UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN PSICOLOGÍA

INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA
CAMPUS JURIQUILLA, QUERÉTARO.
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN NEURODESARROLLO
"AUGUSTO FERNÁNDEZ GUARDIOLA"
NEUROCIENCIAS DE LA CONDUCTA

Diferencias neuropsicológicas y de la activación cerebral entre niños con buen desempeño académico y niños con trastorno específico del aprendizaje

TESIS
QUE PARA OPTAR EL GRADO DE:
DOCTOR EN PSICOLOGÍA

PRESENTA:
M.en C. ROBERTO RIVEROLL ROMERO

DIRECTOR DE TESIS
DRA. THALÍA HARMONY BAILLET
Instituto de Neurobiología, UNAM

COMITÉ TUTORAL
DRA. MARÍA ESMERALDA MATUTE VILLASEÑOR
Instituto de Neurociencias, UdeG

DR. LUIS CONCHA LOYOLA
Instituto de Neurobiología, UNAM

DRA. JOSEFINA RICARDO GARCELL
Instituto de Neurobiología, UNAM

DR.ERICK HUMBERTO PASAYE ALCARAZ
Instituto de Neurobiología, UNAM

Juriquilla, Querétaro. Septiembre del 2018

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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.

Hay una fuerza motríz más poderosa que el vapor, la electrícidad y la energía atómica: la voluntad.

ALBERT EINSTEIN

DEDICATORIA

A MIS HIJOS SOFY Y PABLO, BIEN SABEN QUE LOS LLEVO EN EL CORAZÓN

A MONY, MI AMADA MI ESPOSA

A MIS PADRES, CECY Y ROBERTO, QUE HAN SIDO MI MÁS GRANDE EJEMPLO DE TENACIDAD Y AMOR A LA VIDA

A MIS HERMANOS, RAQUE Y RODO, MIS GRANDES COMPAÑEROS DE VIDA.

A MI AHIJADO MARTÍN.

RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo es parte de los protocolos de investigación de la Unidad de Investigación en Neurodesarrollo Dr. Augusto Fernández Guardiola" perteneciente al Instituto de Neurobiología de la UNAM, campus Juriquilla. Este trabajo fue financiado por los proyectos de PAPIIT IN204613 y CONACYT 251309, junto con el apoyo para realizar mis estudios de doctorado (CVU/*176425).*

Al instituto de Neurobiología de la UNAM por todo el apoyo recibido.

A la Unidad de Resonancia Magnética del Instituto de Neurobiología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por señalarme el camino.

A todos mis tutores: a la dra. Thalía Harmony por brindarme la oportunidad de trabajar con usted y aprender un poco de lo mucho que sabe, es una fantástica investigadora. A la dra. Josefina, por todo su apoyo, es una mujer extraordinaria y un ángel en la tierra. A la dra. Esmeralda Matute, por apoyarme en la revisión-corrección de mi trabajo y aportarme su gran conocimiento en neuropsicología, es un gran ejemplo a seguir. Al dr. Luis Concha, por su paciencia y consejos, lo admiro. Al dr. Erick Pasaye, asesor y amigo, en definitiva este trabajo no hubiera sido posible sin ti, mil gracias. A la dra. Thalía Fernández por las atinadas aportaciones a mi trabajo de investigación, me enseñó tanto.

Dentro del INB a la M.en C.Leonor Casanova Rico, a la Lic. Ma. de Lourdes Lara Ayala y a la Dra. Gina Quirarte, por todo el apoyo que me brindaron en mi estadía en el doctorado.

En la Unidad de Resonancia Magnética quiero agradecer a María de los Ángeles Zavala Mendoza, Sergio Oswaldo Sánchez Corona, Jorge Octavio Bravo Gamboa Nayeli Garduño Pérez, Humberto Jackson Villegas y en especial al M. en C. Juan Ortiz Retana, por todo el apoyo brindado.

A mis amigos y compañeros de la Unidad de Neurodesarrollo, Cinthya Torres, Jesús Barrera, Teresa Álvarez, Karina López, Consuelo Pedraza, Alethia Brunner, Yuria Cruz, Mónica Carlier y Cristina Carrillo.

A la dra. Julia Azanza Ricardo del Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad de la Habana, Cuba, por su asesoría y consejos.

En el Programa de Maestría y Doctorado en Psicología al Dr. Enrique Díaz Salazar y al Mtro. Oscar Iván Negrete Rodríguez, ya que fueron una pieza muy importante y un apoyo fundamental.

En especial quiero agradecer a los niños y a los padres que participaron en la investigación.

Índice General

		Página
Resumen		i
Abstrac		ii
1. **Introducción**		1
1.1	Planteamiento del problema	3
1.1.1	Justificación	3
1.1.2	Objetivos	4
1.1.3	Generales	4
1.1.4	Particulares	4
1.2	Preguntas de investigación	5
1.3	Hipótesis	5
2. Marco teórico		7
2.1	Lenguaje oral y escrito: algunas consideraciones importantes	7
2.2	El proceso de adquisición de la lectura	8
2.3	Modelos cognitivos de la lectura	10
2.4	Bases cerebrales de la lectura	14
2.5	Requisitos cognitivos relacionados con el éxito de la lectura	16
2.6	Desarrollo de habilidades numéricas y del cálculo	18
2.7	Modelos cognitivos del cálculo	20
2.7.1	El Modelo de triple código	21
2.8	Mecanismos de la escritura	26
2.9	Trastornos en el aprendizaje según el DSM IV-TR	28
2.9.1	Características de los Trastornos específicos y no específicos en el aprendizaje	28
2.10	Trastornos en el aprendizaje según el DSM-V	30
2.11	Trastorno en el aprendizaje de la lectura	32
2.12	Trastorno en el aprendizaje de las matemáticas	36
2.13	Comorbilidad entre la dislexia y la discalculia	37
2.14	Las dificultades específicas del aprendizaje	38
2.15	Resonancia Magnética: Medición de la Estructura y Actividad Cerebral: Principios de la resonancia magnética	40
2.16	La resonancia magnética funcional (RMf)	43
3. Método		45
3.1	Diseño de investigación	45
3.2	Muestra y procedimiento	45
3.3	Instrumentos	46
3.4	Paradigmas de estimulación de RMf	49

4. Resultados 50
4.1 Pruebas psicológicas y neuropsicológicas 54
4.2 Adquisición y análisis de RMf 68
4.2.1 Lectura de palabras 70
4.2.2 Lectura de pseudopalabras 72
4.2.3 Comparación de números 74
4.2.4 Suma de números 76
4.2.5 Descripción de los contrastes 77
5. Discusión 79
5.1 Pruebas neuropsicológicas 79
5.1.1 Revisión de la heterogeneidad en los grupos BDA y DEA 83
5.2 Discusión de los resultados de RMf 93
5.2.2 Lectura de palabras 93
5.2.3 Lectura de pseudopalabras 94
5.2.3 Comparación 95
5.2.4 Sumas 96
6. Conclusiones 97
7. Referencias 100
8. Anexos. Correlatos neurales de cada tarea pormenorizado 113
Anexo 1. Correlatos neurales en la tarea de lectura de Palabras. 113
Anexo 2. Correlatos neurales en la tarea de lectura de Pseudopalabras 117
Anexo 3. Correlatos neurales en la tarea de la comparación de números 120
Anexo 4. Correlatos neurales en la tarea de la suma de números 123
Índice de tablas 126
Índice de figuras 127

Resumen

En el presente trabajo se examinan las diferencias, tanto neuropsicológicas como de los correlatos neurales obtenidos mediante la técnica de Resonancia Magnética Funcional (RMf), en dos grupos de 34 niños divididos en dos grupos, el primero que presentó Dificultades Específicas en el Aprendizaje (DEA) (n=19; 10 niñas y 19 niños, con una edad promedio de 8.95 ± .78 años. El segundo grupo considerado como de Buen Desempeño Académico (BDA) (n=15; 8 niñas y 7 niños, con una edad promedio de 8.87 ± .74 años). Se utilizó la Escala Wechsler de Inteligencia para Niños, en su cuarta versión (WISC-IV) y la batería de Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI) en las subpruebas de Habilidades Académicas, Memoria, Atención y Habilidades Metalingüísticas, con el fin de realizar la evaluación neuropsicológica de los niños. Fue posible observar que los grupos de niños de BDA y con DEA presentaban diferencias estadísticamente significativas en todas las subpruebas tanto las variables tomadas como criterios de inclusión como en la mayoría de las variables del WISC-IV y de la ENI (con excepción del Índice Velocidad de Procesamiento (WISC), conteo, Memoria Auditiva en ambas fases (codificación/evocación), Atención Auditiva y Atención Visual (ENI). Fue posible crear subgrupos tanto en el de BDA como el de DEA, basados en su características neuropsicológicas. En los subgrupos DEA el problema fundamental consistió en fallas en mecanismos relacionados con las habilidades verbales y el funcionamiento ejecutivo, particularmente en la comprensión verbal, memoria de trabajo audio-verbal y en las habilidades metalingüísticas. Por otro lado, en las tareas de RMf (de lectura de palabras y pseudopalabras, comparación de números arábigos y suma de números) fue posible encontrar diferente tipo de correlatos neurales relacionados con la ejecución de algunas tareas cognitivas, a saber: en la lectura de palabras en el contraste BDA>DEA se halló un correlato neural en estructuras relacionadas con el manejo fonológico, la semántica y la automatización de la lectura (debido a la activación cerebelosa bilateral y corteza cingulada posterior bilateral), al contrario de del contraste DEA>BDA, ya que al parecer los niños DEA utilizaron estrategias compensatorias de articulación de los sonidos (giro frontal inferior). En cuanto a la lectura de pseudopalabras el correlato neural diferencial en los niños DEA>BDA estuvo en el giro frontal medio y superior. En la comparación y suma de números, la activación del cíngulo en su parte posterior y su relación con el manejo de la memoria fue un dato a resaltar en el grupo DEA. La utilización de áreas occipitales cercanas al giro angular también fueron datos importantes para la comprensión de las dificultades que manejan estos niños, relacionados con el manejo de la memoria de trabajo auditiva, la que al parecer es inadecuada.

Palabras clave: *dificultades específicas en el aprendizaje, resonancia magnética funcional, memoria operativa, habilidades lingüísticas, evaluación neuropsicológica.*

Abstrac

In the present work, we examine the neuropsychological differences between the neural correlates obtained through the Functional Magnetic Resonance (fMRI) technique, in two groups of 34 children divided into two groups, the first one who presented Specific Learning Difficulties (DEA) (n = 19; 10 girls and 19 boys, with an average age of 8.95 ± .78 years.) The second group considered as Good Academic Performance (BDA) (n = 15; 8 girls and 7 boys, with an average age of 8.87 ± .74 years.) The Wechsler Intelligence Scale for Children was used in its fourth version (WISC-IV) and the Children's Neuropsychological Assessment (ENI) battery in the subtests of Academic Skills, Memory, Attention and Metalinguistic Skills, in order to perform the neuropsychological evaluation of children. It was possible to observe that the groups of children with BDA and with DEA had statistically significant differences in all the subtests, both the variables taken as inclusion criteria and in most variables of the WISC-IV and the ENI (with the exception of the Speed Index of Processing (WISC), counting, Auditory Memory in both phases (coding / evocation), Auditory Attention and Visual Attention (ENI). It was possible to create subgroups in both the BDA and the DEA, based on their neuropsychological characteristics. In DEA subgroups, the fundamental problem consisted in failures in mechanisms related to verbal skills and executive functioning, particularly in verbal comprehension, audio-verbal work memory and in metalinguistic skills. On the other hand, in the tasks of fMRI (of reading words and pseudowords, comparison of Arabic numbers and additon of numbers) it was possible to find different types of neural correlates related to the execution of some cognitive tasks, namely: in the reading of words in contrast BDA> DEA was found a neural correlate in structures related to phonological management, semantics and reading automation (due to bilateral cerebellar activation and bilateral posterior cingulate cortex), contrary to the contrast DEA> BDA , since apparently the DEA children used compensatory strategies of sounds (inferior frontal rotation). Regarding the reading of pseudowords, the differential neural correlate in children DEA> BDA was in the middle and superior frontal rotation. In the comparison and addition of numbers, the activation of the cingulum in its posterior part and its relation with memory use, was a fact to be highlighted in the DEA group. The use of occipital areas near the angular gyration were also important data for the understanding of the difficulties that these children handle, related to the use of auditory work memory, which apparently is inadequate.

Key words: specific difficulties in learning, functional magnetic resonance, operational memory, linguistic skills, neuropsychological evaluation.

1. Introducción

Las bases neurobiológicas que dan sustento material a las llamadas funciones psicológicas superiores han sido estudiadas por medio de diversas técnicas y procedimientos, tales como métodos electrofisiológicos, de imagen cerebral, neuropsicológicos, etc., los cuales ofrecen respuestas a los cuestionamientos del origen, desarrollo y funcionamiento de capacidades mentales humanas.

Por medio del uso de técnicas de imagen cerebral, se ha confirmado la existencia de algunas áreas del hemisferio izquierdo encargadas de cierto tipo de mecanismos psicofisiológicos específicos involucrados en el buen funcionamiento lector, a saber: por un lado el giro fusiforme occipitotemporal (relacionado con la identificación visual y rápida de las palabras), la porción superior temporal (giro angular y supramarginal, las cuales realizan la manipulación mental de los sonidos del lenguaje) y la tercera circunvolución frontal, comúnmente denominada área de Broca (relacionada con la secuenciación de los movimientos del aparato fonoarticulador para producir los sonidos del lenguaje, la integración fonológica por la unión con el lóbulo temporal a través del fascículo arcuato, la memoria de trabajo audio verbal, entre otros procesos), todas estas áreas juegan un papel primordial en el buen desempeño de la lectura (Shaywitz & Shaywitz, 2009).

En relación con las matemáticas los componentes neurobiológicos más relevantes que propician un adecuado desempeño matemático están relacionados con el surco intraparietal en ambos hemisferios (discriminación de la cantidad en un conjunto, comparación de números, etc.), áreas perisilvianas del hemisferio izquierdo (giro angular, las cuales sirven como eslabón para acceder de manera efectiva a los hechos matemáticos y al mantenimiento de la información auditiva para su procesamiento, es decir memoria de trabajo) y el giro fusiforme occipito-temporal de manera bilateral (discriminación y percepción visual de números) (Amalric & Dehaene, 2016).

En este sentido, el desarrollo poco favorable de funciones psicológicas como la escritura, la lectura y el cálculo, han sido fuente de estudio en épocas recientes, siendo hasta la segunda década del siglo XX, el inicio del trabajo de investigación sistemático de estos trastornos (Ardila, Roselli & Matute, 2005, pp. XI), razón por la cual aún existen muchas

cuestiones por resolver en cuanto a la naturaleza y relación de estas funciones psicológicas.

La dislexia y la discalculia, son definidos como trastornos del neurodesarrollo relacionados en primer término como una dificultad en la adquisición de competencias en la lectura y por otro lado se puede hablar de dificultades en el dominio numérico y el cálculo matemático.

Se ha encontrado que en la dislexia el principal componente neuropsicológico afectado es la capacidad de manipulación mental de los sonidos del lenguaje y su correspondiente asociación con la conversión del rubro gráfico al verbal, es decir la alteración está relacionada con un escaso desempeño en la conciencia fonológica (Vellutino, Fletcher, Snowling & Scanlon, 2004). Por otro lado, en la discalculia se ha encontrado el déficit en el sentido del número (Dehaene, 2001; Butterworth, Varma & Laurillard, 2011), el cual se puede entender como aquella capacidad que nos permite comprender, aproximar y manipular cantidades numéricas.

En cuanto a la comorbilidad en ambos trastornos, se pueden mencionar dos posibles explicaciones (Landerl, Fussenegger, Moll & Willburger, 2009): en primer término aquella teoría del déficit común para ambos trastornos, en la cual se cree que el déficit del manejo fonológico es la que pudiera explicar la aparición de ambas alteraciones. Por otra parte, existen evidencias que indican que el trastorno de la lectura y del cálculo presentan cada uno un déficit cognitivo diferente, por un lado, el fonológico y por el otro el de la representación y manejo de números.

A pesar de los hallazgos hasta aquí plasmados aún falta describir de manera más amplia las alteraciones de la lectura y del cálculo cuando aparecen en forma simultánea en niños de habla española, en específico en México, ya que son pocos los estudios realizados a través de resonancia magnética funcional en esta población, razón por la cual se planteó esta investigación que valoró desde la perspectiva neuropsicológica y de imagen cerebral, por medio de la resonancia magnética funcional, a niños con trastorno específico en el aprendizaje de la lectura y del cálculo y niños con buen desempeño académico, ya que al comprender la naturaleza, evolución, los factores desencadenantes, etc. de las dificultades en el aprendizaje, puede ofrecer resultados que

favorezcan el diagnóstico y en consecuencia también mejores acercamientos terapéuticos, fundamentados en investigación y práctica clínica.

1.1 PLATEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Justificación

De acuerdo con el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Desórdenes Mentales en su quinta versión (DSM-V, 2013) la prevalencia de trastornos del aprendizaje en sus variantes es del 5% al 15% en diferentes culturas e idiomas, por lo cual es evidente el gran número de personas afectadas por dichas dificultades en el aprendizaje de habilidades académicas que dará como consecuencia conflictos no sólo de su vida laboral sino también social y personal. En específico las estadísticas en nuestro país son escasas y no se tienen datos concretos para determinar de manera confiable la incidencia de estos trastornos, aunque de acuerdo con el Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE) dos de cada diez alumnos de sexto de primaria no alcanzan las competencias básicas en español y matemáticas (INEE, 2010), además de que al llegar a la educación secundaria existe 22% de niños con un nivel deficiente en las competencias lectoras y 33% con fallas en las matemáticas (INEE, 2012). Por otro lado Matute, Pinto y Zarabozo (2006) encontraron una incidencia del 2.1% de niños que presentan trastorno específico del cálculo en la ciudad de Guadalajara, Jalisco en México. Con ayuda de estos datos se puede observar el gran impacto social, económico y psicológico que presenta este tipo de trastornos, en primera instancia a las personas afectadas, así como al sistema de salud y de educación, los cuales deben invertir una gran cantidad de recursos para la atención de este tipo de problemáticas. En este sentido es importante acotar que la comprensión de su naturaleza, evolución, los factores desencadenantes, etc. de las dificultades en el aprendizaje, pueden arrojar luz para el diagnóstico y en consecuencia mejores acercamientos terapéuticos, por ello es importante la investigación de las bases tanto cerebrales como cognitivas de las mismas. Se debe mencionar que, aunque existen muchas investigaciones que han estudiado los trastornos del aprendizaje independientemente, existen pocos estudios en donde se evalúe si dentro de los trastornos específicos del aprendizaje, existe alguna relación entre las habilidades académicas de lectura y cálculo, que explique esta alteración en la

adquisición de competencias escolares. En adición al punto anterior, el estudio de problemas de aprendizaje con población mexicana utilizando como medio de análisis la Resonancia Magnética Funcional es escaso, por lo cual es importante realizar estudios con este tipo de características. Derivado de todo lo anterior se propone el siguiente trabajo de investigación el cual hace una comparación entre niños de 8 a 10 años de edad con Buen Desempeño Académico (**BDA**) y niños con Dificultades Específicas en el Aprendizaje (**DEA**) a través de la utilización de distintas tareas cognitivas registradas por medio de la técnica de resonancia magnética funcional, la cual permite la detección e identificación de estructuras cerebrales que se activan durante la realización de la mismas, además del análisis neuropsicológico de las pruebas conductuales aplicadas, ya que dentro del diagnóstico DEA, se considera de suma importancia utilizar instrumentos neuropsicológicos con normas de la población a la que pertenece la muestra objeto de investigación, lo cual posibilita obtener perfiles neuropsicológicos más confiables. Tal es el caso del uso de la versión más reciente de la Escala Wechsler de Inteligencia para Niños, en su cuarta versión (WISC-IV, por sus siglas en inglés, Wechsler, 2007a) y de la Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI) (Matute, Rosselli, Ardila y Ostrosky, 2007), ambos normados en población mexicana.

1.1.2 Objetivos

1.1.2.1 Objetivos generales

- Caracterizar neuropsicológicamente a un grupo de niños dificultades específicas en el aprendizaje y otro grupo de niños con buen desempeño académico.
- Conocer si la activación cerebral ante diferentes tareas cognoscitivas es igual en niños con dificultades específicas en el aprendizaje y niños con adecuado desempeño académico.

1.1.2.2 Objetivos particulares

- Describir y analizar la activación cerebral ante tareas cognoscitivas (lectura, y cálculo) utilizando la técnica de resonancia magnética funcional en niños con dificultades específicas en el aprendizaje y niños con adecuado desempeño académico.

- Describir e interpretar diferencias y similitudes en la activación entre estos procesos psicológicos en ambos grupos.
- Relacionar los resultados de las pruebas conductuales con la activación cerebral en cada una de las tareas propuestas.

1.2 Preguntas de investigación

- ¿Existirán diferencias entre niños con Dificultades Específicas en el Aprendizaje (DEA) (precisión en la lectura y cálculo matemático) y niños con buen desempeño académico (BDA) en la activación cerebral ante diferentes tareas cognoscitivas?
- ¿Se hallará un componente o componentes comunes en la activación cerebral que compartan las diferentes tareas cognoscitivas?
- ¿Se relacionarán la eficacia en las ejecuciones conductuales con la activación cerebral observada en la resonancia magnética funcional?
- ¿Existe alguna relación entre el desempeño académico en general y las puntuaciones con otras pruebas neuropsicológicas no relacionadas directamente con el desempeño académico?

1.3 Hipótesis

- Hi: Habrá diferencias en la activación cerebral en el sistema dorsal parietotemporal entre niños con dificultades específicas en el aprendizaje y niños con adecuado desempeño académico ante las tareas de análisis fonológico de la lectura de pseudopalabras.
- Hi: Se hallarán diferencias en la activación cerebral en la región del surco occipito-temporal izquierdo entre niños con dificultades específicas en el aprendizaje y niños con adecuado desempeño académico ante las tareas de análisis semántico durante la lectura de palabras.
- Hi: Existirán diferencias en la activación cerebral (segmento del surco intraparietal bilateral en su parte horizontal y/o en el parietal bilateral postero-superior) entre niños con dificultades específicas en el aprendizaje y niños con adecuado desempeño académico ante la comparación de números.

- Hi: Habrá diferencias en la activación cerebral (en áreas perisilvianas izquierdas, giro angular izquierdo, ganglios basales en su porción izquierda o tálamo) entre niños con dificultades específicas en el aprendizaje y niños con adecuado desempeño académico ante las tareas de resolución de sumas sencillas.
- Hi: Existirá(n) estructura(s) cuya activación compartan las tareas cognitivas de lectura y cálculo que puedan relacionarse con la deficiencia simultánea de las mismas.
- Hi. Existirá dentro de las pruebas neuropsicológicas alguna que se correlacione con el desempeño en lectura de precisión y el cálculo.

2. Marco teórico

2.1 Lenguaje oral y escrito: algunas consideraciones importantes

De acuerdo a Lopera (2004) el aparato neural para la conducta pseudolingüística tal vez existió ya en los antepasados comunes a simios y seres humanos, sin embargo el nervio que controla los músculos de la lengua (par craneal XII o Hipogloso) que a su vez está relacionado con la capacidad para pronunciar los sonidos del lenguaje, presentó un desarrollo similar al que los hombres actuales tienen hace al menos unos 300,000 años, razón por la cual se puede pensar que el habla humana tiene por lo menos ese tiempo de haber aparecido, sin embargo no fue hasta el Homo Erectus en el cual se alcanzó el desarrollo de la capacidad de descripción del mundo que le rodeaba. Por otra parte, el primer sistema de escritura surgió con los Sumerios hace aproximadamente unos 5000 años, utilizando pictogramas o pequeños dibujos para representar objetos o conceptos (Berko & Berstein, 1999, pp.433-440). De acuerdo con estos datos se puede decir que el habla precede tanto ontogenética como filogenéticamente al lenguaje escrito, agregando también que los procesos implícitos en la adquisición de estos tipos de lenguaje son diferentes (Jiménez, Rodrigo & Hernández, 1999). De lo anterior se desprende que el proceso de adquisición del lenguaje hablado es significativamente más sencillo que el aprendizaje de la lectura, dado que las estructuras cerebrales que dan fundamento al lenguaje oral ya tienen una funcionalidad dada para la adquisición del habla, el primero dado de manera natural y el segundo con la necesidad de instrucción y con una artificialidad propia.

Aunque la adquisición y los mecanismos de acción son diferentes en ambas funciones psicológicas, el uso de un código lingüístico para la adquisición de la lectura es fundamental, debido a que si no existen los fundamentos neurológicos desarrollados primeramente en el ámbito auditivo (competencias metalingüísticas) no es posible acceder a la adquisición de competencias lectoras; se debe establecer un vínculo entre los procesos de codificación y decodificación auditivo verbal y el sistema visual el cual permite traducir lo que vemos a una expresión-comprensión lingüística, es decir la unión entre la conciencia visual ortográfica y la conciencia fonológica (Valdivieso, 2016).

La conciencia fonológica permite al niño analizar y procesar fonológicamente el lenguaje oral, la cual puede definirse como aquella habilidad que permite ejecutar operaciones mentales sobre el “output” de los mecanismos de percepción del habla (Etchepareborda & Habib, 2001) y el lenguaje escrito, es decir es la capacidad de tomar conciencia y manipular los aspectos estructurales del lenguaje en el nivel fonológico. Entre esas unidades se distinguen la sílaba, las unidades intrasilábicas y los fonemas (Lorenzo, 2001a).

De lo descrito hasta aquí, se desprende el papel fundamental que el desarrollo del lenguaje oral tiene para la adquisición de las competencias del lenguaje escrito. Es por ello que buena parte de las investigaciones realizadas en lectura a lo largo de las últimas décadas se han detenido en el concepto de conocimiento fonológico o conciencia fonológica (Cuadro & Trías, 2008).

2.2 El proceso de adquisición de la lectura

Se sabe que la lectura es un proceso por medio del cual reconocemos en un código gráfico un contenido de tipo lingüístico. El desciframiento de dicho código permite la transmisión de información en diferentes y múltiples sentidos, así como de infinidad de contenidos conceptuales (Talero, 2004).

De acuerdo con el modelo psicolingüístico de desarrollo de la lectura, el primer período en la adquisición en lectura es el período protoalfabético. Este primer periodo en la vida del niño, es en la cual se dan las bases del lenguaje escrito. En este período se deben de adquirir tres competencias muy importantes como las capacidades fonológicas, el conocimiento y adquisición del vocabulario y la habilidad perceptiva visual para reconocer las letras que conforman las palabras (Berko & Berstein, 1999). Posteriormente se encuentran otras tres etapas que se enunciarán a continuación. De acuerdo con este modelo existen tres fases principales en el desarrollo de la lectura, según Frith (1989): etapa logográfica, etapa alfabética y la última es la etapa ortográfica.

La etapa logográfica, postula que cuando el niño ya ha adquirido cierta competencia lingüística, comienza a aprender conceptos funcionales acerca del proceso lecto-escritor. Los niños aprenden a reconocer algunas pistas de las palabras o bien se ayudan del contexto para poder reconocerlas, de este modo los niños logran iniciar un proceso de

pre-lectura. En este proceso de aprendizaje, la información visual procedente del entorno juega un papel fundamental (nombres, tiendas, letreros, etc.). La característica de la fase logográfica es identificar las palabras escritas de una manera global y directa, y por eso el niño se muestra insensible en esta fase a ligeras modificaciones gráficas. Dehaene (2009) menciona que en lenguas “trasparentes”, esta etapa se presenta, pero con un periodo relativamente breve.

