado a estimular la atención visoespacial, coordinación motora, memoria de trabajo, y habilidades específicas de lectura. Los resultados muestran un efecto claro de TAMI sobre la velocidad de la lectura, atención visoespacial y coordinación motora. Esto establece nueva evidencia en el efecto del uso de videojuegos en el campo del aprendizaje y estimulación cognitiva sobre la coordinación motora y balance, resultado que previamente no se

había reportado de forma clara en la literatura (Mayer, 2014). A la par este pilotaje aporta evidencia de la posibilidad de realizar una planeación de tratamiento de múltiples funciones cognitivas por medio de la manipulación de contenido multimedia y una definición de los elementos correspondientes a tratar en una población específica. Esta integración de estímulos que dependen de una manipulación continua del usuario y por el cual recibe una retroalimentación constante, permite afectar de manera integrada un mecanismo neurocognitivo como el explicado anteriormente.

Los resultados obtenidos en este estudio exploratorio cumplen parcialmente con los objetivos del programa de tratamiento el cual busca reforzar la atención visual, el balance, la coordinación motriz y la lectura. Resultados similares han sido observados en la aplicación de videojuegos de 2 dimensiones enfocados en la estimulación de atención selectiva, memoria de trabajo e integración multisensorial en niños con dislexia y dificultades de lectura (Bavelier, Green, & Seidenberg, 2013; Franceschini, Gori, Ruffino, Viola, Molteni & Facoetti, 2013; Nava, Föcker, & Gori, 2019) en donde se han observado efectos positivos de los programas sobre la memoria de trabajo y atención; Sin embargo, no se habían observado efectos significativos sobre la motricidad y el autoconcepto, la validación del uso de herramientas de realidad virtual y la exploración de mecanismos de actividad y conectividad funcional neuronal como el presente trabajo lo presenta en este pilotaje.

6.10 Consideraciones generales

Este proyecto se realizó como pilotaje de un tratamiento que considera distintos elementos y dificultades que se presentan en el TAL buscando realizar la estimulación dentro de un marco

integrado, por medio de una plataforma de realidad virtual. Los efectos positivos descritos previamente (cuantitativos y cualitativos) y los posibles mecanismos de acción permiten considerar este tratamiento como una herramienta útil para futuras investigaciones e implementaciones clínicas. A pesar de tratarse de un estudio de pilotaje, la importancia de que se muestre un efecto positivo radica en dos puntos, que se describen a continuación.

El primer punto se centra en la necesidad de considerar nuevas formas de desarrollo de tratamientos para poblaciones específicas. Muchos de los tratamientos que se aplican a la población de niños con TAL se centran en formas de estimulación que inciden específicamente en el déficit en la lectura, dejando de lado otras afecciones que interactúan con dicho déficit; algunos de estos elementos son las dificultades en la coordinación motora, habilidades rítmicas, atención y memoria de trabajo. Al considerar un modelo de intervención multivariado y multisensorial se provee de una herramienta que, a la par de una evaluación diagnóstica adecuada, puede facilitar un proceso de estimulación de funciones de dominio general (como son la atención, la memoria de trabajo y la coordinación motora) y procesos de dominio específico (como son las habilidades de lectura) de forma simultánea, facilitando la adquisición de habilidades que tienen el potencial de fortalecer o compensar el déficit. Es decir, una mejor coordinación motora gruesa puede impactar sobre la atención visoespacial, la que a su vez induce un efecto sobre las habilidades de lectura.

El segundo punto se centra en la consideración de nuevas tecnologías para lograr la implementación de un tratamiento multisensorial. Los avances sobre la tecnología en el campo de la realidad virtual permiten que haya una interacción en ambientes tridimensionales que provean

a la persona de una retroalimentación háptica, visual y auditiva a la par de poder interactuar de forma activa y motriz con los elementos que se le presentan. Esta herramienta puede ir más allá de la elaboración de videojuegos abriendo un campo de oportunidad para la elaboración de modelos de tratamiento para poblaciones específicas en base a necesidades individuales o grupales. Una de las ventajas es la facilidad de implementación y el poco espacio que requiere, sin mencionar la reducción de costos que este tipo de tecnología ha tenido en el mercado, así como la elaboración de herramientas de desarrollo de software las cuales son amigables y fáciles de aprender a utilizar con, relativamente, poco entrenamiento. Todo esto facilita el uso de una plataforma sobre la cual se pueden diseñar e implementar distintas formas de tratamiento a poblaciones específicas con un bajo presupuesto, facilidad de réplica y de fácil implementación.

7. LIMITACIONES Y SUGERENCIAS

Algunas limitaciones del proyecto de investigación son el reducido tamaño de la muestra, así como una falta de comparación del Grupo Experimental con el Grupo en Lista de Espera para las tareas motoras, análisis por electroencefalograma y análisis de conectividad funcional (esta limitación surge a partir del cese al trabajo experimental a causa de la pandemia ocasionada por el virus COVID – 19). Otra limitación y sugerencia para futuras investigaciones sería el registro del movimiento ocular sacádico durante la lectura de un texto, siendo un elemento que puede aportar información a los elementos discutidos previamente. Un elemento que considerar para futuras investigaciones es el ampliar la muestra del tratamiento y grupo control con el objetivo de replicar los resultados obtenidos en este estudio exploratorio; por otro lado, sería recomendable el comparar el tratamiento con otros modelos de tratamiento utilizados en la misma población.