En este mismo sentido Alegría (2006) menciona que la representación fonológica es adquirida por medio de la representación visual, siendo los procesos visuales y lingüísticos indivisibles, sin embargo, afirma que la representación fonológica es la que primero se adquiere y posteriormente la ortográfica, siendo la “generatividad” el elemento más importante de esta capacidad lingüística, que no poseen los ideogramas. Esta generatividad consiste en la capacidad de descifrar los sonidos que componen una palabra o pseudopalabra que nunca hubiera visto el niño. Por el contrario, los logogramas no permiten “leer” o descifrar otro logograma. Se menciona que no existen datos empíricos que afirmen que para poder adquirir una competencia alfabética es necesario pasar por la etapa logográfica.

La etapa alfabética se inicia cuando el niño obtiene conocimiento del alfabeto y adquiere conciencia fonológica; acceder a esta etapa requiere de enseñanza explícita del código alfabético. El poder asimilar que lo impreso tiene una traducción a aspectos orales supone ser consciente de los sonidos que conforman la palabra, esto es, poseer conciencia fonológica, la cual es una habilidad para reflexionar conscientemente sobre los segmentos fonológicos del lenguaje oral.

Con la lectura por recodificación fonológica, se accede al significado de palabras no familiares además de una mayor precisión de la lectura visual de palabras. En relación con la lectura en español, se puede mencionar que es un idioma que posee un sistema de lectura fonológicamente transparente en donde la lectura puede realizarse con una correspondencia grafema-fonema muy cercana, es decir utilizando de esta forma una estrategia de lectura grafo-fonémica, a diferencia de idiomas como el inglés en donde la correspondencia de la letra no necesariamente tiene su correspondiente sonido unívoco (Ardila, 1998). Se puede mencionar que existen algunas excepciones a este sistema transparente: la lectura de ciertas palabras tomadas de otras lenguas, irregularidades de

lenguas nativas de México, ciertas formas escritas que no corresponden a la pronunciación actual de las palabras y ciertos arcaísmos en la escritura (Roselli, Matute & Ardila., 2010).

Por último, la etapa ortográfica está caracterizada por el uso de estrategias que comparan la forma ortográfica de las palabras impresas con las representaciones mentales del léxico ortográfico. Esta etapa comienza cuando el niño posee conocimiento de los patrones del deletreo de las palabras y este conocimiento es utilizado sin necesidad de habilidades fonológicas, es decir el niño analiza la palabra, identificando cada una de sus letras y el orden en que aparecen, sin hacer la conversión fonológica, reconociendo la palabra como una unidad (globalmente) a partir de su patrón logográfico.

2.3 Modelos cognitivos de la lectura

El modelo por excelencia para la realización de la lectura parte de Morton (1969) y su trabajo del modelo de la doble ruta y sus unidades de reconocimiento de las palabras escritas llamadas logogen. El modelo de doble ruta postula que existen dos rutas para la lectura, una ruta directa u ortográfica en la cual se realiza la lectura de elementos con los cuales ya se ha trabajado y que se han acumulado dentro un almacén a largo plazo, tales estímulos pueden ser palabras comunes o de ortografía regular; la segunda ruta se denomina indirecta o fonológica y se encarga de realizar un análisis elemento por elemento de la palabra o pseudopalabra presentadas, siento estas poco frecuentes o con una estructura compleja.

A continuación, se explica un modelo de procesamiento de la lectura basado en estas dos vías de reconocimiento y procesamiento de palabras escritas.

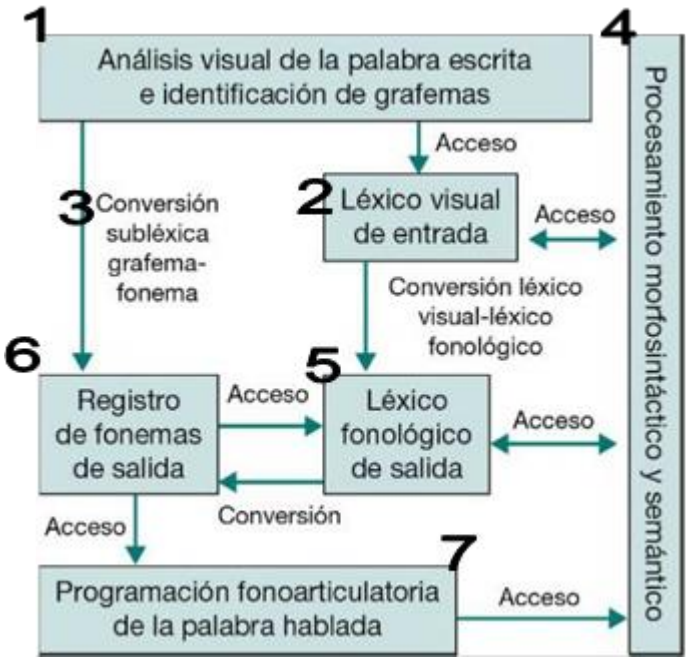


Figura 1. Modelo de doble ruta basado en Lecours (1998) y Cuetos (2007). (Adaptado de Navarra, Vallés, Majoral, Roig y Picazo (2014)).

En la figura 1 se muestra un modelo de dos vías en el cual se observa la vía directa (flechas y cajas de color obscuro) y la ruta indirecta (fondo blanco). Los cuadros son los depósitos mnémicos en los cuales se almacenan tipos específicos de información de representaciones mentales. En relación con las flechas, éstas representan o el acceso a ciertos componentes enunciados anteriormente o bien simbolizan el cambio de procesamiento al cambiar de un almacén a otro.

En primera instancia se realiza una identificación de las letras o signos (análisis visual de las palabras escritas, realizando un proceso perceptivo visual y de movimientos sacádicos para poder identificar el texto (número 1). Posteriormente se realiza el procesamiento léxico, con dos posibilidades de acción: por un lado, la ruta léxica, con el reconocimiento visual global del estímulo (léxico visual de entrada, representado con el número 2), o bien la ruta subléxica, siendo la identificación de unidades visuales más pequeñas (grafema o sílaba) las que son analizadas en este proceso, representada con el número 3.

Al realizar el reconocimiento visual global se puede acceder de manera paralela al significado del estímulo, mediante el procesamiento morfo-sintáctico (4) o bien acceder a la expresión oral de la palabra mediante el proceso de conversión del almacén visual al fonológico (5) (accediendo al significado) o bien se da en primera instancia la conversión del contenido fonológico a la representación fonética de las palabras (6) y posteriormente la preparación para la expresión oral (7).

En lo que respecta a la otra ruta indirecta, al realizar primero el análisis de la palabra escrita (elemento por elemento; número 1), para posteriormente realizarse la conversión subléxica de cada elemento de la palabra por separado (3), accediendo posteriormente a la representación fonética (6) y a la articulación de la palabra (7), siendo esta expresión letra por letra, sonido por sonido o sílaba por sílaba o bien accediendo a la presentación fonológica (5) y posteriormente al significado o a la morfo-sintaxis (7).

Por su parte, Dehaene (2009) (figura 2) también proporciona un modelo para la lectura de palabras, el cual cuenta con dos vías para llevar a cabo el proceso de lectura, la vía visual y la vía fonológica. En primera instancia podemos observar la entrada de la palabra escrita (lado izquierdo en la parte inferior), posteriormente realizamos una normalización de la palabra escrita en donde no importando la tipografía en la cual está representada la palabra podemos reconocerla, en la cual están inmersos procesos visuales de bajo y alto nivel. Para pasar de esta entrada de información a la pronunciación se deben realizar muchos procesos alternos que van desde el acceso de la palabra en las vías ortográficas (vía visual) hasta el acceso del diccionario de los sonidos del lenguaje hablado (vía fonológica). Estas dos formas de procesamiento de las palabras escritas para la lectura coexisten y se complementan. Por ejemplo, cuando las palabras son muy irregulares, poco comunes o nuevas se procesan por medio de la ruta fonológica, en la cual primero desciframos la cadena de letras, posteriormente las pronunciamos y en un dado caso dependiendo de la tarea accedemos al significado. Por el contrario, cuando nosotros nos enfrentamos a palabras que son frecuentes, se utiliza para la lectura la vía visual o

directa, la cual identifica y accede al significado de las palabras usando información léxica para acceder a la pronunciación.

Este modelo es aplicable en un lenguaje trasparente como el español, siendo la ruta fonológica la primera que se utiliza, para después usar la ruta léxica o visual, cuando la persona ha aumentado su experiencia lectora (Ardila & Cuetos, 2016).

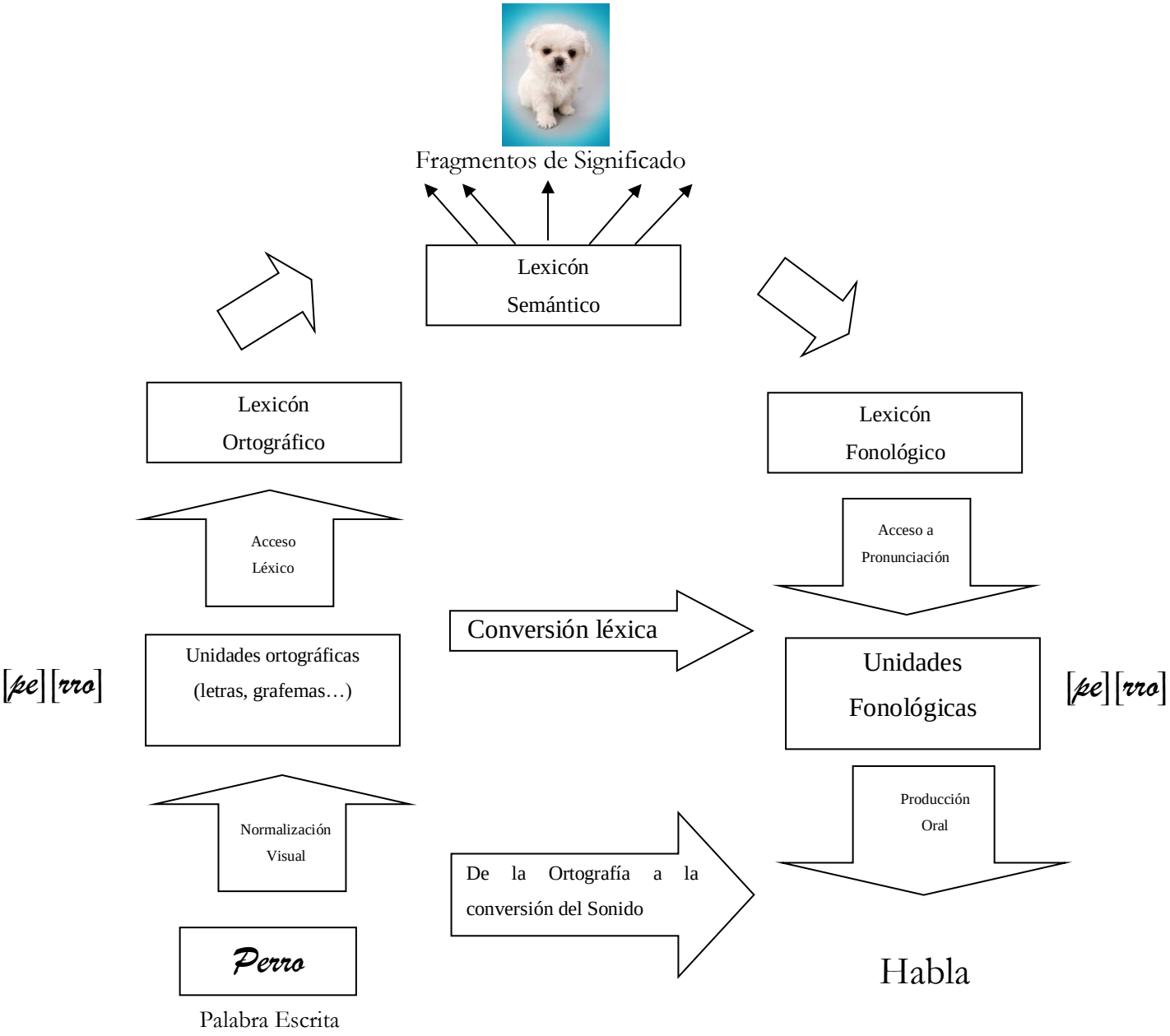


Figura 2. Modelo de procesamiento de la lectura (Dehaene, 2009)

2.4 Bases cerebrales de la lectura

Pugh y colaboradores (2001) (figura 3) mencionan que el aprendizaje de la lectura involucra dos conjuntos de regiones cerebrales, identificadas por estudios de neuroimagen y electrofisiológicos, que ya están presentes en la infancia: el sistema de reconocimiento de objetos y de la red del lenguaje. Estas áreas antes del proceso de

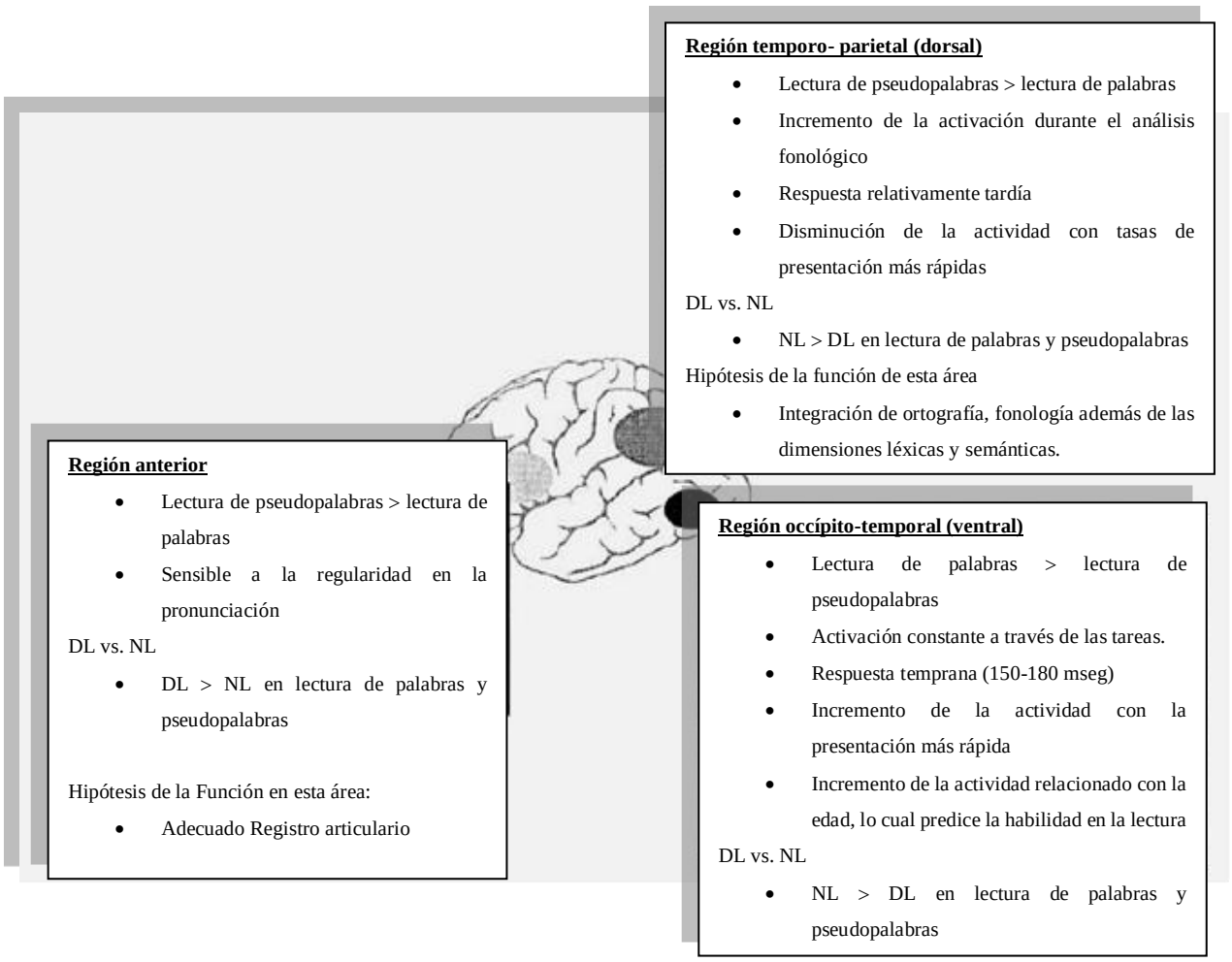


Figura 3. Modelo tentativo del circuito neural de la lectura Pugh, Mencl, Jenner, Katz, Frost, Lee, Shaywitz & Shaywitz (2001). DL (discapacidad en la lectura) y capacidad de lectura adecuada (NL)

instrucción escolar ya tienen una función específica y son reutilizadas para los fines que el proceso de lectura requiere. Dentro de este punto de vista de acuerdo con Dehaene, Cohen, Sigman & Vinckier, (2005) y su teoría de “Reciclaje Neuronal”, las áreas cerebrales que poseen una función determinada durante el curso de la evolución son “reusadas” con el fin de llevar a cabo una función nueva, dada culturalmente.

Dehaene (2009), brinda también el modelo moderno de redes neuronales para la lectura (figura 4).

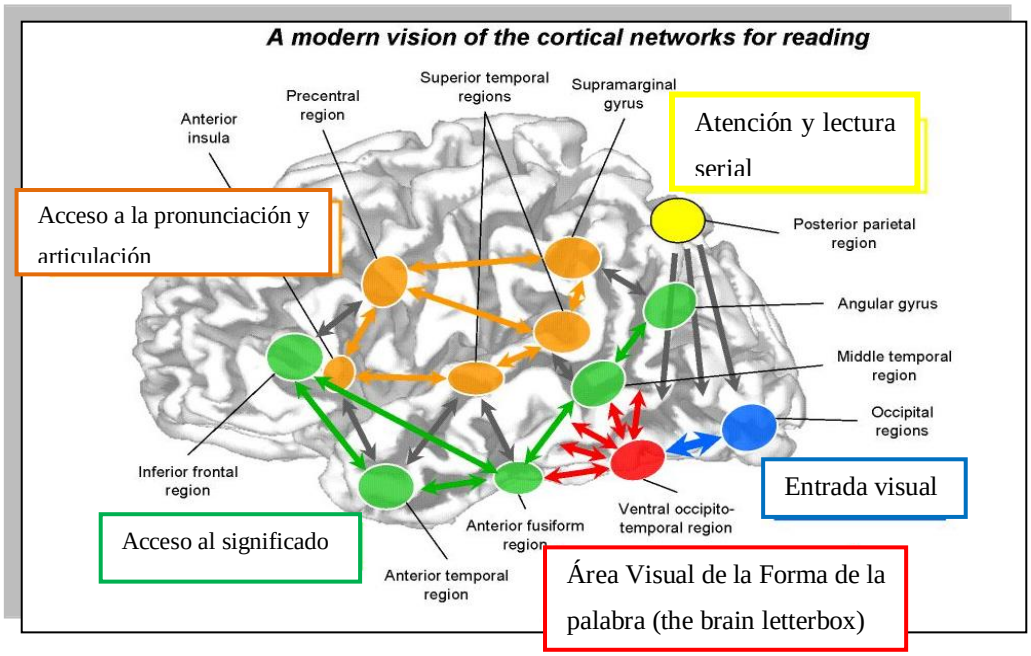


Figura 4. Las regiones en color verde y naranja no son específicas para la lectura, contribuyendo en primera instancia al procesamiento del lenguaje hablado. Por lo tanto, el aprender a leer implica el desarrollar interconexiones eficientes entre las áreas visuales y las áreas del lenguaje. Adaptado de Dehaene (2009).

Este modelo postula que el área occípito- temporal izquierda llamada “letterbox” o área para la “forma visual de la palabra” identifica la forma visual del conjunto de letras y al parecer está relacionado con el procesamiento ortográfico (Tsapkini & Rapp, 2010). Esta a su vez distribuye esta información invariante a numerosas regiones, repartidas en el hemisferio izquierdo, las cuales codifican el significado de la palabra, el patrón del sonido y la articulación. Se cree que la especialización de esta área para identificar las palabras se va formando a través de la experiencia y exposición a la ortografía propia del sistema de escritura de la lengua hablada. Al inicio la habilidad de procesar letras, cadenas de letras y palabras podría comenzar como un proceso de reconocimiento de objetos en general y posteriormente con la experiencia, el procesamiento se hace más eficiente y utiliza los mecanismos más apropiados para realizar la selección de la información visual percibida (Schlaggar & Mc Candliss, 2007). Aunque este postulado del área visual de la

palabra ha sido debatido en algunos trabajos (Price & Devlin, 2003; Vigneau, Jobard, Mazoyer, & Tzourio-Mazoyer, 2005; Xue & Poldrack, 2007), en relación con la especificidad de su activación exclusiva con palabras, aún no se tiene una respuesta concluyente.

Algunos autores han hallado por medio de RMF, que la especialización de las letras y palabras se va realizando en mayor medida con el área occípito- temporal izquierda que, en la derecha, encontrándose esa especificidad para el material escrito y no para otro tipo de objetos visuales (Shaywitz, Shaywitz, Pugh, Mencl, Fulbright, Skudlarski, Constable, Marchione, Fletcher, Lyon, Gore, 2002; Schlaggar, Brown, Lugar, Visscher, Miezin & Petersen, 2002).

Aunado a esto, existen trabajos en donde se menciona que en la lectura se utilizan por lo menos tres sistemas neuronales principales (Shaywitz et al., 2002; Shaywitz & Shaywitz, 2009): los dos primeros localizados en la parte posterior de la corteza, uno relacionado con la habilidad para analizar los sonidos del lenguaje en su parte más elemental (fonología) y en procesos de memoria auditiva para el procesamiento de oraciones (Keller, Carpenter & Just, 2001) que tiene sustento en regiones parieto-temporales (sistema dorsal parietotemporal) en el cual participa el giro angular, giro supramarginal y la porción posterior del giro temporal superior) y la segunda relacionada con el reconocimiento rápido y automático de las palabras, en la región del surco occipito-temporal izquierdo (giro fusiforme), llamada el sistema visual de forma de la palabra la cual se cree juega un rol fundamental en informar a otras áreas temporales, parietales y frontales, acerca de la identificación de serie de letras con el propósito de llevar a cabo la recuperación al acceso semántico y fonológico (Dehaene et al., 2005). En relación con la parte anterior podemos encontrar la región del giro frontal inferior (área de Broca) relacionada con el análisis y articulación de la palabra.

2.5 Requisitos cognitivos relacionados con el éxito de la lectura

El sistema funcional de la lectura requiere la participación de distintas habilidades cognitivas para que se lleve a cabo adecuadamente. Dentro de estas habilidades cognitivas que se han asociado a la habilidad para leer podemos encontrar las siguientes (Roselli, Matute & Ardila, 2006):

- Capacidad para decodificar los estímulos visuales: se ha encontrado que algunas alteraciones visuales, dan como consecuencia problemas para el eficiente proceso lingüístico de conversión entre los grafemas y los fonemas. Una de ellas sería la dificultad para la coordinación de los ojos con el fin de llevar a cabo el seguimiento de las palabras dentro del texto, por lo que este movimiento coordinado de los ojos es fundamental para la lectura; por otra parte la coordinación de los sistemas parvocelular (color y forma) y magnocelular (movimiento), también cumplen con un papel importante dentro del correcto desempeño de la lectura, al coordinar la información visual que llega a sectores de la corteza relacionados con la lectura. Ambas capacidades (movimientos oculares coordinados y el sistema parvo y magnocelular) se unen para llevar a cabo un correcto desempeño de la lectura (Lorenzo, 2002).
- Desarrollo de habilidades lingüísticas:
- Fonológicas (conciencia fonológica), la cual es la más aceptada fuente de alteraciones en la lectura.
- Desarrollo del vocabulario: el vocabulario se refiere al conjunto de palabras que tenemos dentro de nuestro repertorio lingüístico (lexicón) fundamental para la construcción y comprensión de las distintas expresiones dentro del idioma que se domine. Se ha demostrado que la amplitud del vocabulario de un sujeto, es un factor importante que contribuye a la fluidez en la lectura (Ellis & Beaton, 1993; citado en Lorenzo, 2001b).
- La velocidad en la denominación: aunque no existe consenso entre la capacidad de denominación rápida y la aptitud lectora, se ha planteado la hipótesis de que pudiera existir relación entre el procesamiento fonológico y la denominación. (Roselli et al. 2010).
- Capacidad de la memoria de trabajo: la cual se relaciona con el almacenamiento temporal de la información necesaria para realizar una amplia variedad de tareas cognoscitivas, incluidas la comprensión, el aprendizaje y el razonamiento (Téllez, 2002). La memoria de trabajo sirve a dos procesos distintos en la lectura: la decodificación y la comprensión. (Lorenzo, 2001b).

- Habilidad para mantener la atención y concentración. Dichas habilidades son fundamentales para la recepción y el control de la información que llega para ser procesada.

2.6 Desarrollo de habilidades numéricas y del cálculo

Los números son una parte integral de nuestra vida diaria; la representación simbólica de los números, ya sea usando números arábicos o el nombre de los números es un logro netamente humano el cual nos ha permitido elaborar desarrollo científico y ha dado forma a una cultura tecnológicamente avanzada, además de ser un logro cultural más reciente en comparación a la lectura (Dehaene & Cohen; 2007; Nieder & Dehaene, 2009).

Las competencias matemáticas abarcan una serie de aprendizajes que permiten realizar acciones basadas en números y su aplicación a la vida diaria; dichos aprendizajes abarcan, por ejemplo, la lectura y escritura de números, los procedimientos y uso de operaciones aritméticas, conteo, la comparación, comprensión de nociones de tiempo y espacio, etc. De acuerdo con Butterworth (2005) la habilidad principal para poder comprender y manejar los conceptos matemáticos iniciales es la numerosidad, el cual es una habilidad cercana a lo que en lógica o teoría de conjuntos se le denomina cardinalidad. Dicha numerosidad permite al niño reconocer si el conjunto tiene la misma cantidad de elementos en comparación de otros conjuntos, si estos pertenecen o no al conjunto que se está estudiando, etc. Dicha numerosidad aparece tempranamente en el desarrollo, sin necesidad de utilizar estrategias aprendidas anteriormente o capacidades lingüísticas específicas, es decir parece ser innata. En esta misma línea de pensamiento, existe un concepto el cual engloba las capacidades matemáticas iniciales que el ser humano posee antes incluso de tener un contacto social encaminado a desarrollar un pensamiento matemático: el sentido numérico. Dicho concepto puede definirse como “la capacidad de discriminar y enumerar pequeñas cantidades, la sensibilidad a pequeños incrementos o decrementos de las cantidades continuas y la capacidad de establecer relaciones ordinales muy específicas, seguramente referidas a colecciones menores que cinco” (Geary, 1995)” (Pérez-Echeverría y Scheuer,2005). Dicha capacidad está también muy relacionada al concepto de numerosidad, apareciendo de manera muy temprana en la vida del niño (Dehaene, 1992). En contraparte a estas ideas del “innatismo” de las

bases del cálculo, Piaget (1981, pp.172-187) menciona que el desarrollo matemático es un subproducto del desarrollo lógico e intelectual, siguiendo las etapas del desarrollo de la inteligencia que él estableció dentro del desarrollo del niño, siendo la interacción con el mundo objetal del niño lo que provoca cambios en su desempeño intelectual y por ende matemático. Pérez-Echeverría y Scheuer (2005) expresan que en el desarrollo de las habilidades matemáticas al inicio se ha constatado un sustento biológico, una herencia filogenética, que permite realizar cierto tipo de procesos numéricos insipientes, para posteriormente a través de la interacción cultural, el niño es capaz de realizar operaciones mentales complejas relacionadas con el uso de las matemáticas.

Tabla 1. *Hitos en el desarrollo de la competencia aritmética.*

Edad	Hito
0 meses	Capacidad para discriminar pequeñas numerosidades
4 meses	Capacidad para sumar o restar una sola unidad.
11 meses	Identificar el incremento-decremento de la numerosidad en un conjunto.
2 años	Adquisición de una secuencia de palabras para el conteo (números).
	Utilización de la correspondencia uno a uno en una tarea de compartir.
2 años/6 meses	Reconocimiento de que multiplicidad de significados para una palabra número
3 años	Contar un conjunto reducido de objetos.
3 años/6 meses	Capacidad de agregar o sustraer utilizando números u objetos.
4 años	Utilización de dedos con el fin de ayudar con el conteo.
5 años	Capacidad de agregar pequeñas cantidades sin ser capaz de sumar.
5 años/seis meses	Comprender la conmutatividad en el conteo y la suma.
6 años	Utilizar la conservación de números.
6 años/6 meses	Comprender la complementariedad de la suma y la resta.
	Contar hasta el número 80.
7 años	Evocar algunos hechos aritméticos

Nota: se muestran los logros cognitivos más importantes del desarrollo matemático en niños de 0 a 7 años (adaptado de Butterworth, 2005)

Este desarrollo está íntimamente relacionado con el uso de herramientas lingüísticas trasmitidas por medio de la cultura. En relación con este desarrollo matemático, cultural, de acuerdo con Butterworth (2005) se encuentra el otro eslabón fundamental en el sentido numérico, el conteo.

Dicha capacidad de contar los elementos constituyentes de un conjunto permite unir el rubro biológico inicial de la numerosidad con el rubro lingüístico, además de permitir la comprensión de ordinalidad y el manejo de magnitudes más grandes en comparación con etapas iniciales. Dicho proceso se da aproximadamente de los dos a los cuatro años de edad. Posteriormente la etapa de la aritmética en el desarrollo matemático, la cual inicia con las primeras aproximaciones a las adiciones y sustracciones de números a los 6 años, para después adquirir los “hechos matemáticos” los cuales son la automatización de los conocimientos matemáticos y por último procesos de alta jerarquía cognitiva y el uso adecuado de las operaciones matemáticas en la resolución de problemas. En la tabla 1 se muestran y amplían cada una de las etapas antes mencionadas hasta aquí.

2.7 Modelos cognitivos del cálculo

A pesar de la gran importancia de las aptitudes matemáticas, han sido sometidas por el dominio del código escrito, por ello el estudio del desarrollo como de las perturbaciones de las facultades matemáticas ha quedado relegado a planos secundarios (Jacubovich, 2006).

Existen actualmente algunos modelos cognitivos que intentan explicar el desempeño de las diferentes habilidades inmersas en el procesamiento matemático (Alonso y Fuentes, 2001), entre estos modelos podemos encontrar el de McCloskey, el modelo Cipolotti, el de Cuetos y Miera y el modelo funcional y anatómico del procesamiento numérico, llamado modelo de triple código.

Este último, desarrollado por Cohen y Dehaene (Chochon et. al. 1999; Dehaene & Cohen, 1995, Dehaene, 2001), es el que más fundamentación y utilización tiene dentro del estudio del desarrollo de las habilidades matemáticas, de las alteraciones en su desarrollo, en presencia de lesiones cerebrales, (Serra-Grabulosa, et. al. 2010), además de presentar investigaciones utilizando resonancia magnética funcional (Chochon et ál., 1999; Molko et ál., 2003).

2.7.1 El modelo de triple código

El modelo de triple código del procesamiento del número (figura 5) menciona que, en dependencia de la tarea realizada, existen tres sistemas de representación numérica distintos, es decir la información puede ser manipulada mentalmente en tres formatos (Dehaene, 1992. (Chochon et al., 1999) (Dehaene et. al. 2003, figura 6):

De acuerdo con el modelo de triple código, existe una función rudimentaria del procesamiento numérico que está presente antes de que el niño desarrolle su lenguaje o de recibir algún tipo de enseñanza, sugiriendo que este desarrollo numérico posee una trayectoria basada en mecanismos con una historia evolutiva anterior (Dehaene et. al. 2003).

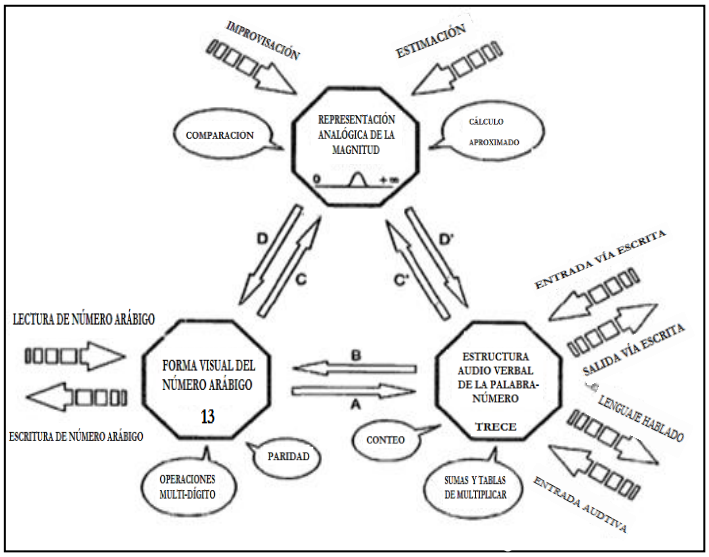


Figura 5: representación esquemática del Modelo de Triple Codigo (Dehaene, 1992): los octágonos nos muestran las representaciones cardinales de este modelo. Las flechas grandes son las vías de entrada y salida hacia las representaciones principales. Las flechas pequeñas nos indican los procesos internos de traducción y los globos son las operaciones específicas para cada representación.

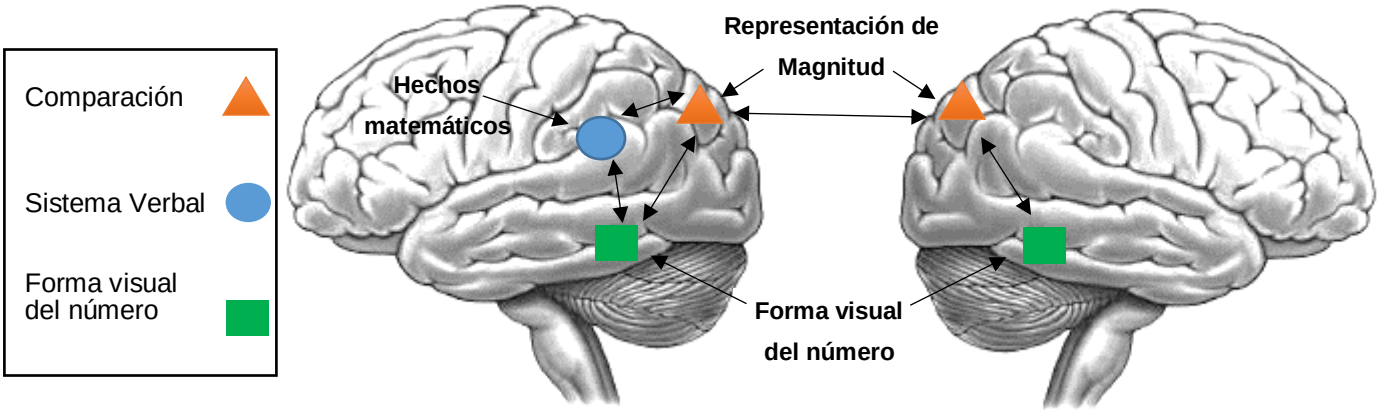


Figura 6. Esquema del modelo de triple código y su representación cerebral (modificado de Chochon et. al. 1999).

El modelo de triple código del procesamiento del número (figura 5) menciona que en dependencia de la tarea realizada, existen tres sistemas de representación numérica distintos, es decir la información puede ser manipulada mentalmente en tres formatos (Dehaene, 1992. (Chochon et al., 1999) (Dehaene et. al. 2003, figura 6):

Sistema de magnitud: es una representación semántica de las relaciones de tamaño y la distancia entre los números, que no tiene que ver con el sistema lingüístico, es decir, es específico para la representación numérica. Esta representación analógica de las cantidades, comprende a los números como una distribución sobre una línea mental numérica (cardinalidad).

Este sistema se encuentra localizado en el segmento del surco intraparietal bilateral en su parte horizontal y el área parietal bilateral postero-superior, dicha región abarca el segmento posterior del surco intraparietal hasta el precuneus (Dehaene et ál. 2003). En relación con el surco intraparietal está relacionado con actividades en las cuales se requiere de la representación semántica de la cantidad del número: aritmética mental, comparación de números, etc. Estudios con resonancia magnética funcional han encontrado una activación importante cuando se realizan tareas que tienen que ver con una representación interna de cantidades y la relación existente entre ellas (Burbaud, et. al. 1999; Simon et ál. 2002; Eger et al. 2003). Es importante acotar que sólo los números

hacen que se active estas áreas, es decir son específicas para la noción de número (Dehaene et ál. 2003). Sin embargo existe un diferencia en la activación entre surco intraparietal derecho e izquierdo de acuerdo con el tipo de tarea numérica que se esté realizando, a saber: el surco intraparietal izquierdo se ve activado sin importar el formato numérico con el que se esté trabajando, en cambio el lado derecho responde solamente al presentársele números arábigos (Ansari, 2007).

El área parietal bilateral postero-superior, se cree cumple con funciones de atención visuo-espacial, conteo, comparación de dos números, substracción de dos dígitos, aproximación. Esta área no es específica para el dominio numérico.

Por otra parte, Andres et al. (2011) utilizaron RMF para probar el trabajo de distintas áreas que se suponen están relacionadas con la resolución de operaciones aritméticas (resta y multiplicación), observándose inconsistencias en relación con lo que otros autores proponen como el fundamento de la realización de estas funciones, señalando que a pesar de que se asume que la resta y la multiplicación son operaciones que utilizan diferente tipo de bases neurobiológicas, se encontró que ambas comparten una misma área de activación el surco intraparietal bilateral en su porción horizontal. Mencionando que tal vez estas áreas cumplan con una función de guía para la búsqueda en memoria iidel mejor resultado posible, en relación con la magnitud de los números.

Sistema verbal: dentro de este sistema los números son representados fonológica, léxica y sintácticamente, es decir como cualquier palabra. Los problemas en la recuperación verbal como consecuencia de lesiones en áreas perisilvianas izquierdas, incluyendo el giro angular izquierdo, el cual se muestra activado en estudios de resonancia magnética funcional durante el procesamiento de números (Simon, O., Manguin, J., Cohen, L., Bihan, D. y Dehaene, S., 2002) además del trabajo de ganglio basal en su porción izquierda como del tálamo. Estas áreas muestran más activación en tareas que requieren un procesamiento verbal y que por lo tanto pertenece al sistema verbal que a su vez contribuye al procesamiento numérico sólo en operaciones aritméticas que requieren de grandes demandas sobre la codificación verbal de los números. Es de suma importancia acotar que esta área además de estar relacionada con

el cálculo, también lo está con la lectura o con tareas de memoria a corto plazo (Fiez & Pettersen, 1998).

Sistema visual de la forma del número: implica la representación de la forma visual arábiga, que involucra procesos de identificación visual. En el código visual arábigo, los números son decodificados como cadenas de dígitos en un almacén visuo-espacial interno. Esta representación implica las vías occipito- temporales ventromediales de manera bilateral, las cuales permiten la identificación de números arábigos. Aunque la misma zona también está implicada en la categorización de objetos o palabras escritas, es sólo para los dígitos que su activación es más bilateral.

La lesión de estas zonas daría como consecuencia una alteración para la comprensión de los números en su forma visual, es decir, se presentaría una alteración para la correcta traducción de la forma visual del número arábigo a su forma verbal en caso de lesión en el hemisferio izquierdo, pero con la posibilidad de realizar operaciones tales como comparación y algunas operaciones aritméticas, con excepción de la multiplicación (Cohen et al, 2000).

Dehaene (2001) menciona que, aunque este modelo parece ser muy simple, logra explicar una variedad de cuadros neuropsicológicos y conductuales que se presentan en los distintos tipos de lesión cerebral que tiene que ver con el procesamiento numérico.

Por su parte, Arsalidou & Taylor (2011) a través de la Estimación de la Activación Probabilística (Activation Likelihood Estimation, ALE) de muchos de los estudios de RMF realizados hasta el año de 2009, han propuesto cambios en el modelo de Triple código agregando o modificando la localización de ciertos procesos específicos que se realizan ante el cálculo (figura 7).

Esta actualización del modelo del triple código nos muestra la prevalencia de activaciones ante operaciones de manejo numérico o de cálculo. Las áreas en el modelo original son la corteza parietal inferior (1), la corteza occípito-temporal (2), el bucle articulatorio (3), el sistema verbal (4), ganglios basales en su porción izquierda (5) y porción izquierda del álamo relacionados con hechos aritméticos y (6) corteza prefrontal, que juega un papel fundamental en la elección de la estrategia y planeación para la solución de los problemas.

De acuerdo con el análisis ALE se podrían agregar las áreas que están de color naranja, las cuales son las siguientes: lóbulo frontal porción superior izquierda implicada en la creación del objetivo o sub-objetivos dentro de las tareas (a), porción media bilateral que guarda relación con el manejo o mantenimiento de la información de procedimientos múltiples o de operaciones de más de un dígito(b), en su porción inferior: tiene que ver con el manejo de un número limitado de eslabones para la resolución de alguna operación(c); el giro precentral por su parte está relacionado con el movimiento de los ojos (d). La ínsula que se encarga de realizar cambios o mantenimiento del procedimiento dentro del objetivo planteado (e). El giro cingulado izquierdo, el cual implementa los objetivos cognitivos (procesamiento de la memoria de trabajo) (f); el giro angular derecho el cual sustenta la recuperación visuo-espacial (g) y por último el cerebelo el cual ayuda a mantener los objetivos y la secuencia visual motora (h).

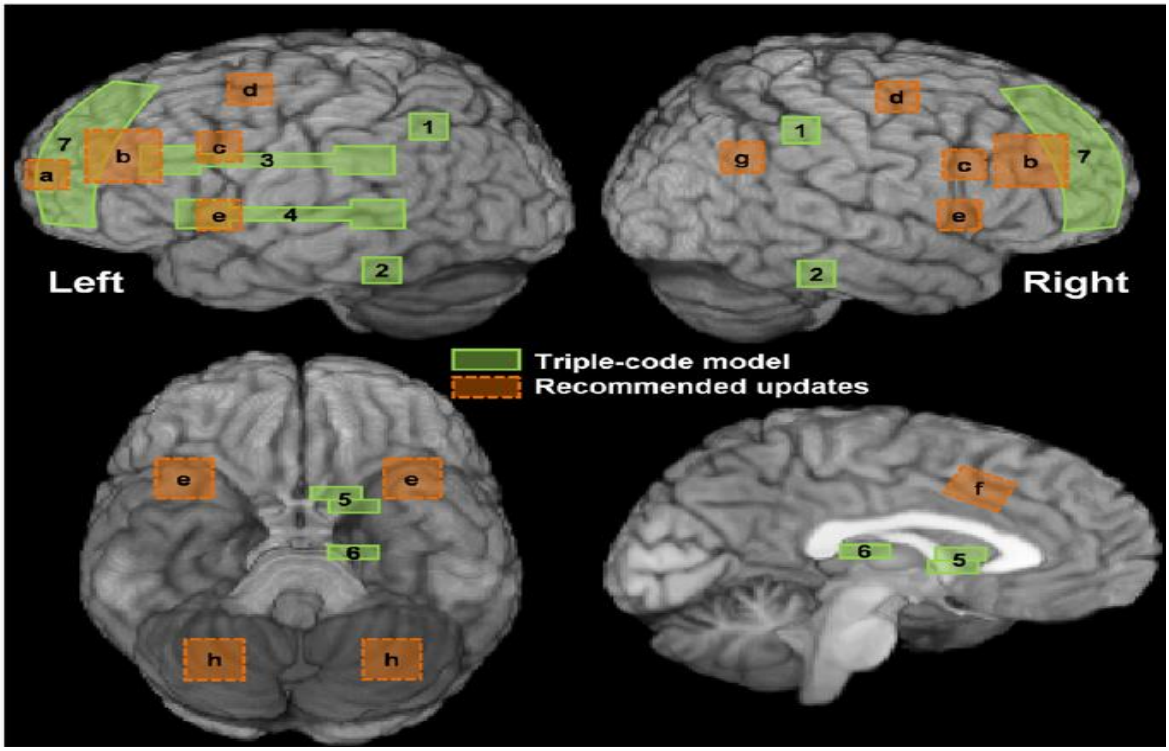


Figura 7: se muestran las posibles modificaciones del Modelo de Triple Código propuestas por Arsalidou & Taylor (2011): de color verde podemos observar las áreas originales. En color naranja están señaladas las áreas actualizadas.

2.8 Mecanismos de la escritura

Dentro de la neuropsicología del adulto y a pesar de su alta prevalencia, las alteraciones de la escritura en comparación a otras alteraciones del lenguaje, se les ha prestado muy poca atención (García, Madrazo & Viñals, 2002). Se ha relacionado comúnmente a las alteraciones de la escritura con la afasia, razón por la cual se ha pensado que la escritura y ortografía dependen del habla en un modo crucial (Parkin, 1999).

Para autores como Matute y colaboradores (2000) en los problemas en la escritura subyace un problema en el lenguaje, en donde el hemisferio izquierdo cumple un papel fundamental. En ese sentido y en el contexto de los modelos cognitivos del lenguaje el proceso de escritura puede ser dividido en dos componentes central y periférico: el primero hace referencia al aspecto lingüístico que es el que se encarga de la recuperación de palabras apropiadas, además del abastecimiento de información para una escritura correcta (ortografía). El componente periférico cumple con la función de llevar la representación ortográfica hacia la escritura por medio de una serie de procedimientos que guían el control motor de la mano (Beeson et al. 2003).

La escritura presupone algunos prerrequisitos necesarios para llevar a cabo esta función: un conocimiento de los códigos del lenguaje (fonemas, palabras) una habilidad para convertir los fonemas en grafemas, un sistema grafémico (el alfabeto), habilidad para la realización de movimientos finos, además de un manejo del espacio que permita distribuir, juntar y separar las letras. Dentro de esta concepción, para Matute (1997) existen 7 subsistemas los cuales permitirán al niño que está aprendiendo a escribir la eficacia en los siguientes actos: el trazo gráfico, la composición gráfica de la palabra (incluye ortografía), separación entre palabras, uso de acentos ortográficos, puntuación, gramática y coherencia de los textos.

De acuerdo con la neuropsicología cognitiva existen al menos dos rutas diferenciadas para el proceso de la escritura (Viñals, Vega & Alvarez, 2003), la primera la llamada ruta léxica, que es la representación de palabras familiares dentro del almacén lexico-ortográfico y la segunda ruta la cual se denomina ruta sublexica o fonológica, en donde se traduce la representación de los sonidos del lenguaje propios de cada lengua a las unidades grafémicas. La alteración de estas dos rutas trae consigo problemas en el proceso de la escritura, emulando lo observado en la lectura: disgrafía fonológica y

disgrafía superficial. La primera de ellas se caracteriza por la dificultad para la escritura de pseudopalabras y palabras poco comunes. El paciente con disgrafía fonológica dispondría únicamente de la vía léxica como fuente para la lecto-escritura. Su alteración estaría dada por lesiones de la porción anterior del giro supramarginal (lóbulo parietal). Por otro lado, en la disgrafía superficial nos encontramos con una alteración del acceso al léxico, con lo cual la persona no tendría acceso a la representación de las palabras en el léxico, utilizando estrategias de índole fonético para la escritura de las palabras. Su deficiencia está dada por lesiones temporo-parietales (giro angular) del hemisferio izquierdo (en caso de dominancia izquierda).

En relación con estudios que vinculen la escritura con el estudio de resonancia magnética funcional, Nakamura et. al. (2000) encontraron una importante activación de estructuras parietales izquierdas (porción superior de lóbulo parietal) que se cree posee una función muy importante en la escritura. Menon & Desmond (2001) estudiaron la activación del lóbulo parietal ante tareas de escritura al dictado, encontrando activaciones importantes en áreas de lóbulo parietal superior y de la corteza parietal inferior circundante a la región parietal superior, ambas del hemisferio izquierdo. Además, se encontraron activaciones en la corteza premotora, sensoriomotora y el área motora suplementaria.

Por su parte Katanoda, Yoshikawa & Sugishita (2001) encontraron también activación del área parietal superior izquierda, el giro frontal superior izquierdo y el cerebelo en su parte derecha ante tareas de escritura comparándolas con tareas de denominación y movimiento de dedos.

Beeson et ál. (2003) por medio de la división entre aspectos lingüísticos y motores de la escritura encontraron en el primer rubro activaciones en la corteza temporal izquierda en su porción inferoposterior, que coincide en cierta forma con el área visual de la palabra (área 37 de Brodmann).

Por otra parte, en el componente motor de la escritura hallaron mayor activación en el hemisferio izquierdo en una red que implica el surco intraparietal, lóbulo parietal en su porción superior, corteza motora dorsolateral y medial, además de la corteza sensoriomotora de la mano que ejecuta el acto motor. Sugihara et al. (2006) hallaron que tres áreas juegan un papel fundamental en el proceso central de la escritura: el extremo posterior de la circunvolución frontal superior izquierda, la parte anterior del lóbulo parietal

superior y la parte inferior de la rama anterior de la circunvolución supramarginal izquierda.

2.9 Trastornos del aprendizaje según el DSM IV-TR

De acuerdo con el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales, cuarta versión revisada (DSM-IV-TR, 2000), se diagnostican trastornos específicos del aprendizaje cuando el rendimiento del individuo en lectura, cálculo o expresión escrita es sustancialmente inferior al esperado para la edad, escolarización y nivel de inteligencia, según indican pruebas normalizadas administradas individualmente. Sustancialmente por debajo es definido como una discrepancia de más de 2 desviaciones estándar entre los datos obtenidos en la ejecución de las pruebas y el coeficiente intelectual.

2.9.1 Características de los Trastornos específicos y no específicos en el aprendizaje

Se diagnostica trastorno específico de la lectura cuando existen las siguientes características:

- Un rendimiento en lectura (esto es, precisión, velocidad o comprensión de la lectura evaluadas mediante pruebas normalizadas administradas individualmente) que se sitúa sustancialmente por debajo de lo esperado en función de la edad cronológica, del coeficiente intelectual y de la escolaridad.
- Cuando esta alteración interfiere significativamente el rendimiento académico o las actividades de la vida diaria que requieren de la habilidad para la lectura.
- Si existiera un déficit sensorial, las dificultades en la lectura exceden las dificultades usualmente asociadas a éste.

Dentro de este trastorno, la lectura es caracterizada por distorsiones, sustituciones u omisiones; tanto la lectura oral como en voz silente son caracterizadas por lentitud y errores en la comprensión.

Aunque existe de manera general una mayor prevalencia de niños diagnosticados con un trastorno en la lectura, a través de un diagnóstico adecuado se observa la misma prevalencia entre niños y niñas. Los trastornos en la escritura y en matemáticas son

comúnmente asociados con problemas en la lectura, siendo difícil encontrar estos en ausencia del trastorno en la lectura.

Por otro lado, dentro del trastorno específico del cálculo podemos encontrar las siguientes características:

- Capacidad aritmética (medida mediante pruebas normalizadas de cálculo o razonamiento matemático administradas individualmente) que se sitúa sustancialmente por debajo de lo esperado en función de la edad cronológica, el coeficiente intelectual y la escolaridad.
- Esta alteración interfiere significativamente el rendimiento académico o las actividades de la vida diaria que requieren habilidades para las matemáticas.
- Si existiera un déficit sensorial, las dificultades en la aptitud matemática exceden las dificultades asociadas a este.

Diferentes habilidades aparecen con un desempeño inadecuado dentro del trastorno específico del cálculo como lo son: lingüísticas, perceptuales, de la atención y habilidades matemáticas. Se estima que el 1% de niños en edad escolar presentan este trastorno, siendo frecuente encontrar este con otro de escritura o lectura.

Para realizar el diagnóstico para el trastorno específico de la escritura se deben cumplir los siguientes parámetros:

- Las habilidades para escribir, evaluadas a través de pruebas normalizadas administradas individualmente (o evaluaciones funcionales de las habilidades para escribir), se encuentran sustancialmente por debajo de lo esperado dadas la edad cronológica de la persona, su coeficiente intelectual y la escolaridad propia de su edad.
- Esta alteración interfiere significativamente el rendimiento académico o las actividades de la vida diaria que requieren de la realización de textos escritos.
- Si existiera un déficit sensorial, las dificultades en la escritura exceden las dificultades asociadas a éste.

Dentro del trastorno de la escritura existen dificultades en la habilidad para realizar textos escritos, siendo estos: errores gramaticales o de puntuación dentro de las oraciones,

pobre organización dentro del párrafo, múltiples errores ortográficos y pobre habilidad en aspectos grafomotores. Es relativamente poco conocido en comparación de los anteriores trastornos en el aprendizaje y es comúnmente relacionado con un trastorno específico de la lectura o del cálculo.

Ahora bien, el trastorno no específico del aprendizaje es aquel que no cumple los criterios de cualquier trastorno del aprendizaje específico. En esta categoría puede referirse a deficiencias observadas en las tres áreas (lectura, cálculo o expresión escrita) que interfieran significativamente el rendimiento académico aun cuando el rendimiento en las pruebas que evalúan cada una de estas habilidades individuales no se sitúe sustancialmente por debajo del esperado dado la edad cronológica de la persona, su coeficiente de inteligencia evaluada y la enseñanza propia de su edad (DSM-IV-TR, 2000).

Cabe resaltar que la definición menciona que, en un trastorno no especificado, las tres áreas, aunque no presentan puntajes demasiado bajos por separado, si interfieren en su rendimiento académico en general, haciendo pensar que existe un tipo de defecto común que pudiera explicar el mal desempeño general que presenta el niño.

2.10 Trastornos en el aprendizaje según el DSM-V

Hasta hace 5 años, la clasificación de los trastornos del aprendizaje se basaba, fundamentalmente, en los criterios del Manual Diagnóstico y Estadístico de los Desórdenes Mentales (DSM-IV-TR, por sus siglas en inglés, cuarta edición revisada, 2000), el cual establece un grupo de Trastornos Específicos del Aprendizaje y el Trastorno Inespecífico del Aprendizaje, en el cual se observan dificultades en más de una habilidad académica que no puede atribuirse a retraso mental, problema de agudeza visual o a una escolaridad inadecuada. Sin embargo, en la quinta edición de dicho manual (DSM-V, 2013) desaparece esta última clasificación y se establece que un Trastorno Específico en el Aprendizaje es un trastorno en el neurodesarrollo que tiene un origen biológico, el cual es la base para las alteraciones a nivel cognitivo, con sus respectivas manifestaciones conductuales.

Dicho trastorno debe cumplir con la presencia de cuatro criterios diagnósticos:

A. Presencia de dificultades en el aprendizaje y en el uso de las habilidades académicas con una duración de al menos 6 meses, a pesar de la intervención enfocada a resolver estas dificultades. Dentro de estas dificultades podemos encontrar las siguientes características:
    1. Dificultad en la lectura de palabras, que puede caracterizarse por fallas en la precisión, lentitud o dificultad para la pronunciación de las mismas.
    2. Dificultad en la comprensión de lo que se lee.
    3. Dificultades con la ortografía.
    4. Dificultades en la expresión escrita, ya sea en la estructura gramatical, en la puntuación, problemas para organización del texto o poca claridad en la expresión de ideas.
    5. Problemas con el dominio del sentido numérico, los hechos numéricos o el cálculo.
    6. Dificultades en el razonamiento matemático encaminado a la resolución de problemas.
B. Las habilidades académicas están sustancial o cuantitativamente por debajo de lo esperado en relación con la edad cronológica de la persona afectada, lo cual ocasiona una interferencia significativa en su desempeño académico, laboral o con actividades de su vida diaria.
C. Dichas alteraciones en el aprendizaje pueden iniciar dentro de la edad escolar, pero pueden no manifestarse plenamente hasta que las demandas que se relacionan con dichas dificultades excedan las capacidades limitadas de la persona.
D. Estas dificultades en el aprendizaje no pueden ser mejor explicadas por medio de deficiencias intelectuales (coeficiente intelectual por arriba de 70 ±5), visuales o auditivas, otros desórdenes mentales o neurológicos, situación social adversa, falta de dominio del idioma en el cual se da el aprendizaje escolar o inadecuada instrucción escolar.