A pesar de las limitaciones mencionadas, es importante tomar en cuenta que los participantes del presente proyecto tienen una evaluación multidimensional en la cual se han considerado varios aspectos fisiológicos y cognitivos en el modelo experimental, así como la incorporación de métodos cuantitativos y cualitativos para el análisis de los datos obtenidos, siendo una investigación realizada a profundidad, a pesar del reducido tamaño de la muestra.

8. CONCLUSIONES

El pilotaje sobre el tratamiento TAMI muestra un efecto positivo sobre la atención visoespacial y la motricidad de niños con Trastorno de Aprendizaje en la Lectura (TAL). Esto conlleva a una mejoría en las habilidades de lectura, autopercepción y podría relacionarse con los cambios observados en la actividad electroencefalográfica y la conectividad funcional de estructuras corticales. Los resultados favorables permiten la consideración del tratamiento en futuras investigaciones con una mayor muestra participantes, para observar si los efectos registrados se mantienen. La metodología y procedimiento de análisis definidos en este trabajo de tesis facilitan la utilización del tratamiento en estudios posteriores y establecen una serie de pasos a mantener, así como distintas estrategias de análisis con el objetivo de buscar la validación y mejora de diseño de TAMI en una muestra mayor de participantes.

A pesar de que este es un estudio exploratorio con una muestra pequeña, el diseño de TAMI que considera múltiples dimensiones afectadas en el TAL, la evaluación a profundidad y multivariada de dichas dimensiones, así como la elaboración e implementación del tratamiento que utiliza nuevas herramientas tecnológicas, representan un punto de avance en la generación e incorporación de nuevas modalidades de tratamiento que incorporan los conocimientos obtenidos de investigaciones recientes en el campo y, con base en ello, consideran nuevas formas de aproximación al tratamiento de poblaciones específicas.

9. REFERENCIAS

- About, K., Bailey, S., Petrill, S., & Cutting, L. (2016). Comprehending text versus reading words in young readers with varying reading ability: Distinct patterns of functional connectivity from common processing hubs. *Developmental Science, 19*(4), 632 - 656. <https://doi.org/10.1111/desc.12422>.
- Achtman, R.L., Green, C.S., & Bavelier, D. (2008). Video games as a tool to train visual skills. *Restorative Neurology and Neuroscience, 26*. 435 - 446
- Alcauter, S., García - Mondragón, L., Gracia - Tabuenca, Z., Moreno, B., Ortiz, J., & Barrios, F. (2017). Resting state functional connectivity of the anterior striatum and prefrontal cortex predicts reading performance in school-age children. *Brain and Language, 174*, 94 - 102. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2017.07.007>
- Alesi, M., & Rappo, G. y. (2012). Self-esteem at school and self-handicapping in childhood: comparison of groups with learning disabilities. *Psychol Rep, 111*, 952 - 962. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01939>
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (5th ed.). Arlington: American Psychiatric Association.
- Anderson, A.F., & Bavelier, D. (2011). Action game play as a tool to enhance perception, attention, and cognition. En S. Tobias & J.D. Fletcher (Eds.), *Computer Games and Instruction* (pp. 307 – 329). Charlotte, NC: Information Age Publishing, Inc.
- Anthony, J., & Francis, D. (2005). Development of phonological awareness. *Current Directions in Psychological Science, 14*, 255 - 259. <https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2005.00376.x>

- Assaneo, M., Ripollés, P., Orpella, J., Ming Lin, W., Diego-Balaguer, R., & David Poeppel, D. (2019). Spontaneous synchronization to speech reveals neural mechanisms facilitating language learning. *nature neuroscience*. doi: <https://doi.org/10.1038/s41593-019-0353-z>
- Ayres, A. J., & Robbins, J. (2005). *Sensory integration and the child: Understanding hidden sensory challenges*. Los Angeles: Western Psychological Services.
- Ayres, J. (2007). *La integración sensorial y el niño* (Vol. 2ª Edición). México: Editorial Trillas.
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, 20, 136-140.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014>
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-89. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Baddeley, A., & Hitch, G. (2000). Development of working memory: should the Pascual –Leone and the Baddeley and Hitch models be merged? *Journal of experimental child psychology*, 77(2), 128-137. doi:<https://doi.org/10.1006/jecp.2000.2592>
- Bailey, J., & Bailenson, J. (2017). Considering virtual reality in children's lives. *Journal of Children and Media*, 11(1), 107 - 113. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/17482798.2016.1268779>
- Bailey, J., Zatorre, R., & Penhune, V. (2014). Early Musical Training Is Linked to Gray Matter Structure in the Ventral Premotor Cortex and Auditory–Motor Rhythm Synchronization Performance. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26(4), 755 - 767.
https://doi.org/10.1162/jocn_a_00527
- Bavelier, D., Green, S., & Seidenberg, M. (2013). Cognitive Development: Gaming Your Way Out of Dyslexia? *Current Biology*, 23(7). doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2013.02.051>
- BeatGames. (2019). BeatSaber. Retrieved from: <https://beatsaber.com>.