Partiendo de lo anterior debemos describir cuales son los dominios y las habilidades afectadas en cada caso, por lo cual podemos realizar la división en tres códigos diagnósticos que especifiquen las áreas académicas afectadas: trastorno específico del

aprendizaje con alteración en la lectura (precisión, comprensión o velocidad), trastorno específico del aprendizaje con alteración en la expresión escrita (ortografía, precisión en la composición gramatical, precisión en la puntuación o bien problemas en la organización o claridad en la expresión escrita) y por último trastorno específico del aprendizaje con alteración en las matemáticas (problemas con el manejo del sentido numérico, la memorización de hechos matemáticos, precisión y velocidad en el cálculo matemático o precisión en el razonamiento matemático).

Es importante mencionar que dentro de estos apartados tanto en el trastorno del aprendizaje con predominio en la lectura o bien en el dominio de habilidades matemáticas, el DSM-V toma como sinónimos dichos códigos diagnósticos y los términos clásicos usados para designar a dichas alteraciones: dislexia y discalculia

Un punto fundamental en dicha caracterización de las alteraciones en el aprendizaje es el hecho de que tienen una base neurobiológica la cual es la responsable de las deficiencias cognitivas y conductuales observadas, por lo que es fundamental el estudio de dichas bases biológicas, su comprensión y el manejo terapéutico adecuado. De lo anterior se desprende el gran aporte de técnicas de imagen cerebral que permitan el estudio de la base material que da sustento a las funciones psicológicas superiores, en este caso de naturaleza académica.

2.11 Trastorno en el aprendizaje de la lectura

Dentro de los trastornos específicos del aprendizaje, el más conocido y estudiado es el que tiene que ver con lectura (Galaburda & Cestnick, 2003). Puente y colaboradores (2009) mencionan que aproximadamente uno de cada diez niños muestra serias dificultades de adquisición con independencia del país y de la lengua que se trate. Aunque a la fecha se han realizado investigaciones con el fin de detectar las anormalidades cerebrales de la dislexia, aún no se comprende plenamente las bases neurobiológicas que la sustenta (M van Ermingen-Marbach, Pape-Neumann, Grande, Grabowska, & Heim, 2013; Black, Myers & Hoeft 2015). Galaburda & Cestnick (2003) indican que el problema del niño disléxico inicia desde antes del nacimiento, ya que existen evidencias de alteraciones en estructuras corticales y subcorticales en la mitad del periodo gestacional, tiempo que coincide con la migración celular en la corteza

cerebral, que se relacionan con la capacidad de discriminar y manejar de manera pertinente los sonidos del lenguaje (fonología). A su vez Galaburda, LoTurco, Ramus, Fitch, & Rosen (2006) mencionan que la dislexia puede tener una base genética que pudiera dar una explicación de las alteraciones estructurales y funcionales que subyacen a este trastorno.

También se cree que las personas que sufren de algún problema para el acceso a la lectura podrían presentar alteraciones visuales, las cuales están basadas en diferentes sistemas: el sistema magnocelular que se encarga de la transición en los movimientos sacádicos oculares y el sistema parvocelular el cual cumple un papel en el mantenimiento o continuidad de los estímulos visuales durante un tiempo mucho más prolongado. Estos dos sistemas trabajan de manera coordinada con el fin de realizar un movimiento ocular adecuado dentro de las distintas letras que estamos leyendo. La alteración encontrada en personas afectadas por alteraciones en la lectura estaría relacionada con la vía magnocelular trayendo consigo problemas en el control binocular y problemas en la atención visuoespacial (Galaburda y Cestnick, 2003)

Por otra parte, se ha encontrado también alteraciones cerebelosas estructurales y funcionales, la cuales se refieren a problemas en la automaticidad en el acto motor de la lectura (Puente, Jiménez y Ardila, 2009). Se sabe que el cerebelo cumple con tareas de automatización de movimientos, por lo que la articulación y la representación fonológica se verían afectadas. También se postula que el cerebelo cumple un papel de automatización dentro de las diferentes actividades llevada a cabo por el sujeto, su afectación llevaría a una falta de rapidez y automatismo en la conversión de las letras (grafemas) a sus sonidos correspondientes (fonemas) (Benitez, 2010).

Aunque, como se ha visto, existen teorías acerca de la naturaleza de los trastornos de la lectura, la teoría del déficit fonológico es la que más fuerza, fundamentación y apoyo tiene actualmente(Georgiewa, Rzanny, Gaser, Gerhard, Vieweg, Freesmeyer, Mentzel, Kaiser, & Blanz, 2002; Shaywitz et al., 2002; Ramus, Rosen, Dakin, Day, Castellote, White & Frith, 2003; Saksida, Iannuzzi, Bogliotti, Chaix, Démonet, Bricout, Billard, Nguyen-Morel, Le Heuzey, Soares-Boucaud, Ziegler, Ramus, & George, 2015). Se ha demostrado que los niños afectados por el trastorno en la lectura normalmente presentan defectos en el procesamiento fonológico del lenguaje (Ardila, Roselli y Matute, 2005). Las habilidades

fonológicas permiten la discriminación y articulación de los sonidos del habla. Dicha conciencia fonológica permite la manipulación de los fonemas y, con ello, separarlos, contarlos, identificarlos o cambiar su orden dentro de una palabra. Los mismos autores mencionan que de manera general existen al menos dos defectos cognoscitivos diferentes (lingüístico y visuo-espacial) que con el tiempo pueden resultar en una incapacidad o retraso en la adquisición normal de las habilidades de la lectura. Shaywitz & Shaywitz (2005) mencionan que de acuerdo con estudios con diferentes tipos de técnicas de neuroimagen, se muestran fallas en las áreas posteriores del hemisferio izquierdo que guardan relación con la función de la lectura: una parieto-temporal (giro angular, giro supramarginal y porción posterior del giro temporal superior) y otra occipito-temporal (giros temporal y occipital medial); aunado a esto se activan sistemas cerebrales anteriores del hemisferio izquierdo y anteriores y posteriores del hemisferio derecho, que se supone compensan el déficit (Shaywitz & Shaywitz, 2008) (figura 8).

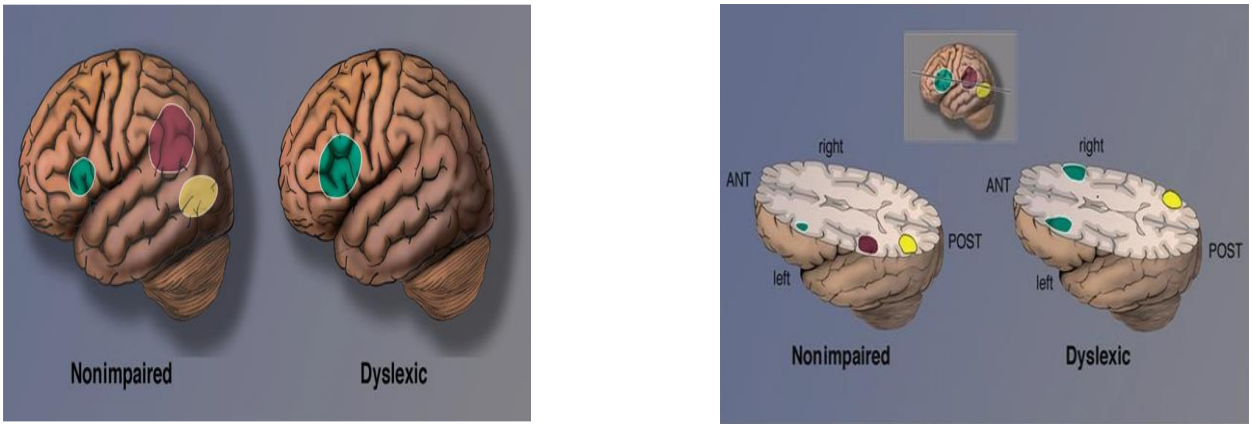


Figura 8: diferencias en la activación cerebral ante tareas de lectura (Shaywitz & Shaywitz, 2008).

Se menciona que esta actividad cerebral compensatoria en niños disléxicos, se refiere a la activación de estructuras auxiliares, como aquellas regiones críticas en la articulación de las palabras (área del giro frontal inferior izquierdo) que podrían ayudar al niño a desarrollar el conocimiento de la estructura del sonido de la palabra formando la palabra con sus labios, lengua y aparato vocal; en relación con el hemisferio derecho se relacionarían con el trabajo de otros procesos perceptuales que servirían para compensar

los problemas en las habilidades fonológicas que presentan los niños con problemas en la lectura (Shaywitz et al., 2002).

De acuerdo con Coltheart, Curtis, Atkins & Haller (1993), los lectores con adecuado desempeño en la lectura tienen dos mecanismos diferentes de pronunciación de palabras impresas: un procedimiento léxico (incluye el acceso de palabras completas) y un procedimiento subléxico (dentro del cual se encuentra el uso de los grafemas y su respectivo sonido para pronunciar las palabras impresas). Siguiendo esta misma línea, para Galaburda y Cestnick (2003) existen dos trastornos de la lectura primordiales, siguiendo en modelo de doble ruta ya revisado en este trabajo: la **dislexia fonológica** (**DF**) en el cual se presenta una dificultad para leer pseudopalabras, debido al déficit en el procesamiento fonológico y la **dislexia superficial** (**DS**), en el cual se presentan problemas con la lectura de palabras irregulares debido al déficit para acceder al almacén léxico-visual. De hecho, todos los sujetos disléxicos demuestran dificultades en la lectura de ambos tipos de palabras, pero habitualmente el desempeño en un tipo es muy inferior al del otro, siendo que en idiomas como el español con una correspondencia casi "transparente" entre grafema y fonema, es más frecuente hallar a niños con dislexia del desarrollo del tipo fonológico que de tipo visual.

Actualmente también, por medio de investigaciones basadas en genética, se han encontrado ciertos genes (cromosomas 1, 2, 3, 4, 6, 11, 15, 17,18 y X) relacionados con la trasmisión (heredabilidad) de alteraciones en la lectura, además de que se encontrado entre un 40 a 70 por ciento de probabilidad de presentar dificultades en la lectura por la presencia de un familiar cercano que presente alteraciones en la lectura (Soriano-Ferrer y Martínez, 2017). Para Roselli, Matute & Ardila (2010) existen ciertas fallas características en el bajo desempeño de la lectura, que determinan la falta de efectividad dentro de la misma: **errores de precisión** (el reconocimiento exacto de las palabras), **velocidad** (el número de elementos leídos en una unidad de tiempo, siendo el mayor indicador de la presencia de un trastorno en la lectura en hispanohablantes), **comprensión** (interacción entre velocidad, precisión y experiencia lectora) y **errores de fluidez** (cambio rápido en el foco de atención a lo largo del texto). Por su parte Wimmer (2010), concuerda con la idea de que el parámetro más importante para detectar a sujetos

con un trastorno en la lectura es la velocidad más que la precisión, en idiomas con una ortografía regular.

2.12 Trastorno en el aprendizaje de las matemáticas

La discalculia del desarrollo presenta una prevalencia del 5 al 8% (Geary, 2003). En el trastorno en el aprendizaje de las matemáticas se han observado dos dificultades específicas: por un lado, los problemas para recordar hechos matemáticos. Además puede existir la dificultad en la ejecución de procedimientos de cálculo con inmadurez en la resolución de problemas, además del déficit en el manejo de numerosidad el cual es el más relevante (Landerl, Bevan & Butterworth, 2004). La base cerebral de la numerosidad se ha relacionado con el surco intraparietal bilateral, observándose menor actividad cortical al realizar comparación de números en niños con discalculia al contrastarlos con la activación de niños con buen desempeño académico, además se ha encontrado reducción de la sustancia gris también en el surco intraparietal de ambos hemisferios (Butterworth, Varma y Laurillard, 2011).

De acuerdo con Castro, Estévez y Reigosa (2009) dentro de la literatura existen hipótesis que pueden explicar los mecanismos cognitivos de la discalculia. La primera hipótesis se refiere a que las alteraciones encontradas dentro del trastorno del cálculo se relacionan con procesos mentales que no son específicos sólo para las matemáticas si no también sirven para el lenguaje escrito u oral, entre otros. Entre estos procesos podemos encontrar la memoria de trabajo, funcionamiento motor, habilidades visoperceptuales, memoria semántica, razonamiento verbal o visuoespacial, entre otras). Por otro lado existen teorías que plantean que el problema del cálculo radica en la representación numérica y que dicha representación descansa en sustratos cerebrales específicos, siendo la hipótesis del déficit del módulo numérico (la base de la discalculia se refiere a fallas en la numerosidad) y la del déficit del sentido numérico (el déficit se encuentra en la relación que existe entre la numerosidad, biológicamente determinada y su posterior enlace con mecanismos lingüísticos, lo que no permite el manejo adecuado de cantidades grandes, mayor a 4) resaltan en esta aproximación. Por último, la teoría de la magnitud, que plantea que la dificultad específica en el procesamiento numérico se relaciona con el

procesamiento de las magnitudes, tanto discretas como continuas. A pesar de las hipótesis y teorías planteadas anteriormente se considera que la discalculia presenta mucha heterogeneidad en cuanto a su expresión clínica, por lo que es sumamente difícil mencionar un solo mecanismo que explique las dificultades presentadas en niños con dificultades en las matemáticas (Kaufmann, Mazzocco, Dowker, von Aster, Göbel, Grabner, Henik, Jordan, Karmiloff-Smith, Kucian, Rubinsten, Szucs, Shalev, & Nuerk, 2013).

2.13 Comorbilidad entre la dislexia y la discalculia

Se ha encontrado que los trastornos específicos en el aprendizaje, tanto de la lectura como del cálculo, presentan alta comorbilidad entre ellos del (30-70%) aunque su naturaleza no es aún bien entendida (Willcutt, Petrill, Wu, Boada, DeFries, Olson & Pennington, 2013).

Dentro de la literatura existen estudios que tratan la comorbilidad entre estas tres funciones por medio de pacientes adultos con daño cerebral adquirido. Es frecuente, en la práctica clínica, que los pacientes con alteración del lenguaje (afasia) presenten trastornos dentro de las tres esferas, sin embargo, también se pueden dar el proceso exclusivo en cada función (Roselli & Ardilla 1996).

Rourke (1993) menciona que, ante alteraciones en las tres áreas de competencia académica, existen mayores dificultades en pruebas que miden el desempeño de habilidades verbales en comparación de habilidades de ejecución en pruebas de capacidad intelectual, sin embargo, faltan más estudio que lo confirmen. Por el contrario, existen posturas que mencionan que en el caso de aparecer juntos se relaciona más a un fenómeno de adición entre los dos trastornos más que de compartir algún déficit en algún proceso cognitivo que pueda explicarlo (Landerl, Fussenegger, Moll & Willburger, 2009).

2.14 Las dificultades específicas del aprendizaje

Como se ha revisado hasta aquí, el DSM V ofrece una forma de clasificar a los distintos trastornos en el aprendizaje escolar que nos facilita el diagnóstico y comparación de niños con alteraciones en la adquisición de la lectura, escritura o en las matemáticas. Sin embargo es importante mencionar que no existe un consenso en la manera de diagnosticar de manera uniforme dichos trastornos, con presencia de otras clasificaciones o procedimientos diagnósticos (p.ej. la Clasificación Internacional de Enfermedades, CIE-10, en su apartado de Trastornos Mentales y del Comportamiento). Además los enfoques de clasificación categorial, como los mencionados anteriormente, han sido criticados debido a que tienden a arrojar datos resumidos de la condición que se quiere estudiar o diagnosticar (simplificación de una realidad muy compleja y multidimensional), sus categorías diagnósticas con frecuencia son inexactas, se superponen unas con otras, la información de las características funcionales de las personas afectadas es escasa o inexistente, no brinda apoyo para diseñar propuestas de intervención o de prevención (Florian y cols., 2006).

En este sentido se puede optar por una propuesta centrada en otros términos, en comparación de los que comúnmente las clasificaciones por categorías ofrecen, el concepto de **Dificultades en el Aprendizaje (DA)** el cual se refiere a un grupo de problemas agrupados bajo las denominaciones de: **Problemas Escolares (PE), Bajo Rendimiento Escolar (BRE), Dificultades Específicas en el Aprendizaje (DEA), Trastorno por Déficit de Atención con o sin Hiperactividad (TDAH) y Discapacidad Intelectual Límite (DIL)**; las cuales se manifiestan como dificultades en algunos casos muy significativas en los aprendizajes y adaptación escolares. Estas Dificultades en el Aprendizaje pueden darse a lo largo de la vida, aunque de aparición preferentemente antes de la adolescencia, en el curso de procesos educativos deliberados encaminados a la enseñanza y aprendizaje, formales e informales, escolares y no escolares, en los que interfieren o impiden el logro del aprendizaje que es el objetivo fundamental de dichos procesos Dentro de las DA aparecen diferentes subtipos diferenciados entre ellos por diferentes parámetros a saber: gravedad, afectación y cronicidad. La primera hace alusión a la gravedad de la dificultad que la persona afectada exhibe, es decir la

importancia del problema, más que a consideraciones estadísticas o de índole social, aunque es importante la aplicación de pruebas psicológicas o neuropsicológicas que valoren la eficacia en diferentes parámetros de interés, con instrumentos normados en la cultura en la cual estamos trabajando. La afectación indica el carácter predominante del problema en las diferentes áreas personales. Por último, la cronicidad se refiere al tiempo de duración del problema y el tipo de intervención que se requiere para solventar la dificultad. Dichos parámetros nos permiten dividir cada uno de las dificultades de aprendizaje dependiendo de la gravedad de la dificultad, especificidad de la afectación, además del tiempo de duración de la dificultad y el tipo de intervención. A partir de estos parámetros se construyen las 5 clasificaciones arriba expuestas.

Dentro del presente trabajo se da especial importancia al **DEA**, la cual es el subtipo III. En este subtipo se encuentran las dificultades para el aprendizaje de la lectura, de la escritura y de las matemáticas, las cuales se consideran de gravedad moderadamente alta, no son de aparición espontánea, requieren atenciones educativas especiales por un tiempo amplio; la afectación es también moderadamente alta. Dichas dificultades pueden ser tratadas a través de programas de intervención (preventiva o por medio de adaptaciones curriculares.

Dentro de las características que presentan las DEA, se encuentran los retardos en el desarrollo neuropsicológico (lingüísticos, no verbales, funciones ejecutivas, atención, percepción visual y auditiva, etc.). Los niños con DEA rinden por debajo de su capacidad a pesar de que no existe un problema de tipo intelectual. Las DEA no se detectan hasta el inicio de la educación primaria, considerándose como problemas de la edad escolar.

Dentro de las DEA en lo que se refiera a la **lectura** se han encontrado diferentes subtipos dependiendo de los errores fundamentales cometidos: de superficie (problemas de discriminación visuo espacial), fonológicos (erros de tipo lingüístico), mixto (ambos errores juntos) y por último de comprensión lectora. En las DEA de la escritura también se estipulan las divisiones debido a los errores observados en la escritura muy parecidos a los de la lectura: superficie, fonológica, mixta y la última denominada DEA de la composición narrativa (con dificultades en la planificación, traslación y revisión del material escrito).

En cuanto a las DEA de las matemáticas se puede encontrar la división por las dificultades en el aprendizaje del cálculo (dificultad en la adquisición de las nociones básicas y principios numéricos, dificultades en la numeración y el cálculo) y dificultades específicas en la solución de problemas matemáticos (dificultades en los procesos de traducción de las nociones del lenguaje matemático a un lenguaje comprensible para la resolución de un problema, dificultades en los procesos de integración de diferentes elementos importantes de la información para resolver el problema, dificultades en los procesos de planificación de la resolución del problema, dificultades en la realización de operaciones aritméticas y por último se mencionan las dificultades en los procesos de revisión y control del proceso de resolución del problema) (Romero y Cerván, 2006)

Si se observa con atención dicha tipología, esta brinda ventajas en la comprensión y tratamiento del cuadro neuropsicológico versus la clasificación categorial, ya que nos ofrece: criterios más relacionados con la gravedad de la dificultad en cuanto a lo incapacitante que puede llegar a ser para el niño no centrado tanto en un rubro estadístico, la especificidad de dicha dificultad, el tiempo de duración, la intervención adecuada, pronóstico y caracterización neuropsicológica de la dificultad pormenorizado que puede apoyar de manera importante no sólo en el diagnóstico como en el tratamiento. Por otro lado la importancia de reconocer las diferentes causas de dicha dificultad también es de suma importancia. En esta investigación se tomará como criterio diagnóstico el de Dificultad Específica en el Aprendizaje por considerar como una forma no restrictiva y más completa de trabajar con los niños que presentan dificultades en el aprendizaje escolar. Cabe mencionar que la muestra de niños con DEA no cumple con todos los criterios del DSM-V para ser considerado como un trastorno específico en el aprendizaje, sin embargo debido a la consideración de los maestros (dificultades importantes en el aprendizaje escolar), los resultados de las pruebas y el apoyo en el diagnóstico diferencial por parte de la evaluación Neuropsiquiátrica se conformó el grupo DEA.

2.15 Resonancia Magnética: Medición de la Estructura y Actividad Cerebral:

Principios de la resonancia magnética

La Resonancia Magnética es una técnica tomográfica que produce imágenes del interior de un objeto, así como de sus características químicas. Su fundamento físico se basa en

el fenómeno de la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) de la materia, descrito en 1946 por Félix Bloch en la Universidad de Standford y por Edward Purcell en Harvard. La formación de imágenes mediante el uso de la señal por RMN y un gradiente magnético, fue descrita originalmente por Paul Lauterburg en 1972, haciendo uso de los principios de codificación espacial de la información, originalmente conocida como Zeugmatografia (Lauterbur, 1982). Este desarrollo permitió utilizar la señal de RMN en tejidos biológicos y relacionar las diferencias de la señal con las características de los diferentes tejidos, lo cual asigna distintos contrastes a distintas concentraciones químicas. Al igual que otros instrumentos tomográficos digitales, un escáner de Resonancia Magnética (RM) genera una señal de salida, codificada en un arreglo multidimensional de datos, representando una distribución espacial de alguna cantidad física detectable. Así, la RM genera imágenes bidimensionales (cortes) de un objeto en cualquier orientación, las cuales pueden unirse para reproducir imágenes volumétricas tridimensionales. Este tipo de adquisición se repite a través del tiempo y repercute en la generación de imágenes en cuatro dimensiones, las cuales representan una distribución temporal-espacial. Un aspecto importante de la RM, es que la señal utilizada para la formación de una imagen, se irradia directamente de la materia que constituye el objeto. En este sentido, la señal de RM es una forma de “emisión” tomográfica, similar a las de PET y SPECT; sin embargo, a diferencia de estas dos, la RM no utiliza radiación ionizante y no es necesario inyectar alguna sustancia marcada con radiotrazadores dentro del objeto en estudio. Este hecho es sumamente importante, ya que la RM opera a través de radiación electromagnética no ionizante en el intervalo de la radiofrecuencia, por lo que constituye una técnica de bajo riesgo para la salud de los individuos (Skvarca y Aguirre, 2006).

La resonancia magnética (RM) es el fenómeno físico por el cual, ciertas partículas al experimentar un potente campo magnético pueden absorber de manera selectiva cierta energía de radio frecuencia; estas partículas son electrones, protones y núcleos atómicos con un número impar de protones y/o un número impar de neutrones. El hidrogeno es el elemento químico que cumple con las características enumeradas anteriormente, hallándose en el agua la cual es la sustancia fundamental en la composición del cuerpo. El protón de Hidrogeno se mantiene girando sobre su mismo eje sin que exista algún tipo de alteración sobre este movimiento. Este movimiento en el mismo sentido y dirección es

denominado spin. Los núcleos de hidrogeno en el cuerpo humano al ser sometidos a un gran campo magnético, pueden orientarse en dos formas distintas: en forma paralela o en dirección opuesta a él, con mayor tendencia a que los spins se encuentren de manera paralela, debido a que es un estado de mayor energía; estos mismos comenzarán a girar con la dirección que dicta ese campo magnético principal, este fenómeno se llama precesión. La frecuencia de precesión estará determinada por la magnitud de campo magnético que se absorbe en cada área de interés (frecuencia de Larmor).

Ahora bien, la señal de resonancia magnética es generada por un pulso de radiofrecuencia que se aplica de manera selectiva en cierta área en donde el hidrogeno presenta una frecuencia de precesión determinada por cierta variación del campo magnético principal llamada gradiente. Una vez realizada la estimulación de radiofrecuencia y con la consecuente absorción en los núcleos de hidrógeno, se presenta posteriormente un fenómeno denominado relajación que se podría entender como la pérdida de la energía de radiofrecuencia que se le aplicó al tejido dado. Esta pérdida de energía es la que detecta la antena receptora y por medio de la cual se va a construir la imagen. Dentro de la relajación se encuentra información importante a destacar: una de ellas es la que se refiere a la densidad de protones dentro del tejido que estamos estudiando y también a los dos mecanismos de relajación: longitudinal (T1) y transversal (T2).

El primero hace referencia a la pérdida de energía del núcleo del hidrógeno con el medio circundante (spin-medio), por lo que los spins regresan al estado inicial (63% de la magnetización inicial se ha recuperado), es decir pasan de un estado perpendicular debido al pulso de radiofrecuencia (plano diferente al eje Z o campo magnético principal) a otro donde los spins regresan al plano del campo magnético principal.

Por otra parte, la relajación transversal (spin-spin) utiliza la información que existe en el plano cartesiano x-y, siendo ésta la pérdida de la magnetización neta dentro del plano transversal debido a la pérdida de la coherencia en la fase de los spins (Huettel, Song y McCarthy, 2009). Esta relajación es el tiempo necesario para que el 37% de la magnetización en el plano transverso se pierda por el desfase de los spins. Dentro del mecanismo de relajación transversal existen dos fenómenos que interactúan para producirlo: T2 que se refiere al decaimiento de la señal del componente de magnetización

en el plano transverso ocasionado por la acumulación de la diferencia de fases debidas a la interacción de los spins circundantes y la otra T2* que se debe a la misma pérdida de señal, pero por inhomogeneidades en el campo magnético experimentado. El fenómeno T2* es el utilizado para llevar a cabo la resonancia magnética funcional.

2.16 La resonancia magnética funcional (RMf)

Dentro de la técnica de RM se encuentra, la Resonancia Magnética Funcional (RMF) la cual persigue el propósito de realizar una localización anatómica de un proceso funcional. Durante el proceso mental y su correspondiente actividad neuronal, existe un incremento local de flujo sanguíneo. Se sabe que las neuronas están rodeadas por capilares, en los que la sangre de las arterias y las venas se intercambia y en los que aquellas terminan en arteriolas y las venas en vénulas. La sangre oxigenada que se encuentra en las arterias tiene una coloración más rojiza que la de las venas, siendo estas el camino de retorno de la sangre una vez que se ha liberado el oxígeno en los capilares, con el fin de ser consumido por las células.

Por medio de estudios fisiológicos, se sabe que el aumento del flujo sanguíneo cerebral en la región cortical involucrada en la tarea específica es muy superior (10 veces mayor) al consumo de oxígeno extraído por las células nerviosas (Vendrell, Junque y Pujol, 1995). Con el aumento del flujo sanguíneo cerebral aumenta la hemoglobina ligada al oxígeno (diamagnética) en comparación a la desoxihemoglobina, con lo cual, se dará un empobrecimiento de esta última la cual posee cualidades paramagnéticas (es atraída al campo por un campo magnético), siendo capaz de alterar el parámetro T2 *.

En este mismo sentido en la técnica de la RMF existe una técnica denominada de dependencia de oxígeno en la sangre (blood oxigenation level dependent, BOLD), la cual utiliza como medio de contraste a la hemoglobina, la cual como ya se ha explicado anteriormente posee propiedades magnéticas en dependencia a su nivel de oxigenación. La respuesta BOLD puede entenderse como una medida indirecta de la actividad neuronal, ya que, al realizarse algún proceso cognitivo, motor, sensorial, etc., con su respectiva activación cerebral, existe también un ajuste neurovascular, variando la concentración de hemoglobina oxi y desoxigenada. La comparación de la señal T2* en

una misma región antes y durante la activación puede tomarse como un índice indirecto del grado de actividad neuronal en esta área, así como de neuroglia, en especial los astrocitos (Armony, Trejo-Martínez y Hernández, 2012). La actividad neuronal contingente a un estímulo ocurre en el orden de milisegundos. En tanto, a la respuesta BOLD le toma varios segundos evolucionar. De esta forma, aunque pueden adquirirse varias imágenes de resonancia magnética funcional (IRMF) en un segundo teórico, el suavizado temporal de la señal neuronal subyacente, efectuado por la respuesta BOLD, finalmente dicta la resolución temporal eficaz de IRMF.

Dentro del objetivo principal de la imagenología funcional por Resonancia Magnética se encuentra el “mapear” la actividad neuronal del cerebro y observar la relación anatomo-funcional ante cierto tipo de tareas. Debido a lo anterior al inicio debemos de contar con una hipótesis en la cual establezcamos cierto tipo de tarea en la cual esté inmerso aquel proceso que queremos observar, para después aplicar el paradigma de estimulación. Una vez que tenemos todos los datos tanto estructurales, funcionales y conductuales que se obtuvieron al realizar la tarea, se realiza un análisis estadístico y teórico para poder observar e interpretar dichos datos y finalmente crear conclusiones específicas del fenómeno de interés.

3. Método

3.1 Diseño de investigación

El tipo de investigación que se planteó fue cuantitativa, trasversal y correlacional

3.2 Muestra y procedimientos

Se evaluaron 92 niños de escuelas públicas de la zona urbana de la ciudad de Santiago de Querétaro, México, referidos por los profesores a cargo de los mismos y que presentaban problemas académicos o mostraban un buen desempeño escolar. Los niños seleccionados tenían edades comprendidas entre 8 y 10 años, eran diestros, estaban en el tercer o cuarto año de educación primaria, tenían asistencia regular a la escuela, sin problemas en la articulación de los sonidos del lenguaje que influyeran directamente en la precisión de su lectura y no habían recibido algún tipo de terapia psicológica y/o farmacológica. No se incluyeron niños con antecedentes de traumatismos craneoencefálicos severos, daño cerebral o nacidos prematuramente. El ingreso económico familiar per cápita fue mayor de 1.5 del salario mínimo diario y la escolaridad mínima de la madre o tutor fue de primaria. El protocolo de esta investigación fue revisado y aceptado por el Comité de Bioética del Instituto de Neurobiología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Todos los participantes (tutores y niños) firmaron la Carta de Consentimiento Informado. Posteriormente se realizó una entrevista con el padre o tutor a cargo del niño para verificar los criterios de inclusión y exclusión señalados anteriormente y se aplicaron los instrumentos seleccionados de manera individual y en diferentes sesiones de evaluación.

Se tomó como criterio de inclusión/exclusión adicional que todos los niños tuvieran una inteligencia normal (≥ 80 en el Cociente Intelectual total determinado por el WISC-IV). Posteriormente, aquellos niños con puntajes dentro del rango percentil promedio bajo o bajo en las subpruebas de Precisión de la Lectura y de Cálculo de la ENI (Matute et al., 2007) y que mostraban una evaluación neuropsiquiátrica normal a excepción del

problema en el aprendizaje, integraron el grupo con DEA en la precisión de la lectura y en el cálculo, es decir Dificultades Específicas en el Aprendizaje de la lectura precisión de tipo mixto (es decir fonológico y visual por el tipo de errores mostrados) y cálculo. Por otro lado, el grupo con una puntuación que los situó igual o por arriba del rango percentil promedio en todas las pruebas de la ENI que evalúan el desempeño académico y que tuvieron una evaluación neuropsiquiátrica normal, conformó la muestra de niños con BDA.

La muestra definitiva fue de 34 niños. El grupo DEA estuvo integrado por 19 niños (10 niñas), con una edad promedio de 8.95 ± .78 años, mientras que el grupo BDA lo formaron 15 niños (8 niñas) y su edad promedio fue de 8.87 ± .74 años.

Cabe mencionar que los niños tuvieron tres filtros, ya mencionados hasta aquí, para ser considerados dentro de la muestra, la referencia de los profesores por presentar problemas académicos, la valoración por medio de pruebas neuropsicológicas relacionadas con su desempeño en habilidades académicas y la evaluación neuropsiquiátrica.

Cabe aclarar que sólo fue posible trabajar con 30 niños en el estudio de Resonancia Magnética Funcional debido a la poca cooperación de los niños al estudio. Los dos grupos, tanto de problemas en el aprendizaje (DEA) como los de buen desempeño académico (BDA), quedaron igualados tanto en el número de integrantes (15 sujetos por grupo) como en el sexo de los participantes quedando 8 niñas y 7 niños por cada grupo.

El análisis de los datos conductuales fue realizado por medio de programa SPSS v. 20.

El análisis de datos de resonancia magnética funcional fue realizado por medio del programa FSL v.5.0 (Jenkinson, Beckmann, Behrens, Woolrich, & Smith, 2012).

3.3 Instrumentos

Los niños fueron valorados a través de una entrevista anamnésica elaborada por los autores de esta investigación y la entrevista M.I.N.I-KID (Mini International Neuropsychiatric Interview; Sheehan et al, 2004) con el propósito de detectar datos clínicos de importancia y depurar la muestra obtenida; se aplicó el WISC-IV (Wechsler, 2007a), el cual proporciona un Cociente Intelectual, además de la caracterización de

algunos dominios cognitivos específicos (Índice de Comprensión Verbal, Índice de Razonamiento Perceptual, Índice de Memoria de Trabajo e Índice de Velocidad de Procesamiento). Por último, se utilizó la ENI (Matute et al., 2007). Las subpruebas de la ENI que se utilizaron para apoyar en el diagnóstico del DEA fueron las siguientes: Precisión, Velocidad y Comprensión en la Lectura; Precisión, Composición Narrativa y Velocidad en la Escritura, mientras que en la aritmética se utilizaron Conteo, Manejo Numérico, Cálculo y Resolución de Problemas Matemáticos. Adicionalmente, se aplicaron las subpruebas de Memoria, Atención y Habilidades Metalingüísticas de la ENI.

Escala Weschler de Inteligencia para Niños IV (WISC-IV, 2007a):

Es un instrumento clínico de aplicación individual para la evaluación cognoscitiva de niños desde los 6 años 0 meses hasta los 16 años 11 meses.

Proporciona subpruebas y puntuaciones compuestas que representan el funcionamiento intelectual en dominios cognoscitivos específicos **(Compresión verbal, Razonamiento perceptivo, Memoria de trabajo y Velocidad de procesamiento),** además de una puntuación compuesta (CI total) (Escala Weschsler de inteligencia para niños-IV, 2007a). Está constituido por 15 subpruebas (diseño con cubos, semejanzas, retención de dígitos, concepto con dibujos, claves, vocabulario, sucesión de números y letras, matrices, comprensión, búsqueda de símbolos, figuras incompletas, registros, información, aritmética y palabras en contexto).

Evaluación Neuropsicológica Infantil (E.N.I) (**Matute, Rosselli, Ardila & Ostrosky (2007):**

La Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI) es una batería recientemente desarrollada, que intenta lograr una evaluación neurocognitiva integral en niños con edades entre los 5 y los 16 años. Es una batería neuropsicológica que ha demostrado ser una herramienta válida y fiable para la evaluación neuropsicológica de niños en la edad escolar (Rosselli M., Matute, Ardila, A. 2006).

Este instrumento comprende la evaluación de 12 procesos neuropsicológicos (Matute et al., 2005): habilidades construccionales, memoria (codificación y evocación diferida, habilidades perceptuales, lenguaje, habilidades metalingüísticas, habilidades

académicas (lectura, escritura y aritmética), habilidades espaciales, atención, habilidades conceptuales y funciones ejecutivas.

Incluye, además, una evaluación de la preferencia lateral y un examen de signos neurológicos blandos (Roselli, Matute, Ardila, Botero, Tangarife, Echeverría, Arbelaez, Mejia, Méndez, Villa, & Ocampo, 2004). Dentro de esta investigación se utilizarán los dominios de lectura, escritura, aritmética principalmente, además de las pruebas de memoria, atención y habilidades metalingüísticas.

En el apartado de lectura existen las tareas de precisión, comprensión y velocidad en la lectura. En el primer rubro se le pide al niño que lea lo mejor posible sílabas, palabras, no palabras, oraciones y textos. En la comprensión de la lectura se pide que al niño leer en voz alta órdenes para que posteriormente las ejecute, además de comprender textos, lo cual es evaluado por medio de preguntas. La velocidad es calculada por el número de palabras leídas por minuto, tanto en la lectura en voz alta y en silencio. En cuanto a la escritura se valora la precisión en la escritura de sílabas, palabras, pseudopalabras, copia de textos y composición narrativa. En la composición narrativa se valora tanto el número de palabras escritas como la coherencia del texto escrito. La velocidad se mide por medio de la cantidad de palabras escritas por minuto. En la aritmética se valora en primera instancia el conteo, en el cual se evalúa la capacidad de contar los elementos en un conjunto y realizar comparaciones entre algunos conjuntos determinados. El manejo numérico evalúa lectura, escritura y comparación de números, así como la ordenación de cantidades. En el apartado de cálculo se encuentran tareas tales como seguimiento de una serie numérica en orden directo como inverso, así como cálculo mental y escrito de operaciones aritméticas. Por último se tiene el apartado de problemas aritméticos en donde se le lee al niño una serie de problemas que él también puede leer y se le da un tiempo específico para resolver el problema mentalmente. En las pruebas de memoria se valora tanto la memoria visual como auditiva, tanto en la codificación (registro de información) como en la evocación de esa información recibida. En la parte auditiva se utiliza una lista de 9 o 12 repetidas en 4 ensayos con el fin de observar su curva de aprendizaje y mejoría mientras la repetición se da. También se utiliza la repetición inmediata de una historia leída por el evaluador. En la evocación (después de un tiempo determinado) se le pide ya sea la expresión de las palabras y posteriormente la

recuperación por medio de ayudas semánticas o bien por el reconocimiento de palabras. Además se pide que nos repita la historia que le leímos también al cabo de un tiempo determinado. El apartado visual está conformado por la copia y posterior evocación de una Figura compleja y el dibujo inmediato después de la demostración de una lista de figuras (9 o 12) y posterior evocación después de un tiempo determinado de las mismas figuras de manera espontánea, por pistas semánticas o por medio de reconocimiento de figuras. En el dominio de la atención se utiliza tanto la cancelación gráfica de ciertos dibujos o letras por un tiempo determinado, así como la repetición en orden directo como inverso de números. En cuanto a las Habilidades Metalingüísticas se evalúa tanto la síntesis fonémica que es la capacidad de formar palabras a través de los sonidos que las constituyen los cuales son emitidos por el evaluador, el conteo de sonidos que contiene algunas palabras, deletreo de algunas palabras y por último el conteo de palabras en frases u oraciones.

M.i.n.i.-Kid (Mini International Neuropsychiatric Interview) (Sheehan et al, 2004)

La M.I.N.I. es la entrevista psiquiátrica estructurada más usada en el mundo. Es una entrevista diagnóstica estructurada, de duración breve que valora los principales trastornos psiquiátricos del Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales, cuarta versión revisada (DSM-IV) y la Clasificación internacional de enfermedades, décima versión (CIE-10). Dicha entrevista está dividida en módulos, identificados por letras, cada uno correspondiente a una categoría diagnóstica. El tiempo de aplicación aproximado de esta entrevista es de 15 minutos.

3.4 Paradigmas de estimulación

Lectura

Se sabe que la lectura de palabras tiene dos rutas para su acceso, en primer término, la vía semántica la cual se basa en el reconocimiento y lectura de palabras y por otra parte la vía fonológica, la cual resulta útil en la lectura de palabras poco comunes o bien el arreglo de letras que pudieran confundirse con palabras (pseudopalabras) (Shaywitz &

Shaywitz, 2009).

Dentro de la lectura se utilizará un paradigma mixto de estimulación, dentro del cual se le pedirá al sujeto:

1. Lectura y discriminación de una palabra. (LP)
2. Lectura y discriminación de una pseudopalabra. (LNP)

Estímulos fondo: Búsqueda y discriminación de la dirección de un objetivo (asterisco) en un arreglo de símbolos (DS). Las palabras fueron seleccionadas siguiendo algunos parámetros: las palabras son sustantivos de uso común (López, 2010), conformadas por 4 letras con dos silabas cada una (por ejemplo, mano), sin el uso de sílabas trabadas (sinfones) y sin diéresis. Las pseudopalabras se obtuvieron por la combinación de las letras contenidas en las palabras utilizadas, manteniendo la longitud de las palabras y la complejidad de las mismas, con respeto de la estructura fonotáctica del español.

Se alternará de manera aleatoria, por el programa E-PRIME 2 (Psychology Software Tools (PST), los estímulos a los que deberá responder el sujeto con una duración de 2000 milisegundos cada uno de ellos, teniendo 5 o 6 elementos de la tarea DS para después aparecer un estímulo que puede ser una palabra o una pseudopalabra. Si en la pantalla aparece una palabra el sujeto debe presionar el botón del dedo índice de la mano derecha; en el caso de la pseudopalabra deberá hacer lo mismo, pero con su lado izquierdo. Estas respuestas fueron contrabalanceadas. Para el estímulo fondo el sujeto deberá observar el arreglo de símbolos y presionar el botón derecho o izquierdo en dependencia del lado en donde aparezca el asterisco. (figura 9). El paradigma de lectura tendrá una duración de 5 minutos y 30 segundos.

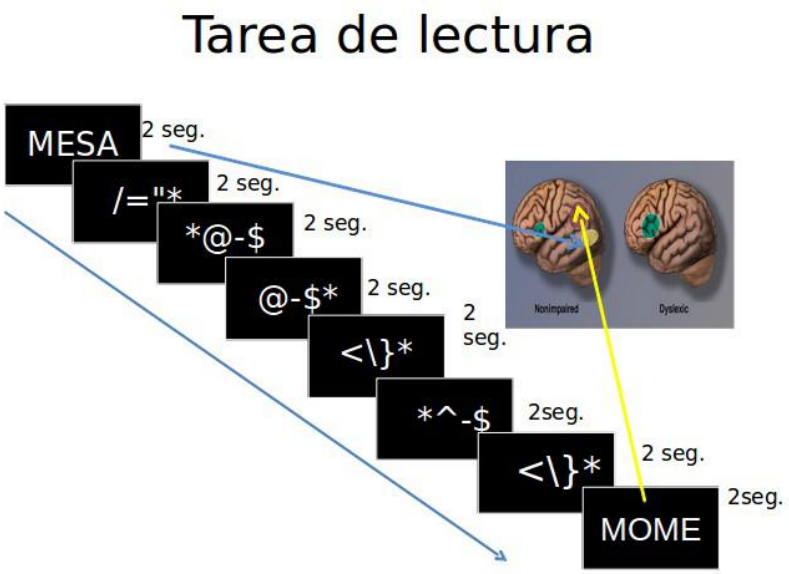


Figura 9. Esquema de presentación en la tarea de lectura de RMf.

Cálculo

En relación con el cálculo existen tres códigos que son importantes para la ejecución de tareas de este tipo: el primer código que hace referencia al concepto de cardinalidad, el cual es la representación mental de magnitud. El segundo código se refiere a la representación verbal de los números; en este código podemos hallar la estructura sintáctica de la representación del número o bien los “hechos” matemáticos. El tercer código se refiere a la representación visual del número arábigo.

Se utilizarán algunas de las tareas para observar las dos vías principales del manejo numérico y el cálculo. El primer eslabón que se tendrá en cuenta es el de magnitud sustentando primordialmente por el surco intraparietal de manera bilateral, el cual será medido por la comparación de números. Por otra parte, el código verbal que tiene una base primordialmente en áreas implicadas en el lenguaje (áreas perisilvianas) se valorará con la suma de números.

A continuación, se enlistan las tareas a desarrollar:

1. Comparación de números (COMP)

2. Suma de dígitos simples (SUM)

3. Estímulos fondo: Búsqueda y discriminación de la dirección de un objetivo (asterisco) en un arreglo de símbolos (DS).

El diseño de las distintas actividades se propone por medio de un diseño mixto de estimulación.

En la tarea COMP se le mostraran dos números en la parte central de la pantalla los cuales tienen ciertas condiciones: en un conjunto de estos números se compararan números con la misma decena (por ejemplo 46-48), el otro conjunto se compararan números con igual unidad y diferente decena (por ejemplo 74-54) y un último grupo sin repetición ni de unidades ni decenas (por ejemplo 95-68).

Cada grupo estará integrado por 5 estímulos con esas características. Lo estímulos de la línea base consistirán en arreglo de símbolos distribuidos idénticamente de manera espacial y con la misma carga visuo-perceptual de elementos. Se le pide al niño que ante los dos números escoja el que sea más grande y de la respuesta apretando el botón del lado del estímulo correcto. En el caso de los estímulos fondo la respuesta motora se dará ante los asteriscos (figura 10).

Tanto los estímulos a comparar como los estímulos fondo tienen una duración de 2000 ms. La tarea tiene una duración de 5 minutos y 8 segundos.

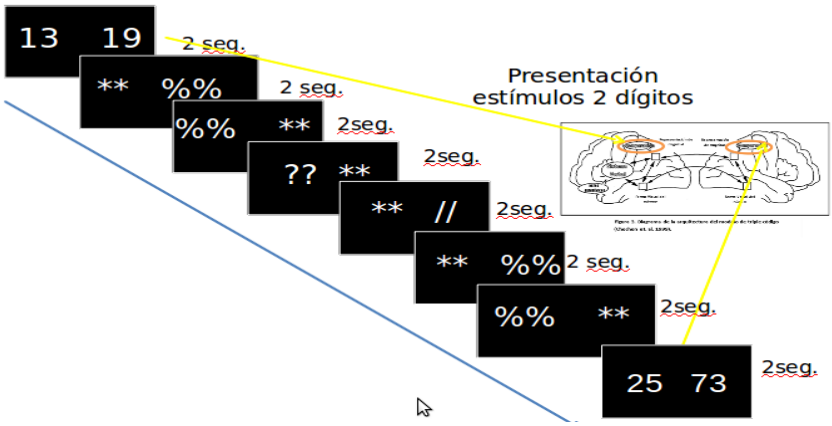


Figura 10. Esquema de la tarea de Comparación de números de RMf.

En la tarea de SUM se muestran los números a los cuales se les tiene que realizar

la operación en la parte superior y dos posibles resultados es la parte inferior; dependiendo de esto, el niño oprimirá los botones derecho o izquierdo para seleccionar la respuesta correcta. Las sumas son simples, contemplando el uso sólo de unidades en los sumandos, siendo el resultado no mayor a 10 (por ejemplo 2+2).

Cada estimulo se presentará por 4 segundos con 10 operaciones por cada bloque (figura 11). en el caso del estímulo fondo también deberá presionar el botón del lado en donde aparezca el estímulo-objetivo, el asterisco. El paradigma tiene una duración de 2 minutos y 52 segundos.

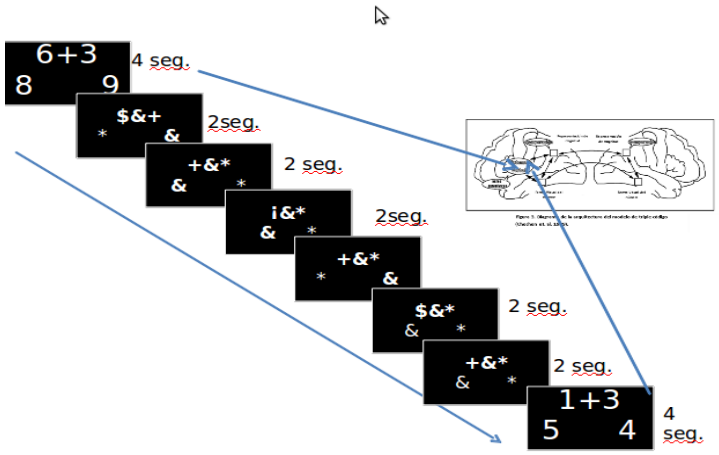


Figura 11. Esquema de la tarea de suma en RMf.

4. Resultados

4.1 Pruebas psicológicas y neuropsicológicas

En la tabla 2 se muestran la media y la desviación típica de las variables del WISC y de la ENI en los grupos BDA y DEA, así como los resultados obtenidos al comparar dichas variables entre ambos grupos mediante la prueba U de Mann-Whitney.

Tabla 2. Resultados para cada grupo en relación con la WISC-IV y las subpruebas de la ENI.

			BDA (n=15)		**DEA (n=19)**		**Diferencia entre grupos**	
			Media	**Desv. Tip**	**Media**	**Desv. Tip**	**U de Mann-Whitney**	**Sig.**
WISC		Índice de Comprensión Verbal ICV	110.60	14.82	94.74	8.18	49.5	0.00
		Índice de Razonamiento Perceptual IRP	106.07	12.12	97.53	8.29	79.0	0.03
		Índice de Memoria de Trabajo IMT	100.60	8.16	87.16	9.21	38.5	0.00
		Índice de Velocidad de Procesamiento IVP	98.93	12.21	94.21	10.15	114.5	0.34
		Cociente Intelectual Total CIT	107.00	10.27	92.11	7.97	31.0	0.00
ENI	Lectura	Precisión	103.40	7.32	68.95	13.50	0.0	0.00
		Comprensión	114.00	12.28	86.74	16.21	28.5	0.00
		Velocidad	112.53	12.01	94.00	9.90	38.0	0.00
	Escritura	Precisión	111.33	9.35	86.37	10.25	9.5	0.00
		Composición Narrativa	102.80	8.57	82.53	14.86	38.0	0.00
		Velocidad	106.33	7.90	95.16	19.55	84.0	0.04
	Aritmética	Conteo	107.00	5.28	99.21	13.57	103.0	0.15
		Manejo Numérico	104.93	13.11	75.79	15.02	19.0	0.00
		Cálculo	105.67	11.00	74.47	9.85	0.0	0.00
		Razonamiento Matemático	109.07	10.74	92.00	10.21	25.0	0.00
	Memoria y atención auditiva	Codificación	95.73	11.57	88.74	11.40	100.5	0.14
		Evocación	95.00	15.92	89.63	12.71	118.0	0.39
		Atención	96.60	27.14	93.95	16.21	100.5	0.14
	Memoria y atención visual	Codificación	101.47	8.08	89.95	10.87	61.0	0.00
		Evocación	98.33	13.71	84.47	12.79	69.0	0.01
		Atención	85.73	13.61	87.16	12.05	136.5	0.83
		Habilidades Metalingüísticas	106.53	11.29	84.42	13.36	30.5	0.00

En casi todas las comparaciones los niños con DEA obtuvieron puntuaciones menores respecto a los BDA, la única excepción fue Atención Visual. En la tabla 2 aparecen los promedios de cada uno de los grupos (BDA y DEA) en las diferentes subpruebas aplicadas. Dicha comparación evidenció diferencias significativas entre los diferentes grupos en todas las variables del WISC a excepción del Índice de Velocidad de Procesamiento y en la mayoría de la ENI, excepto en Conteo, Codificación, Evocación y Atención Auditivas, además de Atención Visual. Por otro lado fue interesante observar los resultados en cada una de las subpruebas que constituyen los subdominios de la lectura (precisión, comprensión y velocidad) y la aritmética (conteo, manejo numérico, cálculo y razonamiento matemático) debido a las características en el desempeño en

Tabla 3. Promedios para cada una de las subpruebas de los subdominios de lectura de la ENI.

Subdominios/Subpruebas	Grupo	Promedio	Desviación típ.	U de Mann-Whitney	Sig..
Lectura de precisión	BDA	103.4	7.3	0.000	.000
	DEA	68.9	13.5		
Lectura de silabas	BDA	10.9	1.2	80.000	.020
	DEA	7.9	3.7		
Lectura de palabras	BDA	10.0	0.0	75.000	.003
	DEA	7.2	3.5		
Lectura de pseudopalabras	BDA	9.7	2.3	24.500	.000
	DEA	5.4	2.4		
Lectura de oraciones	BDA	10.8	2.6	52.500	.001
	DEA	7.2	3.8		
Errores en la lectura de textos	BDA	10.8	2.1	23.500	.000
	DEA	5.5	2.8		
Comprensión de lectura	BDA	114.0	12.3	28.500	.000
	DEA	86.7	16.2		
Comprensión de oraciones	BDA	10.8	2.5	36.000	.000
	DEA	6.8	2.6		
Comprensión en la lectura en voz alta	BDA	13.1	2.6	72.500	.014
	DEA	10.2	3.0		
Comprensión en la lectura voz baja	BDA	12.2	3.0	53.500	.002
	DEA	8.0	3.5		.
Velocidad de la lectura	BDA	112.5	12.0	38.000	000
	DEA	94.0	9.9		
Velocidad en la lectura en voz alta	BDA	12.0	2.3	43.000	.000
	DEA	8.9	1.9		
Velocidad en la lectura en voz baja	BDA	11.5	2.9	63.000	.005
	DEA	8.8	1.8		

cada subpruebas con el fin de caracterizar detalladamente cada dominio cognitivo.

Subpruebas de lectura

En la tabla 3 se muestra los resultados de los subdominios de la lectura. Se puede observar como todos los subdominios, así como las subpruebas en el apartado de lectura presentan un nivel de significación ≤.05 en la prueba de U de Mann- Whitney.

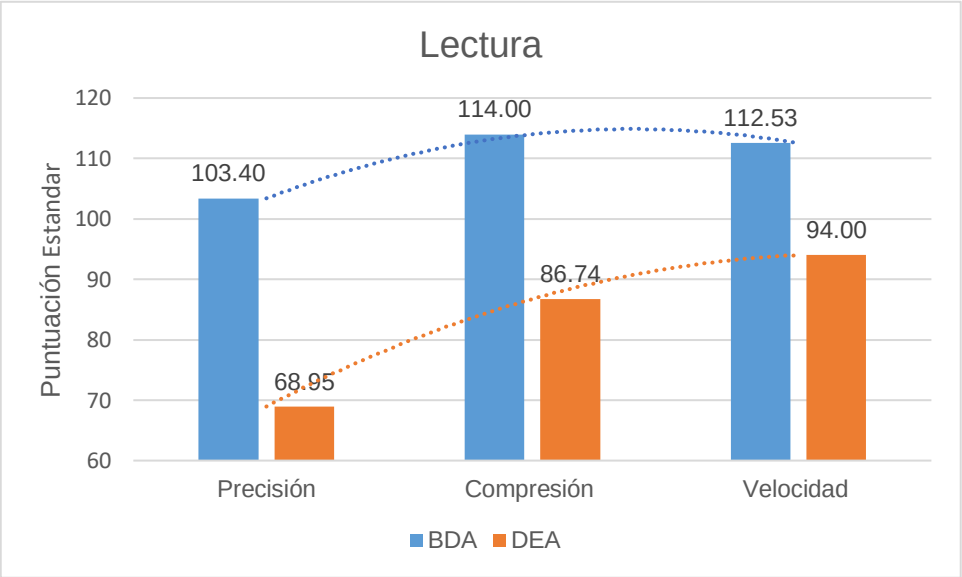


Figura 12. Promedios de las puntuaciones estándar por cada una de los subdominios de la lectura en la prueba ENI.