- Bertoni, S., Franceschini, S., Ronconi, L., Gori, S., & Facoetti, A. (2019). Is excessive visual crowding causally linked to developmental dyslexia? *Nueropsychologia*, *130*, 107 - 117.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.04.018>
- Biotteau, M., Chaix, Y., Blais, M., Tallet, J., Perán, P., & Albaret, J. (2016). Neural signature of DCD: a critical review of MRI neuroimaging studies. *frontiers in Neurology*, *7*(227).
<https://doi.org/10.3389/fneur.2016.00227>
- Boat, T., & Wu, J. (2015). *Mental Disorders and Disabilities Among Low-Income Children*. Washington D.C: National Academies Press.
- Bosch-Bayard, J., Galan, L., Aubert-Vazquez, E., Virues Alba, T., & Valdes-Sosa, A. Resting state healthy EEG: the first wave of the Cuban normative database. *Frontiers in Neuroscience*, *14*. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.555119>
- Brooks, M.E., Dalal, D.K., & Nolan, K.P. (2013). Are common language effect sizes easier to understand than traditional effect sizes?. *Journal of Applied Psychology*, *99*(2). 232-240.
<https://doi.org/10.1037/a0034745>
- Bucci, M. P., Nassibi, N., Gerard, C. L., Bui-Quoc, E., & Seassau, M. (2012). Immaturity of binocular saccade coordination in dyslexic children: Evidence from a reading and visual search study. *PLoS One*, *7*(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033458>
- Burgos, P., Mariman, J., Makeig, S., Rivera - Lillo, G., & Maldonado, P. (2018). Visuomotor coordination and cortical connectivity of modular motor learning. *Human Brain Mapping*, *1* - 18. <https://doi.org/10.1002/hbm.24215>
- Cachia, A., Roell, M., Mangin, J., Yi Sun, Z., Jobert, A., Braga, L., . . . Borst, G. (2018). How interindividual differences in brain anatomy shape reading accuracy. *Brain Structure and Function*, *223*, 701 - 712. doi: <https://doi.org/10.1007/s00429-017-1516-x>

- Carrey Siu, T.-S., McBride, C., Tse, C.-S., Tong, X., & Maurer, U. (2018). Evaluating the effects of metalinguistic and working memory training on reading fluency in Chinese and English: a randomized controlled trial. *frontiers in Psychology, 9*(2150).
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02510>
- Chen, J., Penhune, V., & Zatorre, R. (2008). Moving on Time: Brain Network for Auditory–Motor Synchronization is Modulated by Rhythm Complexity and Musical Training. *Journal of Cognitive Neuroscience, 20*(2), 226 - 239.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3578-12.2013>
- Child, A., Cirino, P., Fletcher, J., Willcut, E., & Fuchs, L. (2019). A cognitive dimensional approach to understanding shared and unique contributions to reading math, and attention skills. *Journal of Learning Disabilities, 52*(1), 15 - 30.
<https://doi.org/10.1177/0022219418775115>.
- Church, J. A., Cirino, P. T., Miciak, J., Juranek, J., Vaughn, S., & Fletcher, J. M. (2019). Cognitive, intervention, and neuroimaging perspectives on executive function in children with reading disabilities. *New Directions for Child and Adolescent Development, 165*, 1 - 30. <https://doi.org/10.1002/cad.20292>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hills-dale, NJ: Erlbaum.
- Cohen, L., & Dehaene, S. (2004). Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area. *NeuroImage, 22*, 466 - 476.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.12.049>
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehéricy, S., Dehaene-Lambertz, G., Hénaff, M. A., & Michel, F. (2000). The visual word form area: spatial and temporal characterization of an

- initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain: A Journal of Neurology*, 123, 291 - 307. <https://doi.org/10.1093/brain/123.2.291>
- Corriveau, K., & Goswami, U. (2009). Rhythmic motor entrainment in children with speech and language impairments: Tapping to the beat. *Cortex*, 45, 119-130.
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.09.008>
- Dehaene, S., & Cohen, L. (2011). The unique role of the visual word form area in reading. *Trends in cognitive sciences*, 15(6), 254 - 262. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.04.003>
- Dehaene, S., Cohen, L., Morais, J., & Kollinsky, R. (2015). Illiterate to literate: behavioural and cerebral changes induced by reading acquisition. *Nature*, 16, 234 - 244.
<https://doi.org/10.1038/nrn3924>
- D'Esposito, M., and Postle, B. R. (2015). The cognitive neuroscience of working memory. *Annual Review of Psychology*, 66, 115–142. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015031>
- Diamond, A. (2011). Biological and social influences on cognitive control processes dependent on prefrontal cortex. *Progress in brain research*, 319 - 339.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53884-0.00032-4>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 78 - 168 .
<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Doelling, K., Assaneo, M., Bevilacqua, D., Pesaran, B., & Poeppel, D. (2019). An oscillator model better predicts cortical entrainment to music. *PNAS*.
www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1816414116
- dos Santos, M., Nevill, A., Buranargusa, R., Pereira, S., Gomes, T., Reyes, A., . . . Maia, J. (2018). Modeling children's development in gross motor coordination reveals key