Con los promedios de las puntuaciones (figura 12) de cada subdominio que evalúa la ENI en relación con la lectura, se observa dentro del grupo BDA una escala ascendente dentro los compuestos, encontrando a la precisión de la lectura como el puntaje más bajo de los tres rubros, seguido de velocidad y de comprensión, dato no esperado para el grupo de buen desempeño. En relación con el grupo DEA se observa que también el rubro de precisión en la lectura (criterio de inclusión) es en el que se encuentra el menor desempeño en general, seguido de comprensión y posteriormente aparece la velocidad presentando los resultados más altos. Al aplicar la prueba de Wilcoxon, entre la precisión y la velocidad de la lectura en el ambos grupos, se observó una diferencia significativa ≤.05 tanto en el grupo BDA (Z=-2.048; p=.041) como en el DEA (Z=-3.744; p=.000).

Adicional a esto el grupo DEA presentó menor desempeño en la velocidad de la lectura en comparación del grupo BDA, sin embargo, este rubro fue el más alto de los tres en el grupo DEA. Dicho resultado es contrario a lo que se reporta en la literatura para hispanohablantes, ya que se considere que la velocidad es el rubro más afectado (Jiménez & Hernández, 2000).

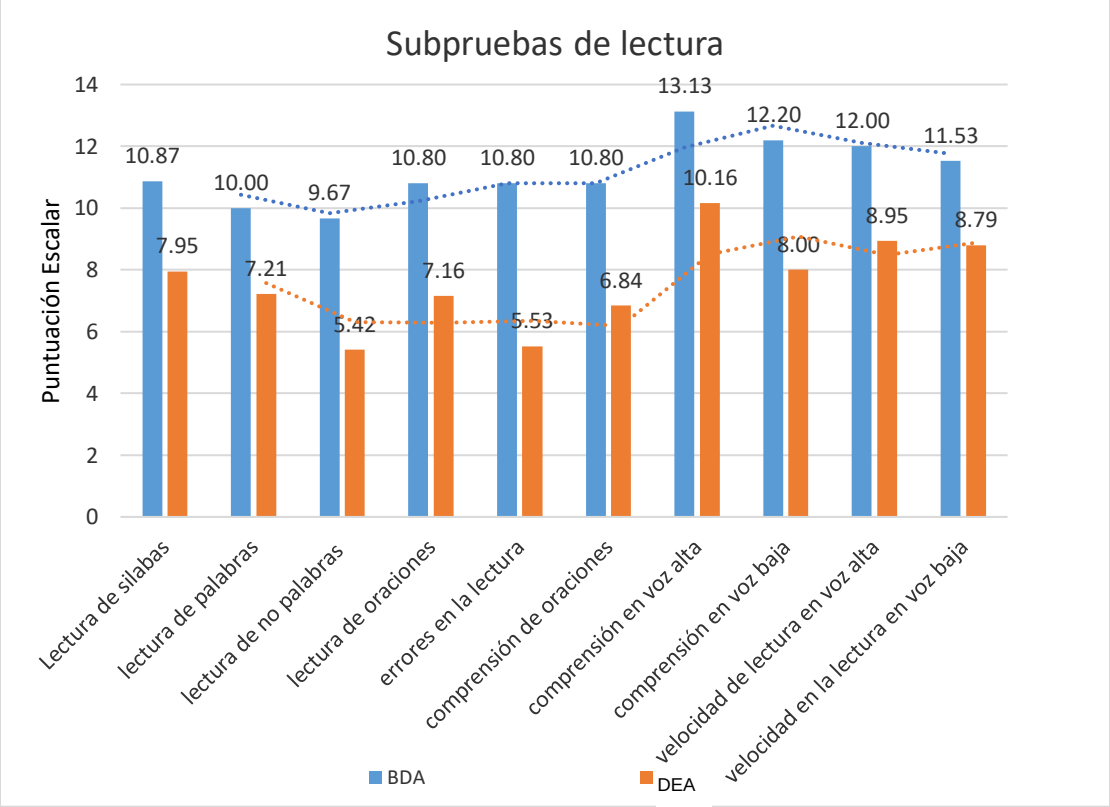


Figura 13. Promedios de puntuaciones escalares por cada una de las subpruebas que constituyen a los subdominios en la lectura de la ENI.

En la figura 13 se muestran los promedios para cada una de las subpruebas que conforma los subdominios de la lectura. En el grupo BDA, en relación con la precisión de la lectura, el menor desempeño se presentó en la lectura de pseudopalabras. En la comprensión se puede observar mayor desempeño en la comprensión de un texto leído en voz alta en comparación comprensión de un texto en lectura silenciosa. En cuanto a la velocidad de la lectura, sus puntajes fueron altos sin mucha diferencia entre la lectura en voz alta y silente.

En el grupo DEA, se observó peor desempeño en todas las subpruebas de lectura. En primera instancia, con respecto a la precisión se observaron menores puntajes en relación con la lectura de pseudopalabras y la precisión en la lectura de un texto en voz alta, siendo dichos errores en su mayoría derivacionales, literales o fonológicos es decir por un lado los niños leían mal las palabras leyendo sólo el inicio de las mismas y emitiendo una palabra cercana por su parecido visual (p.ej. carn_icero por carn_ero) o bien modificando una letra por otra en la lectura (p.eje. piña por peña) o bien cambiando el sonido de una grafía por otra (p.ej. persigió por persiguió) . En cuanto a la comprensión, el puntaje más bajo se relacionó con la lectura en voz baja, lo que puede indicar la falta aún de interiorización de los procesos lectores y la implicación de la articulación de los sonidos del lenguaje y la escucha de lo que se lee en la comprensión de la lectura en niños con problemas en la lectura. En relación con la velocidad, se notó prácticamente el mismo desempeño en ambas modalidades, mostrando mejor desempeño en comparación de las otras subpruebas de la lectura.

Por último, fue evidente también un bajo desempeño en la velocidad de la lectura en el grupo DEA en comparación del grupo BDA, sin embargo, no fue tan bajo como la precisión de la lectura de pseudopalabras.

Subpruebas de escritura

Dentro de las subpruebas de escritura (tabla 4) es posible observar que en todos los subdominios tanto de precisión, composición narrativa y velocidad en la escritura presentan diferencia estadísticamente significativas en la prueba U de Mann-Whitney con un nivel de significación ≤.05.

Con los promedios de las puntuaciones (figura 14) de cada subdominio que evalúa la ENI en relación con la escritura, se observa dentro del grupo BDA puntuaciones muy similares en los tres sub-dominios siendo el de precisión en la escritura el de puntuación más alta y el de composición narrativa el más bajo. En cuanto al grupo DEA se observa que el sub-dominio de velocidad en la escritura es el que presenta mejor puntuación promedio, en cambio en composición narrativa se encontró el promedio más bajo. En ambos grupos la composición narrativa fue el sub-dominio con puntajes más bajos.

Tabla 4. Promedios para cada una de las subpruebas de los subdominios de escritura de la ENI.

Subdominios/subpruebas		Media	Desviación típ.	U de Mann-Whitney	Sig.
Precisión en la Escritura	BDA	111.3333	9.34778	9.500	.000
	DEA	86.3684	10.25351		
Escritura de sílabas	BDA	11.5333	0.83381	55.500	.002
	DEA	9.7895	2.5073		
Escritura de palabras	BDA	11.7333	2.46306	51.500	.001
	DEA	8.4737	3.02523		
Escritura de pseudopalabras	BDA	10.8	2.27408	40.500	.000
	DEA	8	1.1547		
Escritura de oraciones	BDA	10.8667	2.09989	18.000	.000
	DEA	5.8421	2.50029		
Palabras con errores en la recuperación escrita	BDA	11.2	2.39643	140.000	.930
	DEA	11.3158	2.49561		
Composición narrativa	BDA	102.8	8.57071	38.000	.000
	DEA	82.5263	14.85623		
Coherencia narrativa	BDA	11.8	2.24245	36.000	.000
	DEA	7.0526	3.42335		
Longitud narrativa	BDA	9.1333	2.09989	70.000	.011
	DEA	9.8947	14.73052		
Velocidad de escritura	BDA	106.3333	7.89816	84.000	.041
	DEA	95.1579	19.54841		
Velocidad escritura copia	BDA	10.6	1.50238	70.500	.012
	DEA	8.9474	2.71771		
Velocidad de la escritura recuperación escrita	BDA	11.6667	2.05866	97.000	.111
	DEA	9.7895	3.59906		

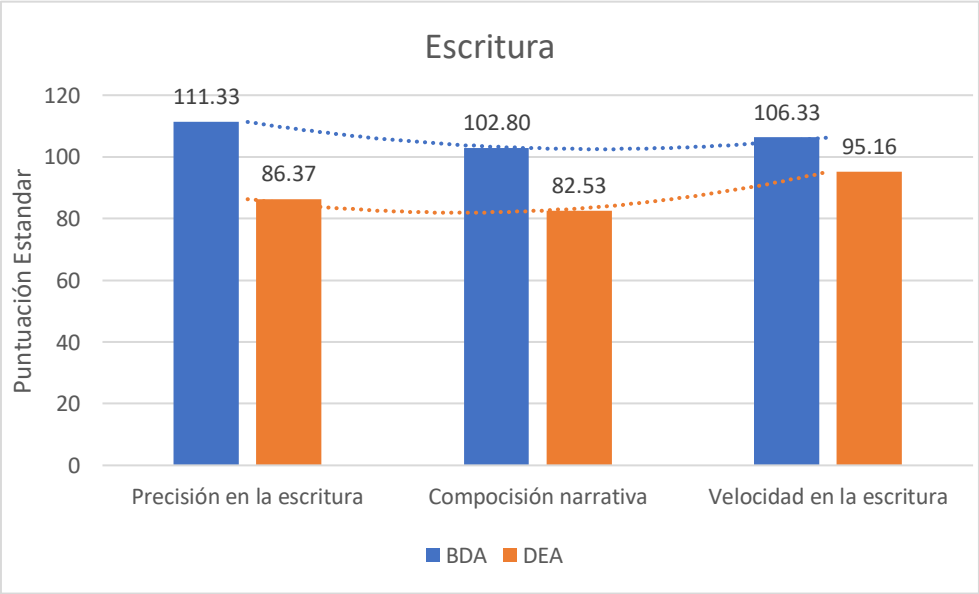


Figura 14. Promedios de las puntuaciones estándar por cada una de los subdominios de la escritura en la prueba ENI.

En las subpruebas de los subdominios (figura 15) se encontraron diferencias significativas en la mayor parte de ellas entre los dos grupos, con excepción de las subpruebas de palabras con errores en la recuperación escrita y la velocidad de la escritura en la recuperación escrita. En el grupo de BDA se encontró dentro de las subpruebas como puntaje más alto el de coherencia narrativa y el más bajo el de longitud narrativa. Por otro lado el grupo DEA presentó como su promedio más alto el de palabras con error en la recuperación escrita y el más bajo el de escritura de oraciones y coherencia narrativa. Cabe mencionar que en ambas tareas se requiere de una memoria de tipo operativo para realizar de manera adecuada las mismas, en especial a la coherencia narrativa que requiere del manejo de la información a corto plazo con el fin de recobrar y construir una historia lo más completa y coherente como sea posible.

Cabe mencionar que tanto en la subprueba de palabras con error en la recuperación escrita como de longitud narrativa el grupo DEA obtuvo puntajes promedio mayores en comparación del grupo BDA. Cabe resaltar que a pesar de presentar puntajes más altos en la longitud de la recuperación narrativa el grupo DEA presentó en la subprueba de coherencia narrativa uno de sus promedios más bajos, que puede reflejar la calidad de su recuperación escrita.

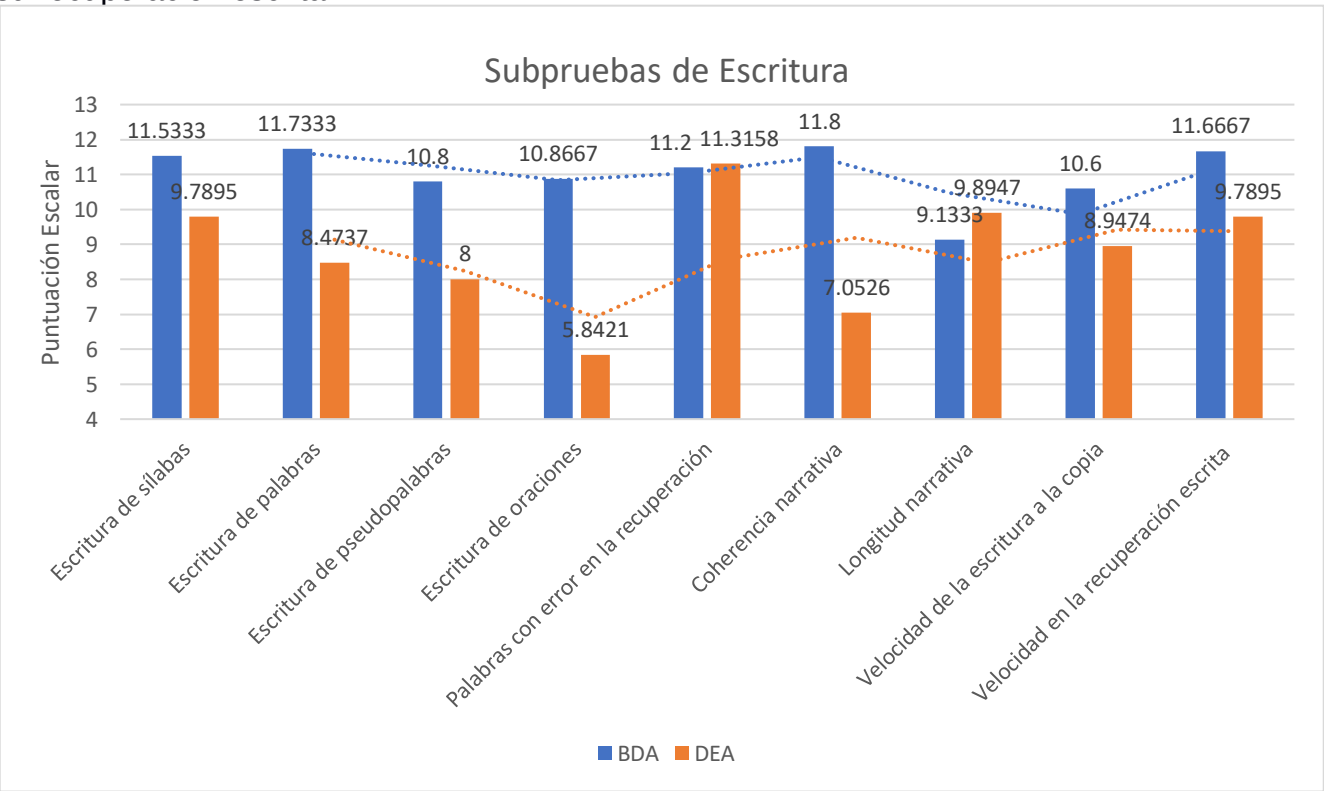


Figura 15. Promedios de puntuaciones escalares por cada una de las subpruebas que constituyen a los subdominios en la escritura de la ENI.

Subpruebas de aritmética

En la tabla 5 es posible observar que, con excepción del conteo, todas las demás subpruebas presentan diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos. En este sentido se podría mencionar la relación del conteo con las primeras habilidades numéricas relacionadas con la numerosidad, las cuales parecen estar indemnes en el grupo DEA.

En la figura 16 se observa que tanto el manejo numérico como el cálculo son los dos rubros en los que se observa menor desempeño en el grupo DEA. El cálculo fue uno de los criterios de inclusión que se tomaron en cuenta en este trabajo, no así el manejo numérico. En el grupo BDA es evidente la homogeneidad de su desempeño en todos los aspectos relacionados con el desempeño matemático. En la figura 17 es posible observar como en todos las subpruebas de aritmética el grupo BDA obtuvo puntuaciones escalares homogéneas. Por otro lado, el grupo DEA también presentó homogeneidad en su desempeño, pero en general fue muy bajo en comparación del grupo BDA. Además, se observó peor desempeño tanto en la subprueba de serie directa y también en la de cálculo mental, tal vez relacionado con su manipulación inadecuada de la información relacionada con memoria de trabajo.

Al tener en cuenta la observación clínica de la existencia de variabilidad importante en la ejecución de las diferentes pruebas por parte de los niños con DEA, se consideró conveniente explorar la existencia de subgrupos neuropsicológico no sólo en estos niños sino también en aquellos con BDA. Para esto se realizó un análisis de componentes principales (ACP) del que surgieron 5 grupos, pero con dos participantes “atípicos” del grupo BDA, que no se ajustaban a ninguno de los grupos, por lo que fueron eliminados del análisis. Se observaron dos subgrupos con BDA: uno constituido por 7 niños (BDA1) y otro por 6 niños (BDA2). Dentro del grupo de DEA se formaron 3 subgrupos: DEA1 integrado por 4 niños, el DEA2 por 10 niños y el DEA3 por 5 niños.

Tabla 5. Promedios para cada uno de los subdominios y subpruebas de aritmética.

Subdominios/Subpruebas	Grupo	Promedio	Desviación típ.	U de Mann-Whitney	Sig..
Conteo	BDA	107.0000	5.27799	103.000	.149
	DEA	99.2105	13.56703		
Manejo numérico	BDA	104.9333	13.11197	19.000	.000
	DEA	75.7895	15.02435		
Lectura de números	BDA	11.2000	2.85857	34.500	.000
	DEA	6.4737	2.89383		
Escritura de números	BDA	10.6000	3.13506	49.500	.001
	DEA	7.1053	2.10541		
Comparación de números	BDA	10.9333	1.86956	54.000	002
	DEA	6.7895	3.73540		
Ordenamiento de cantidades	BDA	10.3333	.89974	53.500	.001
	DEA	7.8421	3.27046		
Cálculo	BDA	105.6667	10.99784	0.000	.000
	DEA	74.4737	9.84529		
Serie directa	BDA	10.6667	1.44749	67.000	.004
	DEA	7.5789	4.03204		
Serie inversa	BDA	10.4667	2.55976	27.500	.000
	DEA	5.5789	2.87355		
Cálculo mental	BDA	10.4667	3.22638	31.500	.000
	DEA	5.1053	3.29806		
Cálculo escrito	BDA	11.7333	2.34419	19.000	.000
	DEA	6.6842	2.35826		
Razonamiento matemático	BDA	109.0667	10.74022	35.000	.000
	DEA	92.0000	10.21437		

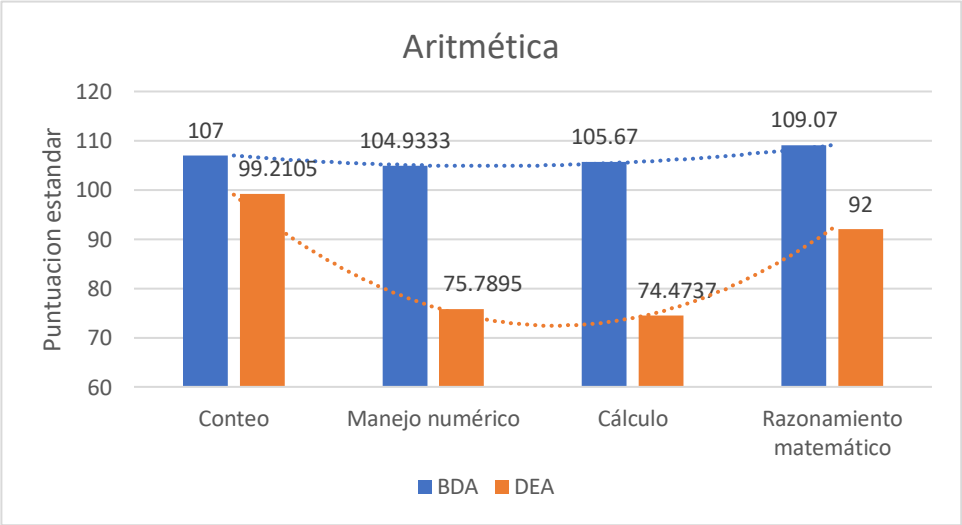


Figura 16. Promedios de puntuaciones estándar por cada una de los dominios globales del rubro de aritmética en la prueba ENI.

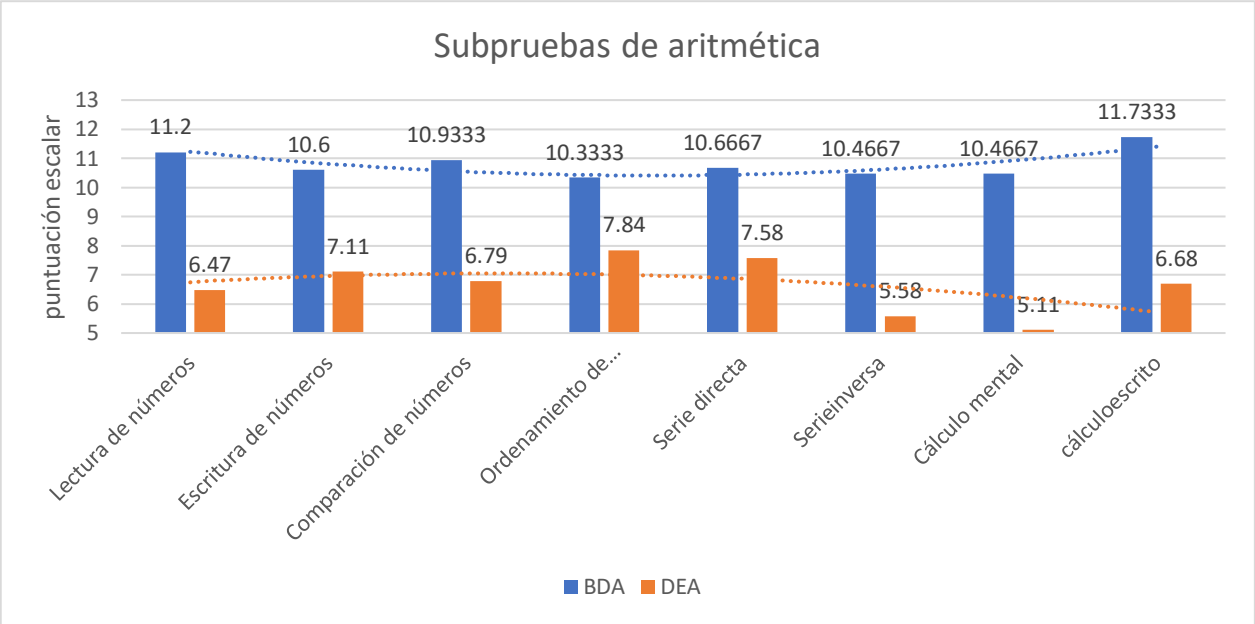


Figura 17. Promedios por cada una de las subpruebas de la aritmética en la prueba ENI.

Al tener en cuenta la observación clínica de la existencia de variabilidad importante en la ejecución de las diferentes pruebas por parte de los niños con DEA, se consideró conveniente explorar la existencia de subgrupos neuropsicológico no sólo en estos niños sino también en aquellos con BDA. Para esto se realizó un análisis de componentes principales (ACP) del que surgieron 5 grupos, pero con dos participantes “atípicos” del grupo BDA, que no se ajustaban a ninguno de los grupos, por lo que fueron eliminados del análisis. Se observaron dos subgrupos con BDA: uno constituido por 7 niños (BDA1) y otro por 6 niños (BDA2). Dentro del grupo de DEA se formaron 3 subgrupos: DEA1 integrado por 4 niños, el DEA2 por 10 niños y el DEA3 por 5 niños.

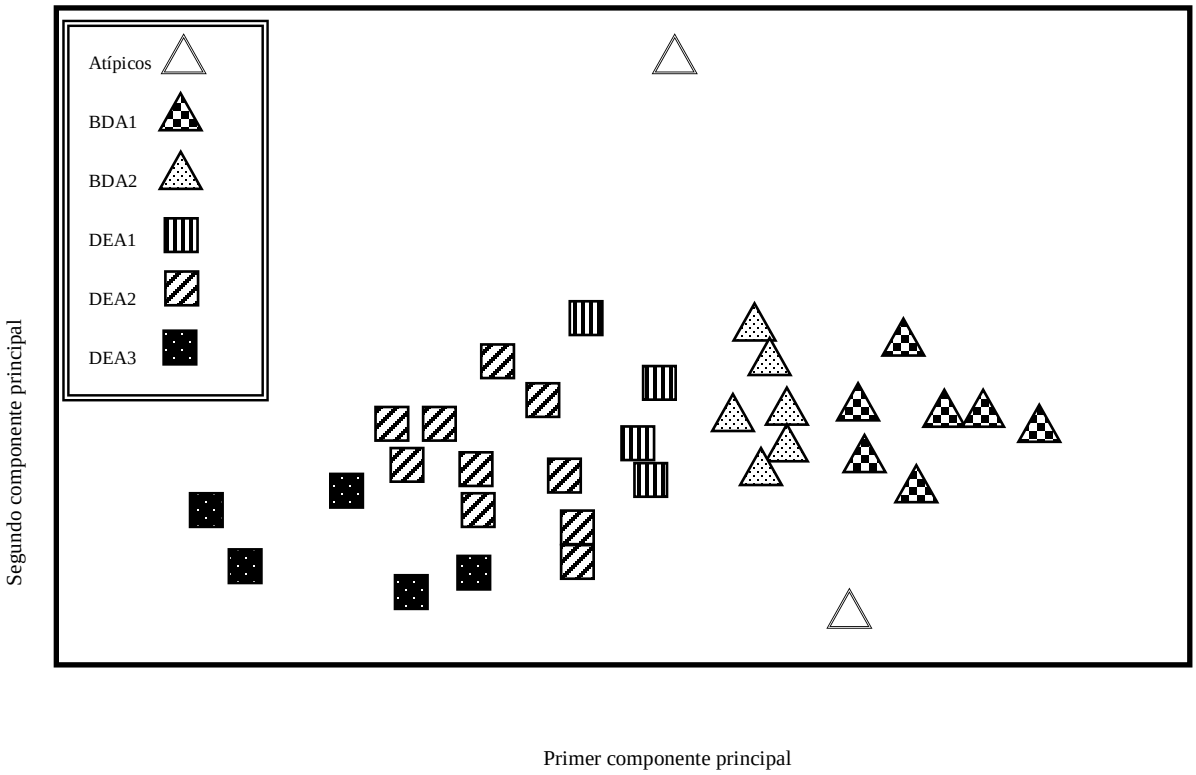


Figura 18. Resultados del Análisis de Escalamiento Multidimensional y los subgrupos formados a partir de las variables del WISC y de la ENI. Los subgrupos BDA están representados por triángulos y los DEA por cuadrados. Los dos triángulos blancos identifican a los BDA "atípicos".

En la figura 18 se muestran los resultados del Análisis de Escalamiento Multidimensional y los subgrupos formados. En la tabla 6 aparecen los promedios de cada uno de los subgrupos en las diferentes subpruebas aplicadas, así como los resultados obtenidos cuando los 5 subgrupos fueron comparados mediante la prueba Kruskal-Wallis. Dicha comparación evidenció diferencias significativas entre los diferentes subgrupos en todas las variables del WISC y en la mayoría de la ENI, excepto en Velocidad en la Escritura, Conteo, Codificación y Atención Auditiva.