- modifiable determinants. An allometric approach. *Scandinavian Journal of Medical Science in Sports*, 28, 1594 - 1603. <https://doi.org/10.1111/sms.13061>
- Dye, M.W.G., Green, C.S., & Bavelier, D. (2009). Increasing speed of processing with action video games. *Current Directions in Psychological Science*, 18(6). 321 – 316.
<https://doi.org/10.1111%2Fj.1467-8721.2009.01660.x>
- Ebrahimi, A., Movallali, G., Jamshidi, A., Haghoo, H., & Rahgozar, M. (2016). Balance Performance of Deaf Children With and Without Cochlear Implants. *Acta Medica Iranica*, 54(11), 737 - 742
- Ekstrand, C., Neudorf, J., Gould, L., Mickleborough, M., & Borowsky, R. (2019). Where words and space collide: the overlapping neural activation of lexical and sublexical reading with voluntary and reflexive spatial attention. *Brain Research*, 1706, 1 - 12.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2018.10.022>
- Ellis, A., & Young, A. (1988). *Cognitive Neuropsychology*. Londres: Psychology Press.
- Erhel, S., & Jamet, E. (2013). Digital game-based learning: Impact of instructions and feedback on motivation and learning effectiveness. *Computers & Education*, 67, 156 - 167.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.019>
- Facoetti, A., Trussardi, A.N., Ruffino, M., Lorusso, M.L., Cattaneo, C., Galli, R., Molteni, M., & Zorzi, M. (2010). Multisensory spatial attention deficits are predictive of phonological decoding skills in developmental dyslexia. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(5), 1011 – 1025. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21232>
- Farnsworth, B. (2018, 05 01). The future of therapy – VR and biometrics. IMOTIONS, Retrieved from: <https://imotions.com/blog/vr-therapy-future-biometrics/>

- Fernández, T., Harmony, T., Fernández-Bouzas, A., Silva, J., Herrera, W., Santiago-Rodríguez, S., & Sánchez, L. (2002). Sources of EEG activity in learning disabled children. *Clinical Electroencephalography*, 33(4). 160 – 164. <https://doi.org/10.1177/155005940203300405>
- Fernández, T., Silva-Pereyra, J., Prieto-Corona, B., Rodríguez-Camacho, M., & Reynoso - Alcántara, V. (2014). Event-Related Brain Potentials during a Semantic Priming Task in Children with Learning Disabilities Not Otherwise Specified. *PlosOne*, 9(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105318>
- Ferré - Veciana, J., & Aribau - Montón, E. (2002). *El Desarrollo Neurofuncional Del Niño y Sus Trastornos: Visión, Aprendizaje y Otras Funciones Cognitivas*. Barcelona: Lebón.
- Fitts, P.M., & Posner, M. I. (1967). *Human performance*. Belmont, CA: Brooks Cole.
- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Viola, S., Molteni, M., & Facoetti, A. (2013). Action videogames make dyslexic children read better. *Current Biology*, 23(6), 426 - 466. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.01.044>
- Franceschini, S., Trevisan, P., Ronconi, L., Bertoni, S., Colmar, S., Double, K., Facoetti, A., & Gori, S. (2017). Action videogames improve reading abilities and visual-to-auditory attentional shifting in English speaking children with dyslexia. *Scientific Reports*, 7(5863). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05826-8>
- Freedman, E., Molholm, S., Gray, M., Belyusar, D., & Foxe, J. (2017). Saccade adaptation deficits in developmental dyslexia suggest disruption of cerebellar-dependent learning. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 9. <https://doi.org/10.1186/s11689-017-9218-5>
- Gallegos - Cázares, L., Flores - Camacho, F., Calderón - Canles, E., & Covarrubias - Martínez, H. (2015). *Observadores del Cielo*. Ciudad de México: UNAM, Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico.

- Gan, X., Yutong, Y., Liu, H., Zong, X., Cui, R., Qiu, N., Xie, J., Jiang, D., Ying, S., Tang, X., Dong, L., Gong, D., Mas, W., & Liu, T. (2020). Action real-time strategy gaming experience related to increased attentional resources: an attentional blink study. *Frontiers in Human Neuroscience*, *14*(101). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00101>
- Garcia-Tabuenca, Z., Díaz-Patiño, J., Arelio, I., & Alcauter, S (2020). Topological Data Analysis Reveals Robust Alterations in the Whole-Brain and Frontal Lobe Functional Connectomes in Attention-Deficit/ Hyperactivity Disorder. *eNEURO*, *7*(3). 1 - 10. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0543-19.2020>
- Gibson, E., & Pick, A. (2000). *An Ecological Approach to Perceptual Learning and Development*. Nueva York: Oxford University Press.
- Gooch, D., Hulme, C., Nash, H., & Snowling, M. (2013). Comorbidities in preschool children at risk of dyslexia: the role of language ability. *Journal of child psychology and psychiatry*, *55*(3), 237 - 246. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12139>.
- Grahn, J., & Brett, M. (2007). Rhythm and Beat Perception in Motor Areas of the Brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *19*(5), 893 - 906. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.5.893>
- Green, C.S., & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, *423*, 534 – 538. <https://doi.org/10.1038/nature01647>
- Green, C.S., & Bavelier, D. (2012). Learning attentional control and action video games. *Current Biology*, *22*(6). 197 – 206. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.02.012>.

- Guenther, F.H., Tourville, J.A., & Bohland, J.W. (2015). Speech production. Toga, A.W. *Brain Mapping* (435 – 444). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397025-1.00265-7>.
- Harding, E., Sammler, D., Herny, M., Large, E., & Kotz, S. (2019). Cortical tracking of rhythm in music and speech. *Neuroimage*, *185*, 96 - 101.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.10.037>
- Harmony, T., Hinojosa, G., Marosi, E., Becker, J., Fernandez-Harmony, T., Rodriguez, M., Reyes, A., & Rocha, C. (1990). Correlation between EEG spectral parameters and an educational evaluation. *International Journal of Neuroscience*, *54*. 147 – 156.
- Harmony, T., Marosi, E., Becker, J., Rodríguez, M., Reyes, A., Fernández, T., Silva, J., & Bernal, J. (1995). Longitudinal quantitative EEG study of children with different performances on a reading-writing test. *Electroencephalography and clinical Neuropsychology*, *95*. 426 – 433. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(95\)00135-2](https://doi.org/10.1016/0013-4694(95)00135-2)
- Hattie, J. (2009). *Visible learning*. New York: Routledge.
- Hill, E. (2001). Non-specific nature of specific language impairment: a review of the literature with regard to concomitant motor impairments. *International Journal of Language*, *36*(2), 149 - 171. <https://doi.org/10.1080/13682820010019874>
- Hill, P., Hogben, J., & Bishop, D. (2005). Auditory frequency discrimination in children with specific language impairments: a longitudinal study. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, *48*(5), 1136 - 1146. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2004/041\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2004/041))
- Hirsh-Pasek, K., Zosh, J., Michnick Golinkoff, R., Gray, J., Robb, M., & Kaufman, J. (2015). Putting Education in “Educational” Apps: Lessons From the Science of Learning.

Psychological Science in the Public Interest, 16(1), 3 - 34.

<https://doi.org/10.1177/1529100615569721>

- Horowitz - Kraus, T., Brunst, K. J., & Cecil, K. (2018). Children with dyslexia and typical readers: sex-based choline differences revealed using proton magnetic resonance spectroscopy acquired within anterior cingulate cortex. *frontiers in Human Neuroscience*, 12(466), 1 – 10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00466>
- Hulme, C., & Snowling, M. (2016). Reading disorders and dyslexia. *Current opinion pediatrics*, 28(6), 731 - 735. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000411>
- Hulme, C., Nash, H., Gooch, D., Lervåg, A., & Snowling, M. (2015). The Foundations of Literacy Development in Children at Familial Risk of Dyslexia. *Psychological Science*, 26(12), 1877 - 1886. <https://doi.org/10.1177/0956797615603702>
- Jackson, N., & Coltheart, M. (2001). *Routes to reading success and failure: Toward an integrated cognitive psychology of atypical reading*. New York: NY: Psychology Press.
- Jeffries, S., & Everatt, J. (2004). Working Memory: Its Role in Dyslexia and Other Specific Learning Difficulties. *Dyslexia*, 10, 196-214.
- Jenkinson, M., Beckmann, C.F., Behrens, T.E., Woolrich, M.W., & Smith, S.M. (2012). Fsl. *Neuroimage* 62. 782–790.
- Jiménez, P. (2018). Análisis del contenido de apps y videojuegos: implicaciones en procesos cognitivos en la lectura inicial. *Apertura: Revista de Innovación Educativa*, 10, 71 - 87.
- Jones, M., & Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychological Review*, 96, 459 - 491. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.96.3.459>

- Kiefer, M., & Trumpp, M. N. (2012). Embodiment theory and education: the foundations of cognition in perception and action. *Trends in Neuroscience and Education, 1*(1), 15 - 20.
<https://doi.org/10.1016/j.tine.2012.07.002>
- Kosmas, P., Ioannou, A., & Zaphiris, P. (2018). Implementing Embodied Learning in the Classroom: Effects on Children's Memory and Language Skills. *Educational Media International. https://doi.org/10.1080/09523987.2018.1547948*
- Kourakli, M., Altanis, L., Retalis, S., Boloudakis, M., Zbainosc, D., & Antonopoulou, K. (2017). Towards the improvement of the cognitive, motor and academic skills of students with special educational needs using Kinect learning games. *International Journal of Child-Computer Interaction, 11*, 28 - 39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcci.2016.10.009>
- Levesque, K., Kiegger, M., & Deacon, S. (2019). Inferring meaning from meaningful parts: The contributions of morphological skills to the development of children's reading comprehension. *Reading Research Quarterly, 54*(1), 63 - 80.
<https://doi.org/10.1002/rrq.219>
- Libertus, K., & Hauf, P. (2017). Editorial: Motor skills and their foundational role for perceptual, social, and cognitive development. *frontiers in Psychology, 8*(301).
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00301>
- Lopez - Barroso, D., Diego - Balauer, R., Cunillera, T., Camara, E., Munte, T., & Rodríguez - Fornells, A. (2011). Language Learning under Working Memory Constraints Correlates with Microstructural Differences in the Ventral Language Pathway. *Cerebral Cortex, 21*, 2742 - 2750. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr064>