Tabla 6. Prueba de Kruskal Wallis en los 5 subgrupos neuropsicológicos en las diferentes subpruebas evaluadas.

		Promedios de los subgrupos				
	KW-H(4;32);	**X BDA1**	**X BDA2**	**X DEA1**	**X DEA2**	**X DEA3**
Índice de Comprensión Verbal	19.43; P<.001	118.43	106.17	104.75	94.10	88.00
Índice de Razonamiento Perceptual	11.26; P=.02	114.71	97.33	99.50	97.20	96.90
Índice de Memoria de Trabajo	16.95; P<.01	101.86	101.17	96.25	84.50	85.20
Índice de Velocidad en el Procesamiento	10.14; P=.04	100.00	102.00	105.25	93.90	86.00
Cociente de Inteligencia Total	23.91; P<.001	114.00	103.33	102.50	90.60	86.80
Precisión en la Lectura	24.86; P<.001	106.14	100.50	81.25	68.00	61.00
Comprensión en la Lectura	21.16; P<.001	122.86	106.67	104.50	84.00	78.00
Velocidad en la Lectura	19.97; P<001	119.29	106.33	103.75	94.60	85.00
Precisión en la Escritura	21.558; P<.001	115.71	107.50	95.75	85.60	73.00
Composición Narrativa	16.963 P=.002	106.14	97.33	88.75	87.30	68.00
Velocidad en la Escritura	9.126 P=.058	105.71	104.17	114.50	93.50	83.00
Conteo	2.30; P=0.68	105.71	107.5	96.25	102.00	96.00
Manejo Numérico	16.92; P=.002	105.86	99.67	78.50	76.25	70.00
Cálculo	24.12; P<.001	106.43	100.83	81.25	75.50	67.00
Resolución de Problemas	17.87; P=.001	114.71	106.67	95.75	94.70	83.60
Codificación Auditiva	9.08; P=.06	99.00	95.00	97.00	90.00	78.00
Evocación Auditiva	12.28; P=.01	105.00	90.00	100.00	91.00	77.00
Atención Auditiva	5.34; P=.25	107.14	97.17	92.5	94	95
Codificación Visual	15.35; P=.004	105.43	96.83	97.00	92.60	79.00
Evocación Visual	19.7; P<.001	107.86	88.33	100.00	81.50	78.00
Atención Visual	16.01; P=.003	83.71	92.50	101.25	89.10	72.00
Habilidades Metalingüísticas	21.18; P<.001	109.29	108.83	95.75	85.60	73.00

Posteriormente, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de rangos de Student-Newman- Keuls con el fin de discriminar las diferencias y similitudes dentro de los grupos. En la tabla 7 se muestran los resultados de dicha comparación, así como los intervalos de los promedios en puntajes escalares de las diferentes subpruebas aplicadas. En la misma puede notarse que, además de los criterios de inclusión utilizados para diferenciar entre los niños BDA y DEA (subpruebas de Precisión en la Lectura y el Cálculo), las subpruebas de Precisión en la Escritura y el Manejo Numérico, también fueron útiles para distinguir ambos grupos de niños.

En la tabla 7 se observa, además, que el subgrupo BDA1 es el que posee las puntuaciones más altas en comparación con los restantes, con la excepción de la subprueba de Atención Visual, dato inesperado pues dicho grupo se consideró de buen desempeño académico. El subgrupo BDA2 tuvo menor rendimiento en varias subpruebas (Composición Narrativa, Manejo Numérico, Evocación Auditiva, Codificación Visual y la de menor puntaje fue la de Evocación Visual) en comparación con el BDA1, siendo la de Evocación Visual la de puntaje más bajo. Aunque los criterios de inclusión fueron los mismos para los tres subgrupos de DEA, el DEA1 fue el que mostró mejor desempeño teniendo puntuaciones semejantes al BDA2 e incluso algunas dentro del intervalo más alto; llama la atención que la calificación más baja fue en el Manejo Numérico y no en las dos subpruebas que se tomaron como criterios de inclusión para ser DEA. El subgrupo DEA2 tuvo un desempeño con puntuaciones aún más bajas que el anterior, predominando los puntajes del segundo y tercer intervalo. Las subpruebas con puntuaciones más bajas que DEA fueron las de Precisión de la Lectura, Manejo Numérico y Cálculo. Finalmente, el desempeño del subgrupo DEA3 fue el más bajo en la mayoría de las subpruebas aplicadas.

Después de diferenciar estadísticamente los grupos BDA y DEA, así como identificar los diferentes subtipos neuropsicológicos en los niños BDA y en los DEA y teniendo en cuenta sólo las variables cognitivas y no las académicas, se trató de encontrar aquellas variables que pudieran ser más útiles para alertar sobre problemas en el desempeño académico.

Tabla 7. Agrupaciones de la prueba de comparaciones múltiples de rangos e intervalos de los promedios en puntajes escalares para cada subgrupo.

	BDA1	BDA2	DEA1	DEA2	DEA3
Índice de Comprensión Verbal	A	AB	AB	BC	C
Índice de Razonamiento Perceptual	A	B	B	B	B
Índice de Memoria de Trabajo	A	A	AB	B	B
Índice de Velocidad en el Procesamiento	A	A	AB	AB	B
Cociente de Inteligencia Total	A	B	B	C	C
Precisión en la Lectura	A	A	B	C	C
Comprensión en la Lectura	A	B	B	C	C
Velocidad en la Lectura	A	B	B	BC	C
Precisión en la Escritura	A	A	B	B	B
Composición Narrativa	A	AB	B	B	C
Manejo Numérico	A	A	B	B	B
Cálculo	A	A	B	BC	C
Resolución de Problemas	A	AB	BC	BC	C
Evocación Auditiva	A	AB	A	AB	B
Codificación Visual	A	A	A	A	B
Evocación Visual	A	B	A	B	B
Atención Visual	BC	AB	A	AB	C
Habilidades Metalingüísticas	A	A	AB	BC	C

Intervalos de los promedios en puntajes escalares para cada grupo

≥100 **90 a 99** **89-80** **≤79**

Las letras (A, B o C) indican la pertenencia a cada grupo homogéneo estadísticamente. Las diferencias en el sombreado representan el intervalo de los promedios de cada grupo en las diferentes subpruebas con el fin de realizar un mejor análisis de la clasificación estadística.

Dentro de éstas fue posible identificar por medio de una representación gráfica de los promedios, tanto del WISC-IV como de la ENI, aquellas variables que distinguían mejor los subgrupos (figura 19). El Índice de Memoria de Trabajo del WISC-IV y las Habilidades Metalingüísticas de la ENI, fueron las que mejor diferenciaron a los subgrupos BDA de los DEA ya que los puntajes en estas medidas de ambos subgrupos BDA fueron muy parecidos entre sí y el grupo DEA más cercano a ellos fue el 1. Por otro lado el Cociente

Intelectual Total, que es la medida más confiable de la escala Wechsler, no logró discriminar entre los grupos BDA y DEA. En cuanto a la ENI, se puede observar que las Habilidades Metalingüísticas fue la variable que distinguió de mejor manera los grupos BDA y DEA, ya que los subgrupos de buen desempeño académico se localizaron dentro de los puntajes más altos en comparación con los niños con trastorno en el aprendizaje.

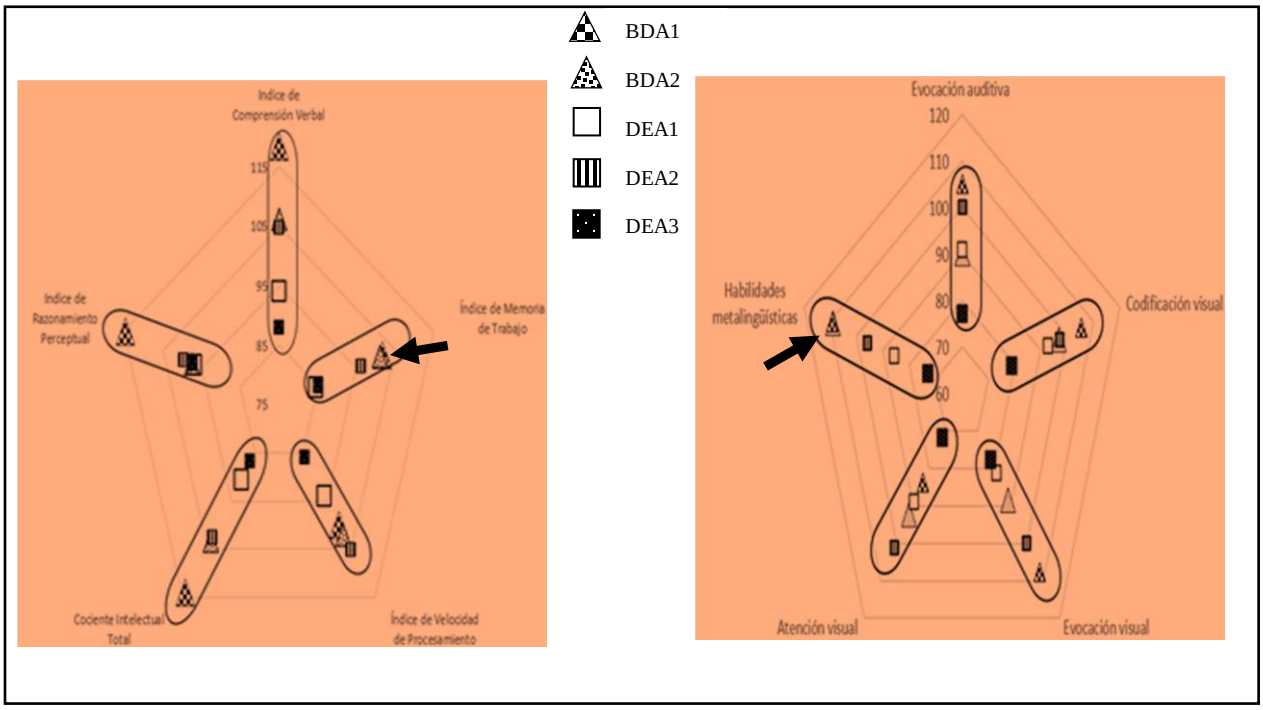


Figura 19. Representación gráfica de los promedios del WISC y la ENI**.** A la izquierda aparece la representación gráfica de los promedios del WISC-IV en cada subprueba (intervalo de 75-125) y a la derecha, la de aquellas subpruebas de la ENI (intervalo 60-120) que mostraron diferencias significativas entre los subgrupos. Los subgrupos BDA están representados por triángulos y los DEA por cuadrados con un tramado distinto.

4.2 Adquisición y análisis de imágenes de RMf

Los registros de resonancia magnética tanto estructural como funcional se llevaron a cabo en un resonandor de Philips de 3 Teslas en la Unidad de Resonancia Magnética del Instituto de Neurobiología, UNAM, Campus Juriquilla, Querétaro, México. Los estudios se realizaron utilizando una antena de encéfalo, con imágenes ecoplanares (EPI) ponderadas en eco de gradiente mediante la técnica BOLD en planos axiales con un TE de 40 mseg, un TR de 2000 mseg y un ángulo de desviación de 90. Las secuencias EPI

se sobrepondrán en secuencias T1 (con mayor resolución espacial), para hallar las zonas de activación durante el desarrollo de las tareas. Se analizaron los resultados de activación cerebral de la técnica de RMF ante tareas propuestas para la evaluación de los diferentes elementos que conforman las dos funciones psicológicas a evaluar (lectura y cálculo), con el fin de realizar una comparación en y entre grupos para discriminar el patrón de activación y las posibles discrepancias en y entre los grupos. El procesamiento-análisis se realizó por medio del software FSL **5.0** (FMRIB Software Library, (Jenkinson et al., 2012) el cual consiste en una amplia biblioteca de herramientas para el análisis de DTI, Resonancia magnética tanto estructural como funcional. El programa FSL incluye el programa FEAT el cual es un software de alta calidad el cual analiza los datos de resonancia magnética con una interfase gráfica de fácil acceso. El FEAT se basa en el modelo lineal general conocido también como de regresión múltiple para el modelado de los datos de RMF, ofreciendo en última instancia las áreas de activación cerebral en respuesta de los estímulos.

Dentro del FEAT podemos realizar un análisis de los datos obtenidos durante la RMF en dos niveles a saber: El primero conocido como FILM (FMRIB's improved linear model) o análisis de primer nivel (1 individuo), el cual utiliza una sólida y precisa estimación no paramétrica de la correlación de las series temporales del paradigma hacia la serie de tiempo de cada uno de los voxeles. El segundo análisis es de alto nivel (grupo): En el programa FEAT se brinda la posibilidad de realizar el modelado de alto nivel tanto por medio de efectos fijos (FE por sus siglas en inglés) como de efectos Mixtos (ME por sus siglas en inglés). El primero es más sensible a la activación en comparación del ME, sin embargo, está restringido en las inferencias que se pueden hacer de los resultados, ya que ignora la variación entre sesiones/sujetos. Por otro lado, ME sí modela la variabilidad de la sesión/sujeto, y por lo tanto permite que se haga inferencia sobre la población más amplia. Dentro del modelado ME encuentran dos opciones para el modelado de los datos. La primera es la de mínimos cuadrados ordinarios (OLS por sus siglas en Inglés) y la segunda es el denominado FLAME (FMRIB's Local Analysis of Mixed Effects), el cual compara varios estudios ya sea intra o intersujeto usando métodos sofisticados de modelación y estimación de los efectos aleatorios de las medidas en los múltiples

estudios de los sujetos participantes. Dentro de la investigación se realizó un análisis OLS para todas las tareas y se utilizó una comparación-diferencia entre dos grupos independientes (two simple unpaired T-test). Las imágenes fueron registradas al espacio estándar MNI152 y la corrección fue llevada a cabo usando el análisis por cluster (lectura de palabras: voxel $z > 1.9$, $p < .05$; lectura de pseudopalabras: voxel $z > 1.8$, cluster $p < .05$; comparación de números: voxel $z > 1.9$, cluster $p < .05$ y sumas: voxel $z > 1.8$, cluster $p < .05$).

4.2.1 Lectura de palabras

Dentro de la tarea de lectura de palabras se realizó una comparación entre ambos grupos, tanto BDA como DEA. Los correlatos neurales en la lectura de palabras se muestran en la tabla 8. En la primera parte se muestra el grupo BDA, en la siguiente el grupo DEA. Posteriormente los contrastes BDA en comparación del DEA y viceversa. En el anexo 1 se pueden encontrar las tablas con las áreas de activación pormenorizado.

Tabla 8. Correlatos neurales de la lectura de palabras en los diferentes grupos

Índice cluster	**Voxels**	**Z**	**x**	**y**	**z**	**Localización**
BDA						
7	7169	4.4	-18	-90	-12	Giro fusiforme izquierdo
6	1887	3.82	-40	-4	50	Giro precentral izquierdo
5	1129	4.22	-30	20	12	Corteza frontal opercular izquierda
4	1064	3.5	-8	-76	44	Precúneo izquierdo
3	766	4.81	-30	-10	-16	Lóbulo temporal- hipocampo izquierdo
2	720	4.61	36	18	-12	Ínsula derecha
1	424	4.27	2	-28	28	Giro del cíngulo derecho, división anterior.
DEA						
6	2982	4.33	-26	28	2	Corteza orbital izquierda
5	1041	4.24	-12	-96	-4	Polo occipital izquierdo
4	1024	4.2	-2	20	50	Giro frontal superior izquierdo
3	1019	4.18	30	28	-2	Corteza orbital derecha
2	436	3.94	-34	-62	40	Corteza occipital lateral en su porción superior- giro angular- supramarginal
1	379	3.46	12	-76	-2	Giro lingual derecho.
Correlatos neurales de la lectura de palabras obtenidos en el contraste BDA> DEA.						
2	2473	4.1	-8	-56	-36	Cerebelo IX izquierdo
1	858	3.28	4	-42	-2	Giro cingulado derecho región posterior
Correlatos neurales de la lectura de palabras obtenidos en el contraste DEA> BDA						
1	491	3.23	-62	8	18	Giro precentral izquierdo BA44

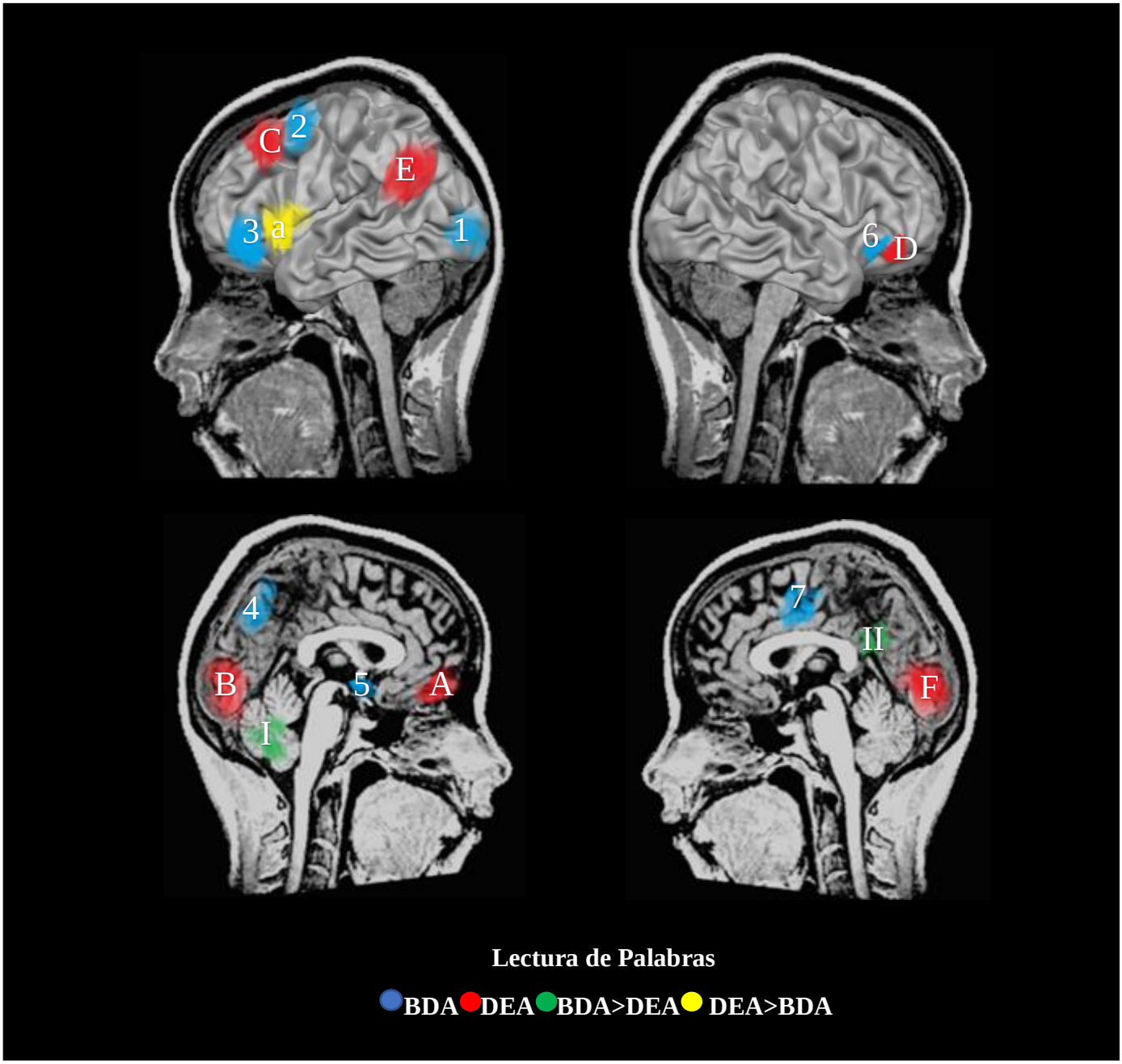


Figura 20. Representación gráfica de los correlatos neurales implicados en la lectura de palabras tanto en el grupo de BDA (azul), DEA (rojo) y los contrastes BDA>DEA (verde) y DEA>BDA (amarillo). Las áreas son sólo ilustrativas y para mejorar la comprensión de los resultados en dicha tarea.

En la figura 20 se presenta la representación de cada una de las áreas implicadas en la lectura de palabras en el grupo BDA por medio de números: 1) giro fusiforme izquierdo, 2) giro precentral izquierdo, 3) corteza frontal opercular, 4) precúneo izquierdo, 5) lóbulo temporal (Hipocampo izquierdo), 6) corteza insular derecha y 7) giro cíngulado derecho

en su porción anterior. Por medio de letras mayúsculas se representan las áreas involucradas en la lectura de palabras en el grupo DEA: A) corteza orbital izquierda, B) polo occipital izquierdo, C) giro frontal superior izquierdo, D) corteza orbital derecha, E) giro angular-supramarginal izquierdo y F) giro lingual derecho. En el contraste BDA>DEA las áreas involucradas se representan con números romanos: I) Cerebelo IX izquierdo y II) giro cíngulado derecho en su porción posterior. Por último, en el contraste DEA>BDA las áreas involucradas son expresadas en letras minúsculas: a) giro precentral izquierdo (área 44).

4.2.2 Lectura de pseudopalabras

Dentro de la tarea de lectura de pseudopalabras se realizó también una comparación entre ambos grupos. Los correlatos se muestran en la tabla 9. En la primera parte se muestran los resultados del grupo BDA, en la siguiente parte los resultados del grupo DEA. En el final de la tabla se encuentra el resultado de DEA>BDA. . En el anexo 2 se pueden encontrar las tablas con las áreas de activación pormenorizado.

Tabla 9. Correlatos neurales de la lectura de pseudopalabras en los diferentes grupos

Índice Cluster	Voxels	Z	x	y	z	Localización
BDA						
5	6309	5.2	-58	6	22	Giro precentral
4	6282	4.71	14	-84	-10	Giro lingual derecho BA18
3	3887	4.59	-4	18	46	Giro paracingulado izquierdo BA 8
2	1392	4.3	34	20	-10	Corteza motora suplementaria izquierda – BA13
1	748	3.69	-4	-30	2	tálamo izquierdo
DEA						
4	14331	4.85	42	16	-4	Corteza Insular derecha, BA13
3	7511	5.16	20	-92	-2	Polo Occipital BA18
2	880	3.55	-48	-24	-8	Giro temporal medio izquierdo, giro temporal superior.
1	464	3.78	50	40	30	Polo frontal derecho
Correlatos neurales de la lectura de pseudopalabras obtenidos en el contraste DEA> BDA						
1	515	3.84	22	36	56	Polo frontal- giro frontal superior derecho BA6

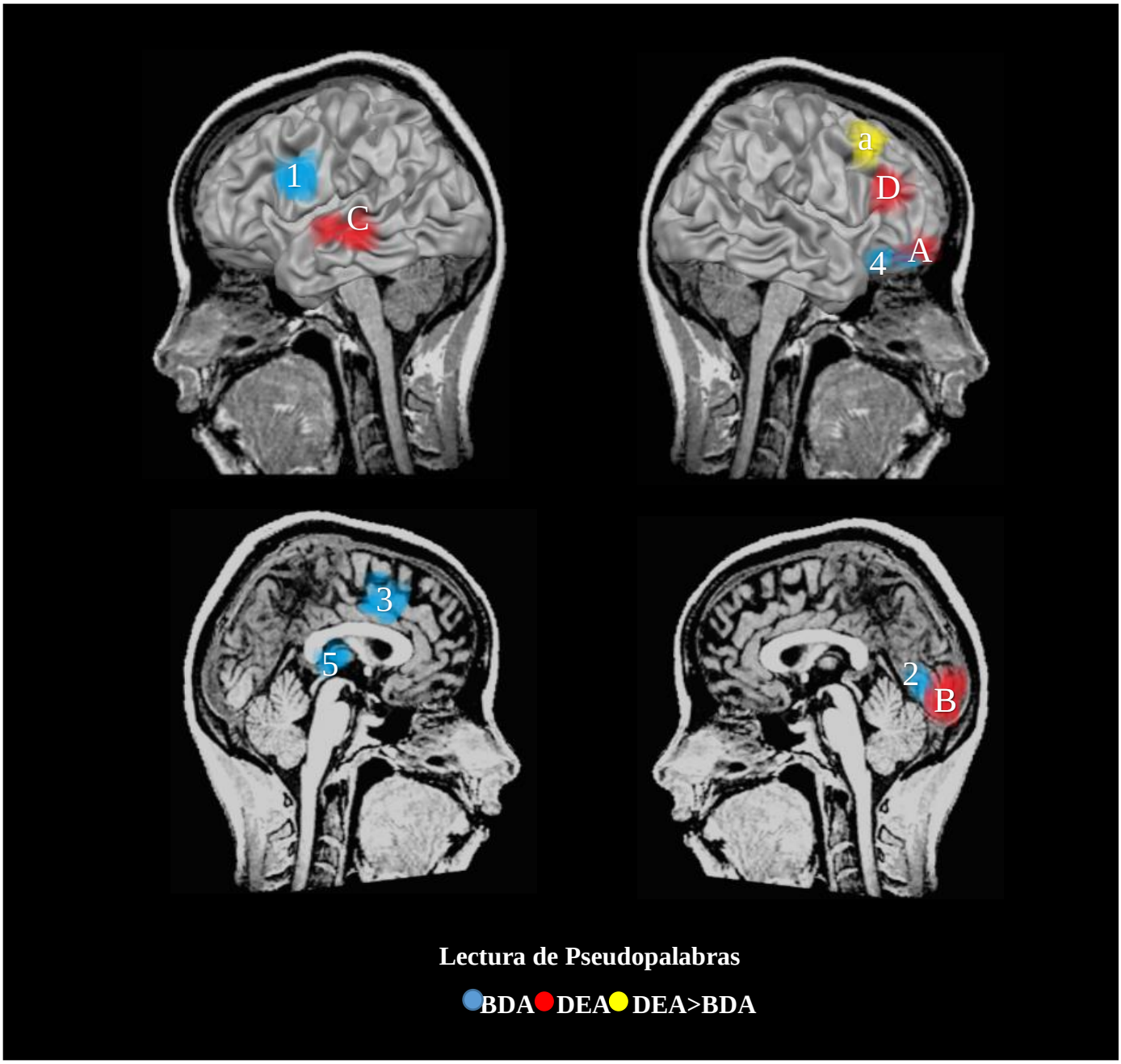


Figura 21. Representación gráfica de los correlatos neurales implicados en la lectura de pseudopalabras tanto en el grupo de BDA (azul), DEA (rojo) y el contraste DEA>BDA (amarillo). Las áreas son sólo ilustrativas y para mejorar la comprensión de los resultados obtenidos en la tarea.

Se presenta la descripción de cada una de las áreas implicadas en la lectura de palabras en el grupo BDA por medio de números: 1) giro precentral izquierdo, 2) giro lingual derecho, 3) giro paracingulado izquierdo, 4) corteza motora suplementaria derecha-insular y 5) tálamo izquierdo.

Por medio de letras mayúsculas se representan las áreas involucradas en la lectura de palabras en el grupo DEA: A) corteza insular derecha, B) polo occipital derecho, C) giro temporal medio izquierdo y D) polo frontal derecho. Por último, en el contraste DEA>BDA las áreas involucradas son expresadas en letras minúsculas: a) polo frontal- giro frontal superior derecho.

4.2.3 Comparación de números

Dentro de la tarea de comparación de números se realizó también un cotejo entre ambos grupos. Los correlatos neurales se muestran en la tabla 10. En la primera parte se muestran los resultados del grupo BDA, en la siguiente parte el grupo DEA. Posteriormente los resultados del contraste DEA >BDA. . En el anexo 3 se pueden encontrar las tablas con las áreas de activación pormenorizado.