- Martin, A., Schurz, M., Kronbichler, M., & Richlan, F. (2015). Reading in the brain of children and adults: a meta-analysis of 40 functional magnetic resonance imaging studies. *Human Brain Mapping, 36*, 1963 - 1981. <https://doi.org/10.1002/hbm.22749>
- Martin, F., Claydon, E., Morton, A., Binns, S., & Pratt, C. (2003). The development of orthographic and phonological strategies for the decoding of words in children. *Journal of Research in Reading, 26*(2), 191 - 204. <https://doi.org/10.1111/1467-9817.00196>
- Martin Lobo, M.P. (2003). *La Lectura: Procesos Neuropsicológicos De Aprendizaje, Dificultades, Programas De Intervención y Estudio De Casos*. Barcelona: Lebrón.
- Matute, E., Rosselli, M., Ardila, A., & Ostrosky, F. (2013). *Evaluación neuropsicológica infantil (ENI - 2), Manual de aplicación*. México: Manual Moderno.
- Mayer, R.E. (2009). *Multimedia Learning* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R.E. (2011). *Applying the science of learning*. Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Mayer, R.E. (2020). *Multimedia Learning* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Mayer, R.E., & Wittrock, M.C. (2006). Problem solving. En P.A. Alexander & P. Winnie (Eds.), *Handbook of educational psychology* (2nd ed., pp. 287 – 304). Washington, DC: American Psychological Association.
- Maximo, J.O., Murdaugh, D.L., O'Kelley, S., & Kana, R.K. (2017). Changes in intrinsic local connectivity after reading intervention in children with autism. *Brain and Language, 175*, 11-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandl.2017.08.008>
- McPhillips, M., & Sheehy, N. (2004). Prevalence of persistent primary reflexes and motor problems in children with reading difficulties. *Dyslexia, 10*, 316 – 338. <https://doi.org/10.1002/dys.282>

- Michel, G.F., Campbell, J.M., Marcinowski, E.C., Nelson, E.L., & Babik, I. (2016). Infant hand preference and the development of cognitive abilities. *frontiers in Psychology*, 7(410). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00410>
- Moran, A., Guillot, A., MacIntyre, T., & Collet, C. (2012). Re-imagining motor imagery: building bridges between cognitive neuroscience and sport psychology. *Behavioral Journal of Psychology*, 103, 224–247. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.2011.02068.x>
- Moran, A., & O’Shea, H (2020). Motor imagery practice and cognitive process. *frontiers in Psychology*, 11(394). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00394>
- Morse, A. F., Benitez, V. L., Belpaeme, T., Cangelosi, A., & Smith, L. B. (2015). Posture affects how robots and infants map words to objects. *PLoS ONE*, 10(e0116012). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116012>
- Nava, E., Föcker, J., & Gori, M. (2020). Children can optimally integrate multisensory information after a short action - like mini game training. *Developmental Science*, 23, 1-9. <https://doi.org/10.1111/desc.12840>
- Needham, A., & Libertus, K. (2010). Embodiment in early development. *Focus Article*, 2, 117 - 123. <https://doi.org/10.1002/wcs.109>
- Nouchi, R.A., Yasuyuki, T., Takeuchi, H., Hashizume, H., Akitsuki, Y., Shigemune, Y., et al. (2012). Brain training game improves executive functions and processing speed in elderly: A randomized controlled trial. *PLoS ONE*, 7(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029676>
- Oculus. (2019, 02). Oculus Rift. Retrieved from: <https://www.oculus.com/rift/#oui-csl-rift-games=robo-recall>.

- Olree, K., & Christopher, C. (1995). Fundamental patterns of bilateral muscle activity in human locomotion. *Biological Cybernetics*, *73*, 409 - 414. <https://doi.org/10.1007/BF00201475>
- Papagiannopoulou, E.A., & Lagopoulos, J. (2016). Resting state EEG hemispheric power asymmetry in children with dyslexia. *Frontiers in Pediatrics*, *4*(11). <https://doi.org/10.3389/fped.2016.00011>
- Parker, R.I., & Vannest, K. (2009). An improved effect size for single-case research: nonoverlap of all pairs. *Behavior Therapy*, *40*, 357 – 367. <https://doi.org/10.1016/j.beth.2008.10.006>
- Patel, A. (2006). Musical rhythm, linguistic rhythm and human evolution. *Music Perception*, *24*(1), 99 - 104. <https://doi.org/10.1525/mp.2006.24.1.99>
- Patel, A. D., Iversen, J. R., Chen, Y., & Repp, B. H. (2005). The influence of metricality and modality on synchronization with a beat. *Experimental Brain Research*, *163*, 226 - 238. <https://doi.org/10.1007/s00221-004-2159-8>
- Perdue, M.V., Mahaffy, K., Vlahcevic, K., Wolfman, E., Erbeli, F., Richlan, F., & Landi, N. (2022). Reading intervention and neuroplasticity: a systematic review and meta-analysis of brain changes associated with reading intervention. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *132*, 465 – 494. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.11.011>
- Perry, C., Ziegler, J.C., & Zorzi, M. (2007). Nested incremental modeling in the development of computational theories: the CDP+ model of reading aloud. *Psychological Review*, *114*, 273 – 315. <https://doi.org/10.1017/9781108553377.016>
- Peterson-Brown, S., Karich, A.C., & Symons, F.J. (2012). Examining estimates of effect using Non-overlap of All Pairs in multiple baseline studies of academic intervention. *Journal of Behavioral Education*, *21*. 203 – 216. <https://doi.org/10.1007/s10864-012-9154-0>
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. New York: Norton & Company.

- Przybylski, L., Bedoin, N., Krifi-Papoz, S., Herbillon, V., Roch, D., Léculier, L., . . . Tillmann, B. (2013). Rhythmic auditory stimulation influences syntactic processing in children with developmental language. *Neuropsychology*, *27*(1), 121-131.
<https://doi.org/10.1037/a0031277>
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., . . . Shaywitz, B. A. (2000). Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, *6*, 207–213. [https://doi.org/10.1002/1098-2779\(2000\)6:3<207:AID-MRDD8>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1098-2779(2000)6:3<207:AID-MRDD8>3.0.CO;2-P)
- Richards, T., Berninger, V., Winn, W., Wagner, R., & Muse, A. (2007). Functional MRI activation in children with and without dyslexia during pseudoword aural repeat and visual decode: before and after treatment. *Neuropsychology*, *21*(6), 732-741.
<https://doi.org/10.1037/0894-4105.21.6.732>
- Riecker, A., Wildgruber, D., Dogil, G., Grodd, W., & Acherman, H. (2002). Hemispheric Lateralization Effects of Rhythm Implementation during Syllable Repetitions: An fMRI Study. *NeuroImage*, *16*, 169 - 176. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1068>
- Rine, R., & Christy, J. (2014). Physical therapy management of children with vestibular dysfunction. In S. Herdman, & R. Clendaniel, *Vestibular Rehabilitation* (pp. 359 - 387). Philadelphia: Davis Company.
- Rodríguez Cano, S., Sebastián Alonso, P., Delgado Benito, V., & Ausin Villaverde, V. (2021). Evaluation of motivational learning strategies for children with dyslexia: a FORDYSVAR proposal for education and sustainable innovation. *Sustainability*, *13*(2666).
<https://doi.org/10.3390/su13052666>

- Ronimus, M., Kujala, J., Tolvanen, A., & Lyytinen, H. (2014). Children's engagement during digital game-based learning of reading: The effects of time, rewards, and challenge. *Computers and Education, 71*, 237 - 246. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2013.10.008>
- Ryan, R. M., Rigby, C. S., & Przybylski, A. (2006). The motivational pull of video games: a self-determination theory approach. *Motivation & Emotion, 30*, 347–363.
<https://doi.org/10.1007/s11031-006-9051-8>
- Sachs, M., Kaplan, J., Der Sarkissian, A., & Habibi, A. (2017). Increased engagement of the cognitive control network associated with music training in children during an fMRI Stroop task. *Plos One, 12*(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187254>
- Sánchez López, Hernández Sandoval, Pérez Silva, & Servin Aranda (2009), Sobre el suicidio, particularmente en el caso de niños y adolescentes, Serie Encuentros, Comisión de Derechos Humanos del Estado de México
- Sallat, S., & Jentschke, S. (2015). Music Perception Influences Language Acquisition: Melodic and Rhythmic-Melodic Perception in Children with Specific Language Impairment. *Behavioural Neurology, 1* – 10. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/606470>
- Sanbria Díaz, G., Rosario Torres, M., Iglesias, J., Mosquera, R., Reigosa, V., Santos, E., . . . Galán, L. (2009). Changes in reading strategies in school age children. *The Spanish Journal of Psychology, 12*(2), 441 - 453. <https://doi.org/10.1017/S1138741600001827>
- Schilling, F., & Kiphard, E. (1974). *Körperkoordinationstest für Kinder, KTK*. Alemania: Beltz.
- Silva - Pereyra, J., Fernández, T., Harmony, T., Bernal, J., Galán, L., Díaz - Comas, L., . . . Marosi, E. (2001). Delayed P300 during Sternberg and color discrimination tasks in poor

- readers. *International Journal of Psychophysiology*, 40, 17 - 32.
[https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(00\)00123-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(00)00123-9)
- Singer, E. (2008). Coping with academic failure, a study of dutch children with dyslexia. *Dyslexia*, 14, 314 - 333. <https://doi.org/10.1002/dys.352>
- Singley, M.K., & Anderson, J.R. (1989). *The transfer of cognitive skill*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Soetedjo, R., Kojima, Y., & Fuchs. (2019). How Cerebellar motor learning keeps saccades accurate. *Journal of Physiology*, 121(6), 2153 – 2162.
<https://doi.org/10.1152/jn.00781.2018>
- Stanmore, E., Stubbs, B., Vancampfort, D., de Bruin, E., & Firth, J. (2017). The effect of active video games on cognitive functioning in clinical and non-clinical populations: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Neuroscience and Behavioral Reviews*, 78, 34 - 43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.04.011>
- Strauss, E., Sherman, E., & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. Oxford: Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1080/09084280701280502>
- Sun, Z., Pine, P., Rivière, D., Moreno, A., & Dehaene, S. y. (2016). Linking morphological and functional variability in hand movement and silent reading. *Brain Structure and Function*, 221, 3361 - 3371. <https://doi.org/10.1007/s00429-015-1106-8>
- Swanson, H. (2015). Intelligence, working memory and learning disabilities. En T. Papadopolous, J. Kirby, & R. Parrilla, *Cognition, Intelligence and Achievement* (págs. 175-196). London: Academic Press.

- Swanson, H., & Siegel, L. (2001). Learning disabilities as a working memory deficit. *Issues in Education*, 7(1), 1-48.
- Sweetser, P., & Wyeth, P. (2005). GameFlow: a model for evaluating player enjoyment in games. *ACM Computers in Entertainment*, 3(3), 1–24. <https://doi.org/10.1145/1077246.1077253>
- Temple, E. (2002). Brain mechanisms in normal and dyslexic readers. *Current Opinion in Neurobiology*, 12, 178 - 183. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(02\)00303-3](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(02)00303-3)
- Thelen, E., Schoner, G., Scheier, C., & Smith, L. (2001). The dynamics of embodiment: A field theory of infant perseverative reaching. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 1 - 86. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01003910>
- Thompson, M., Wang, A., Roy, D., & Klopfer, E. (2018). Authenticity, interactivity and collaboration in VR learning games. *Frontiers in Robotics and AI*, 5(133). <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00133>
- Thomsom, J., & Goswami, U. (2008). Rhythmic processing in children with developmental dyslexia: Auditory and motor rhythms link to reading and spelling. *Journal of Physiology*, 102, 120 - 129. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2008.03.007>
- Thornburg, C., Narayana, S., Rezaie, R., Bydlinski, B., Tylavsky, F., Papanicolaou, A., . . . Volgyi, E. (2017). Concordance of the resting state networks in typically developing, 6-to 7-year-old children and healthy adults. *frontiers in Human Neuroscience*, 11(199), 1 – 10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00199>
- Tie, Y., Rigolo, L., Norton, I. H., Huang, R. Y., Wu, W., Orringer, D., . . . Srinivasan, M. J. (2014). Defining language networks from resting-state fMRI for surgical planning, a feasibility study. *Human Brain Mapping*, 35(3), 1018 - 1030. <https://doi.org/10.1002/hbm.22231>

- Tsung-Yen, C., Ming-Shiou, K., Ping-Lin, F., & Yen-Wei, H. (2017). A kinect-based motion-sensing game therapy to foster the learning of children with sensory integration dysfunction. *Educational Technology Research and Development*, 65, 699 - 717.
<https://doi.org/10.1007/s11423-016-9505-y>
- Ullman, M. T. (2004). Contributions of memory circuits to language: The declarative/procedural model. *Cognition*, 92(1-2), 231–270. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.10.008>
- Valdés, P., Bosch, J., Grave, R., Hernández, J., Riera, J., Pascual, R., & Biscay, R. (1994). Frequency domain models of the EEG. *Brain Topography*, 4, 309 - 319.
- van de Ven, M., Leeuw, L., van Weerdenburg, M., & Steenbeek - Planting, E. (2017). Early reading intervention by means of a multicomponent reading game. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33, 320 - 333. <https://doi.org/10.1111/jcal.12181>
- Vázquez, C., Xia, L., Aikawa, T., & Maes, P. (2018). Words in Motion: Kinesthetic Language Learning in Virtual Reality. *2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 272 - 276). Cambridge, MA USA: Massachusetts Institute of Technology.
- Vidyasagar, T., & Pammer, K. (2009). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing, *Trends in Cognitive Sciences*, 14(2), 57 – 63.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.12.003>
- Vidyasagar, T. (2019). Visual attention and neural oscillations in reading and dyslexia: are they possible targets for remediation? *Neuropsychologia*, 130, 59 - 65. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.02.009>
- Virtuleap, Inc. (2019). Enhance VR: a multisensory approach to cognitive assessment and training, *Virtuleap. Inc*, 1-10.

- Vygotsky, L. (1986). *Thought and Language* (Vol. reimpresión). (A. Kozulin, Ed., & A. Kozulin, Trad.) Cambridge, Massachussets: MIT Press.
- Wasilewski, T. (2018). Sensory integration and its significance for functioning and developing children speech. *Pediatric medicine*, *14*(1), 20 - 32.
<https://doi.org/10.15557/PiMR.2018.0002>
- Wechsler, D. (2008). *WISC - IV Escala Wechlser de Inteligencia para niños - iv, manual de aplicación*. (G. Padilla, Ed.) México: Manual Moderno.
- White, A., Boynton, G., & Yeatman, J. (2019). The link between reading ability and visual spatial attention across development. *Cortex*, *121*, 44 - 59. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2019.08.011>
- Witt, M., & Lessing, A. (2017). Concept formation and the neurological executive function underlying a training programme to improve pre-reading skills. *Early Child Development and Care*, *188*, 1635 - 1649. <https://doi.org/10.1080/03004430.2017.1403435>
- Woodruff - Carr, K., White - Schwoch, T., Tierney, A., Strait, D., & Kraus, N. (2014). Beat synchronization predicts neural speech encoding and reading readiness in preschoolers. *PNAS*, *111*(40), 14559 - 4564. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1406219111
- Yeo, T., Krienen, F., Chee, M., & Buckner, R. (2014). Estimates of segregation and overlap functional connectivity networks in the human cerebral cortex. *NeuroImage*, *88*, 217 - 227. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.10.046>
- Yeo, T., Krienen, F., Sepulcre, J., Sabuncu, M., Lashkari, D., Hollinshead, M., . . . Buckner, R. (2011). The organization of the human cerebral cortex estimated by intrinsic functional connectivity. *Journal of Neurophysiology*, *106*, 1125 - 1165.
<https://doi.org/10.1152/jn.00338.2011>

Zalesky, A., Fornito, A., & Bullmore, E.T. (2010). Network-based statistic: Identifying differences in brain networks. *NeuroImage*, 53(4), 1197-1207.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.06.041>.

Zakopoulou, V., Pashou, T., Tzavelas, P., Christodoulides, P., Anna, M., & Illiana, K. (2013).

Learning difficulties: a retrospective study of their co moribidity and continuity as indicators of adult criminal behavior in 18 - 70-year-old prisoners. *Research in Developmental Disabilities*, 34(11), 3660 - 3671.

<https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.08.033>