Tabla 10. Correlatos neurales de la comparación de números en los diferentes grupos

Cluster Index	Voxels	Z	x	y	z	Localización
BDA						
6	13554	4.78	34	-80	-6	Corteza occipital lateral en su porción inferior derecha. BA 19
5	1881	4.48	-6	22	44	Giro paracingulado izquierdo, BA 8
4	1176	4.11	-50	6	28	Giro precentral izquierdo- giro frontal inferior, par opercular BA 6
3	602	4.51	36	18	4	Corteza Insular derecha, BA13
2	595	3.95	-32	26	2	Corteza Insular izquierda, BA13
1	578	4.06	-8	4	4	Caudado izquierdo
DEA						
1	49467	5.63	34	-84	6	Corteza occipital lateral porción inferior derecha, BA 18
Correlatos neurales de la comparación de números obtenidos en el contraste DEA> BDA						
4	502	3.87	0	-20	-10	Mesencéfalo
3	377	3.38	-24	-26	38	Fascículo longitudinal superior izquierdo
2	350	3.8	-40	-62	16	Corteza occipital lateral en su porción inferior-izquierda, giro angular
1	342	3.19	-12	-40	4	54% left hippocampus, ba 30

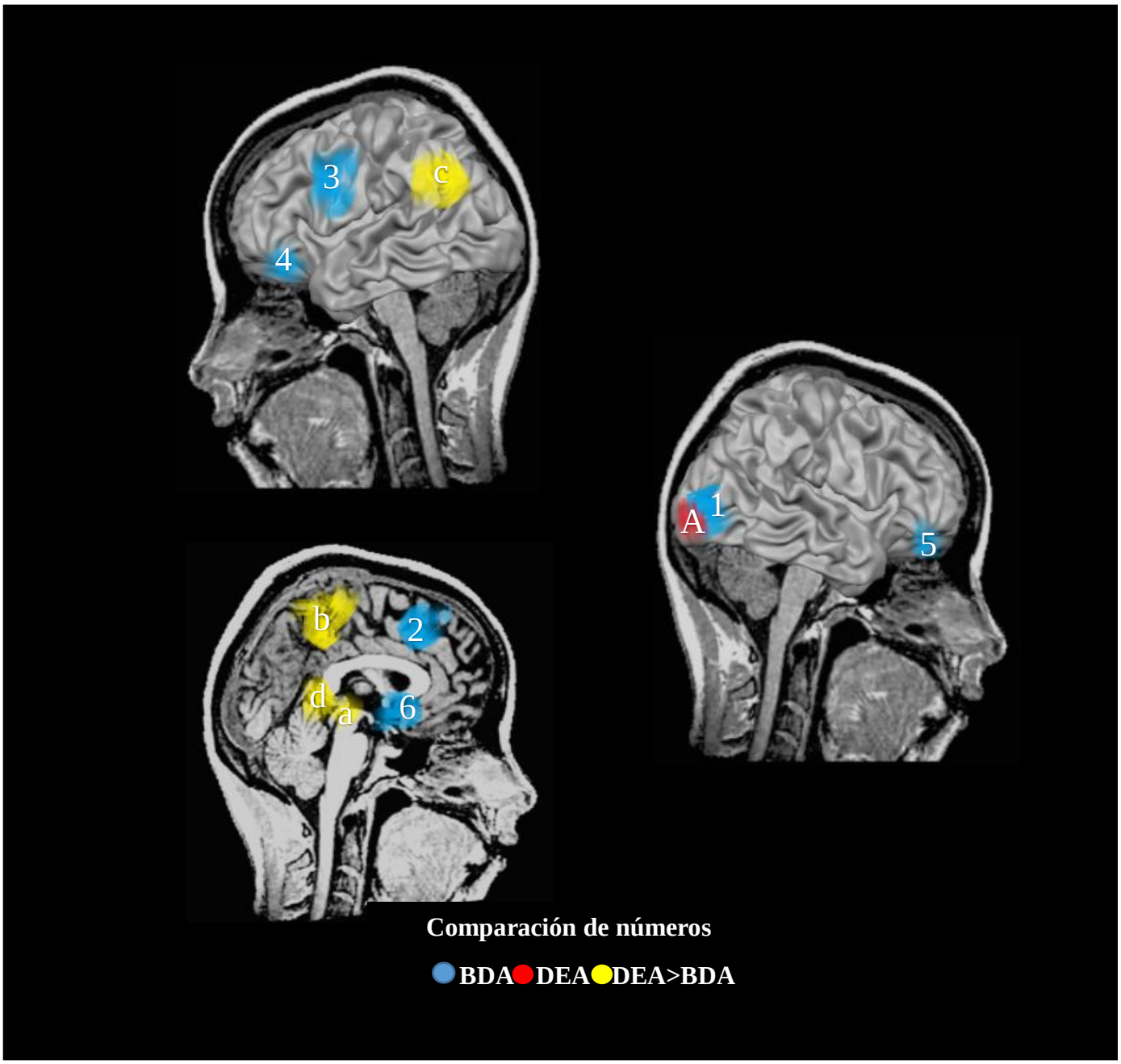


Figura 22. Representación gráfica de los correlatos neurales implicados en la comparación de números tanto en el grupo de BDA (azul), DEA (rojo) y el contraste DEA>BDA (amarillo). Las áreas son sólo ilustrativas y para mejorar la comprensión de los resultados obtenidos en la tarea.

Se presenta la descripción de cada una de las áreas implicadas en la comparación de números en el grupo BDA por medio de números: 1) corteza occipital lateral en su porción inferior derecha, 2) giro paracingulado izquierdo, 3) giro precentral izquierdo-giro frontal inferior, 4) corteza insular derecha, 5) corteza insular izquierda y 6) caudado izquierdo. Por medio de letras mayúsculas se representan las áreas involucradas en la comparación

de números en el grupo DEA: A) corteza occipital lateral porción inferior derecha. En el contraste DEA>BDA las áreas involucradas son expresadas en letras minúsculas: a) mesencéfalo, b) fascículo longitudinal superior izquierdo, c) corteza occipital lateral en su porción inferior izquierda-giro angular e d) hipocampo derecho.

4.2.4 Suma de números

Dentro de la tarea de suma de números se realizó también una comparación entre ambos grupos. Los resultados se muestran en la tabla 11. En la primera parte se muestra el correlato neural del grupo BDA, en la siguiente parte el del grupo DEA. Posteriormente los resultados en el contraste DEA>BDA.

Tabla 11. Correlatos neurales de la suma de números del grupo BDA

Índice Cluster	Voxels	Z	x	y	z	Localización
1	38987	5.29	-42	-82	-2	Corteza occipital lateral en su porción inferior, BA 19
Correlatos neurales de la comparación de números del grupo DEA						
1	41757	5.38	28	16	14	Corteza opercular derecha
Correlatos neurales de la suma de números obtenidos en el contraste DEA> BDA						
1	545	3.02	-34	-72	30	Corteza occipital lateral en su porción superior izquierda

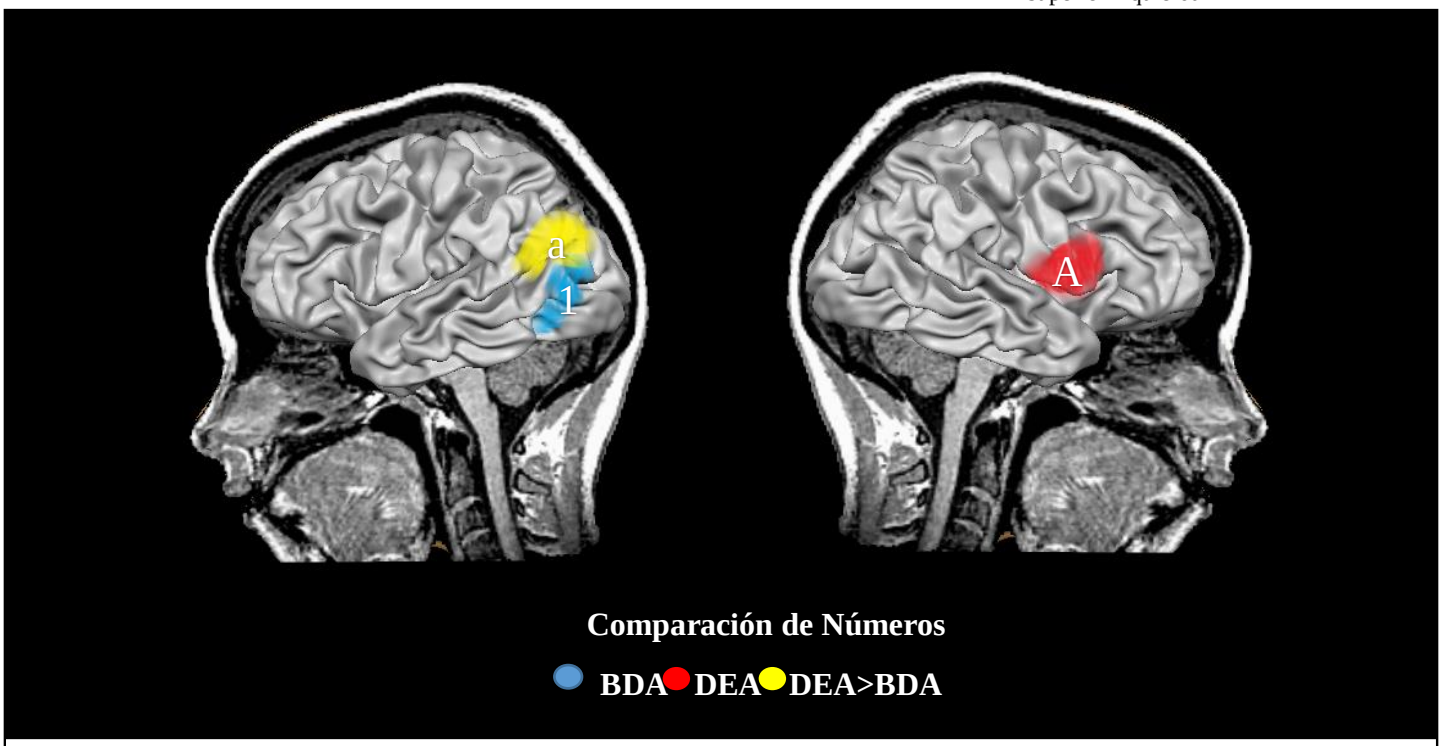


Figura 23. Representación gráfica de los correlatos neurales implicados en la Suma de números tanto en el grupo de BDA (azul), DEA (rojo) y el contraste DEA>BDA (amarillo). Las áreas son sólo ilustrativas y para mejorar la comprensión de los resultados obtenidos en la tarea.

Se presenta la descripción de cada una de las áreas implicadas en la suma de números en el grupo BDA, por medio de dígitos: 1) corteza occipital lateral en su porción inferior. Por medio de letras mayúsculas se representan las áreas involucradas en la suma de números en el grupo DEA: A) corteza opercular derecha. En el contraste DEA>BDA las áreas involucradas son expresadas en letras minúsculas: a) corteza occipital lateral en su porción superior izquierda.

4.2.5 Descripción de los contrastes

Lectura de palabras

Contraste BDA>DEA

El correlato neural en el grupo BDA mayor que DEA en la lectura de palabras se encontró en el cerebelo del lado izquierdo en el lóbulo IX, además el crus I, el cerebelo en los lóbulos I-IV del lado derecho. Adicionalmente el segundo índice clúster mostró la correlación neural en la corteza cingulada en su porción posterior bilateralmente, además del precúneo izquierdo.

Contraste DEA>BDA

El correlato neural en el grupo DEA mayor que BDA en la lectura de palabras se halló en el giro precentral y el giro frontal medio, ambos del lado izquierdo. Dicho clúster abarca las áreas de Brodmann: 4, 6, 9, y 44, en la lectura de palabras.

Pseudopalabras

Contraste DEA>BDA

El contraste DEA>BDA reveló las correlaciones neurales en el polo frontal derecho, el giro frontal medio y el giro frontal superior del hemisferio derecho.

Cabe resaltar que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el contraste BDA>DEA en la misma tarea.

Comparación

Contraste DEA>BDA

Para este contraste BDA, en el cuarto clúster, se encontró una correlación neural en la ejecución de la comparación de números en el tallo cerebral a nivel del mesencéfalo bilateralmente, el globo pálido izquierdo y el hipocampo. En el tercer clúster, la correlación se encontró en fascículo longitudinal superior del lado izquierdo, el giro cingulado en su parte posterior, bilateralmente, pero con muchas más áreas de activación del lado izquierdo. El segundo mostró la correlación de la corteza lateral occipital izquierda en su porción superior e inferior, además del polo occipital izquierdo. En el último índice clúster se encontró el hipocampo y el tálamo izquierdo, también el cerebelo en los lóbulos I-IV y el giro lingual, estas dos estructuras del lado derecho.

Cabe resaltar que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el contraste BDA>DEA en la misma tarea.

Sumas

Contraste DEA>BDA

En este contraste se halló la correlación neural con la realización de la suma de números en la corteza occipital lateral izquierda en su porción superior, el giro cíngulado izquierdo y el precúneo izquierdo.

Cabe resaltar que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el contraste BDA>DEA en la misma tarea.

5. Discusión

5.1 Pruebas neuropsicológicas

En los resultados obtenidos se observó que los grupos de niños de BDA y con DEA presentaron diferencias significativas, no sólo en las variables tomadas como criterios de inclusión sino también en la mayoría de las variables del WISC-IV y de la ENI, con excepción del Índice Velocidad de Procesamiento (WISC), conteo, Memoria Auditiva en ambas fases (codificación/evocación), Atención Auditiva y Atención Visual (ENI).

En los índices restantes del WISC-IV (Comprensión Verbal, Memoria de Trabajo, Razonamiento Perceptual y Cociente Intelectual Total), se encontró que el grupo DEA tuvo puntaciones más bajas en comparación del grupo BDA, lo cual es sugestivo de una alteración cognitiva general más que específica. En este sentido, en la escala Wechsler se menciona que aquellos niños en los que coexisten los trastornos del aprendizaje de la lectura, de la escritura y del cálculo, tienen las puntuaciones de los índices significativamente menores que los niños con buen desempeño académico; sin embargo, no se aclaran las tendencias específicas de cada índice en los niños con DEA (Wechsler, 2007b).

Por otro lado, la falta de diferenciación entre los grupos respecto al Índice de Velocidad de Procesamiento pudiera indicar por una parte, que éste no es un componente cognitivo afectado en los DEA y por la otra, dado que las subpruebas que integran este índice tienen un fuerte componente de atención visual, sugiere que este dominio en específico, se encuentra conservado. De hecho, en análisis de los resultados obtenidos en la ENI es congruente con lo anterior, ya que la prueba de Atención Visual no evidenció diferencias significativas entre los grupos. Adicionalmente, la Memoria y la Atención Auditiva de la ENI tampoco fueron variables que diferenciaran los grupos BDA y DEA. En este contexto, la desventaja observada en el Índice de Memoria de Trabajo del WISC-IV, pudiera sugerir un compromiso en el grupo DEA en el funcionamiento ejecutivo más que en el componente mnémico de las tareas que lo integran. Por otra parte, el hecho de que el

grupo DEA, además de los problemas de Precisión de Lectura y Cálculo ya señalados, tuviera puntajes significativamente más bajos en casi todas las subpruebas de desempeño académico, a excepción del Conteo, apoya el planeamiento de que se trata de una alteración cognitiva mucho más general.

Con el fin de caracterizar el funcionamiento de los dos subgrupos, fue interesante buscar dentro de cada uno de los subdominios cognitivos de la lectura y el cálculo. En este análisis fue posible observar, que en la precisión de la lectura ambos grupos presentaban peor desempeño y mejores puntajes en relación con los demás subdominios de la lectura. Estos datos pueden sugerir que ambos grupos muestran una curva de efectividad muy similar (en relación con la peor efectividad en la precisión y mejor desempeño en los demás subdominios) y que al contrario de lo que se ha postulado en idiomas con ortografía transparente, en nuestro caso el español, no necesariamente la precisión de la lectura es el elemento con mayor grado de desarrollo y efectividad en la lectura, en comparación de la velocidad en la lectura (Castejón, González-Pumariega & Cuetos, 2011) ya que se ha postulado que es fundamental el trabajo de codificación para adquirir el correcto desempeño ortográfico (Alegría, 2006). De esta última idea aparece un concepto fundamental para poder entender el problema que sucede en el grupo DEA, que es el de fluidez, la cual es entendida como la capacidad de leer de manera precisa, rápida y sin esfuerzo (Wolf y Katzir-Cohen, 2001) (Castejón, González-Pumariega & Cuetos, 2011).

Esta definición de fluidez indica que uno de los parámetros fundamentales en la lectura es la precisión, situación que en el grupo DEA se vio claramente afectado, en mayor medida en su procesamiento de pseudopalabras y de palabras poco conocidas dentro de un texto. Se observó también que en ambos grupos existió una diferencia estadísticamente significativa entre precisión y la velocidad de la lectura. Se ha mencionado que la velocidad en la lectura es el parámetro más importante a tomar en cuenta en un idioma trasparente (Wimmer, 2010), sin embargo, como fue evidente en el grupo DEA en la lectura de textos la velocidad apareció con buen desempeño, sin embargo la precisión en la lectura en voz alta se vio plagada de errores, es decir la fluidez se vio afectada (precisión+velocidad).

Esto nos puede indicar que dentro de este grupo de niños la existencia de problemas fonológicos es el que impera, más que un problema de tipo ortográfico, este hecho se puede confirmar por el hecho de que tanto la velocidad como la comprensión no aparecieron tan afectadas en comparación de la precisión, lo cual pudiera explicarse por medio del trabajo con recursos visuales de identificación de palabras, lo que tal vez compense las alteraciones de tipo fonológico. Cabe destacar que dentro de los criterios de inclusión sólo se tomó en cuenta la precisión de la lectura debido a la mayor cantidad de niños que se encontraron con estas fallas dentro de todos los niños con DEA, pero no se consideró a la velocidad. Con los datos hasta aquí expuestos es importante considerar el hecho de que los niños en lengua española también pueden presentar como patrón de déficit una alteración en la precisión y no en la velocidad.

En otro orden de ideas, en lo que respecta al desempeño matemático, el grupo BDA obtuvo mucho mejores resultados en comparación del grupo DEA, con el mejor desempeño en lo que respecta al conteo y el dominio de razonamiento matemático. En lo que respeta al grupo TAE, fue posible observar que en general se obtuvieron puntuaciones extremadamente pobres, pero el peor desempeño fue observado en las subpruebas de serie directa y cálculo mental. Dichas pruebas requieren del uso importante de la memoria de trabajo auditiva. En este sentido, se postula dentro del desarrollo de habilidades matemáticas un modelo que trata de explicar tanto el adecuado desempeño de las habilidades matemáticas, así como de sus dificultades (figura 18). En este modelo se plantea que la transición entre la discriminación de la cantidad concreta (cardinalidad) al conteo por medio de elementos lingüísticos (palabras que designan números, p.ej. uno, dos…) se va creando en la transición entre la infancia temprana y la edad preescolar. Posteriormente, en la etapa escolar (tercera etapa), se adquiere la capacidad de traducir el código lingüístico hacia los números arábigos (p.ej. 1, 2 …), con las respectivas operaciones aritméticas que se puede realizar con los mismos. Estas operaciones se realizan al inicio por escrito, iniciándose la adquisición de los hechos matemáticos. La etapa final en la adquisición de las competencias matemáticas hace referencia a la consolidación del pensamiento matemático y al uso eficiente de competencias matemáticas en forma verbal con la adquisición y manejo pleno de hechos

matemáticos. Se menciona que en cada etapa se pueden evidenciar alteraciones en la adquisición de las matemáticas, por ejemplo si en la primera etapa no existe un desarrollo adecuado no permitirá asociar el rubro concreto con una representación verbal. Si esto se da permitirá iniciar con la comprensión de la línea numérica y las competencias aritméticas, en caso contrario existirán fallas en la adquisición de operaciones aritméticas y en el manejo de cantidades. Este mismo modelo menciona que ante niños que presenten comorbilidad en problemas de lenguaje oral o dislexia y problemas en la adquisición de competencias matemáticas, el problema pudiera estar relacionado con el manejo y almacenaje de la información auditiva, en especial la memoria de trabajo verbal. En el modelo (figura 23) es posible observar que mientras mayor es el desarrollo mayor es el uso de memoria de trabajo que se requiere para un adecuado funcionamiento matemático. En este sentido, cabe resaltar que en lo niños del grupo DEA fue posible observar dificultades en la conversión de las palabras al código gráfico y viceversa, pero lograron acceder de mejor manera al trabajo de ordenamiento de cantidades y a realizar una suma de un número constante, ambas tareas relacionadas con la adquisición de la línea numérica imaginaria. Como ya se mencionó tanto la serie inversa y el cálculo mental fueron las dos subpruebas con peor desempeño, con un manejo importante de la memoria de trabajo.

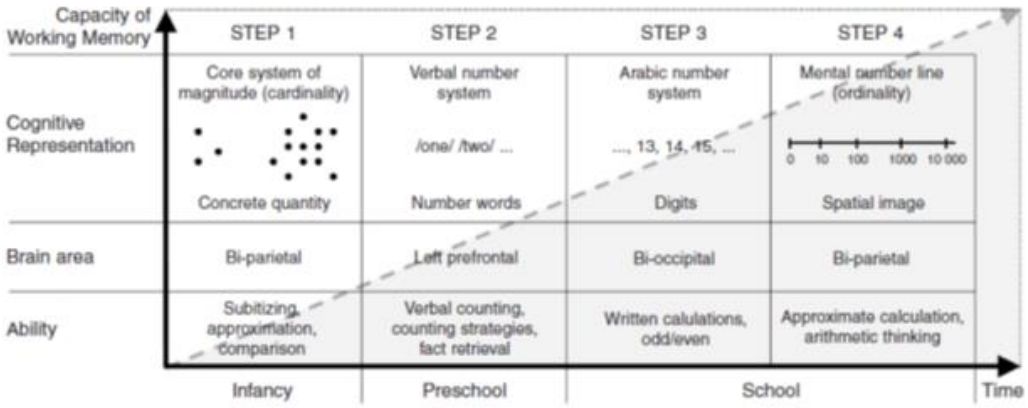


Figura 23. Modelo de 4 pasos en el desarrollo de la cognición numérica. En el modelo se observa el mayor empleo de la memoria de trabajo en cuanto se va avanzando en el desarrollo de competencias matemáticas (Von Aster & Shalev, 2007).

5.1.1 Revisión de la heterogeneidad en los grupos BDA y DEA

A partir de la observación relacionada con la fluctuación de resultados en los grupos, se identificaron subtipos neuropsicológicos en cada uno de ellos. Esto es, aun cuando los criterios de inclusión diferenciaban claramente a los niños con BDA y con DEA, se pudieron distinguir subgrupos en los mismos que presentaban diferente nivel de eficacia en su desempeño.

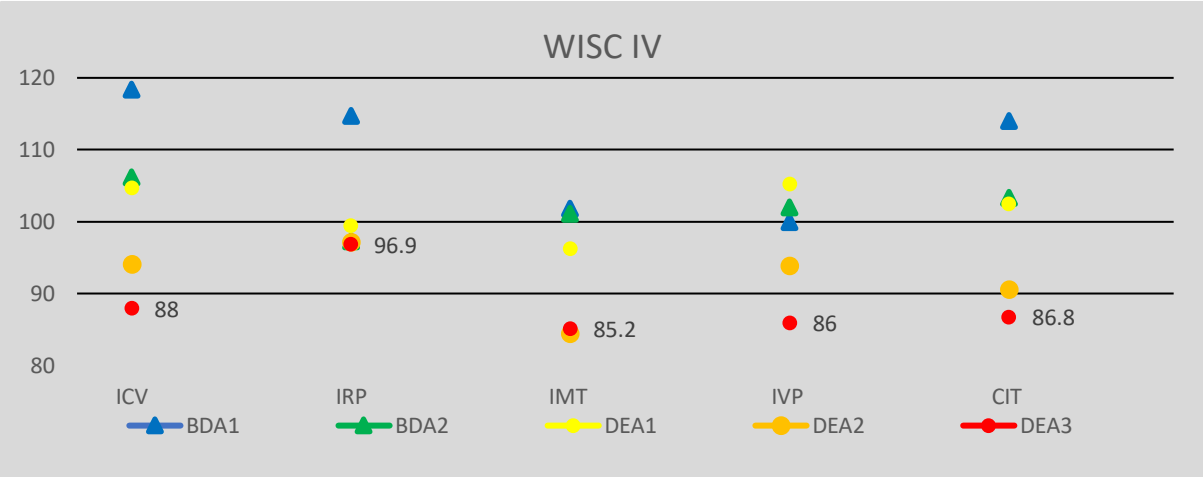


Figura 24. Resultados de los promedios de la escala WISC para cada subgrupo. Índice de Comprensión Verbal (ICV), Índice de Razonamiento Perceptual (IRP), Índice de Razonamiento Perceptual (IRP), Índice de Memoria de Trabajo (IMT), Índice de Velocidad de Procesamiento y Cociente Intelectual Total (CIT).

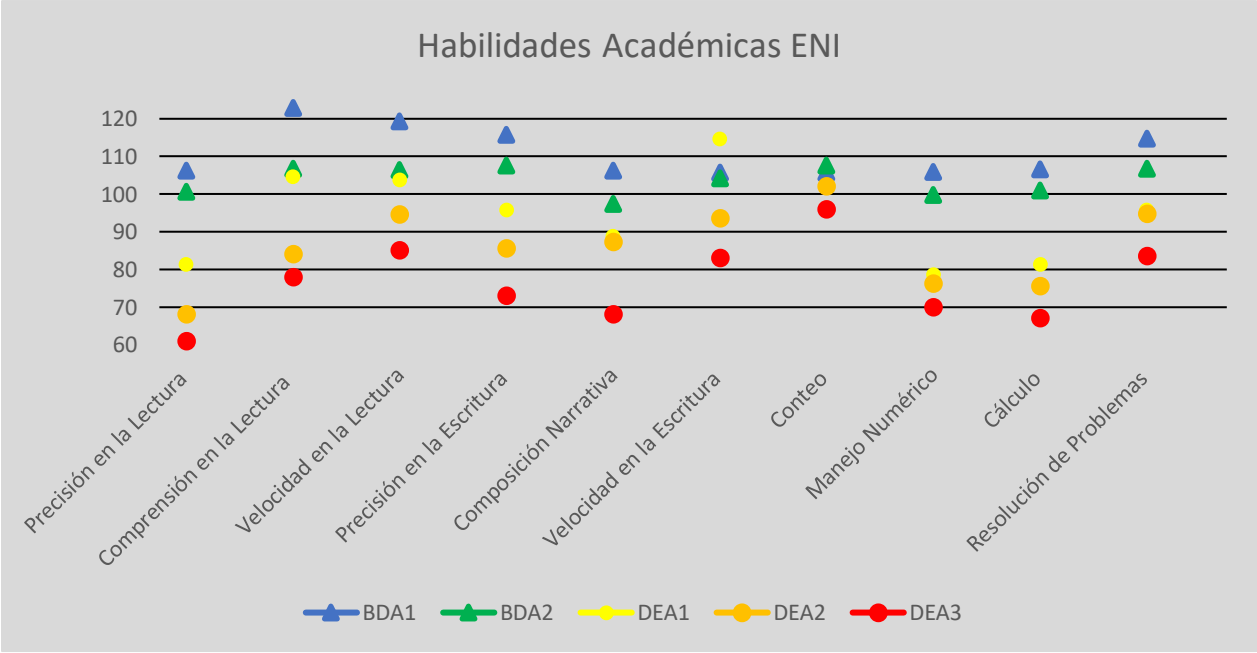


Figura 25. Resultados de los promedios de los dominios de habilidades Académicas de la ENI.

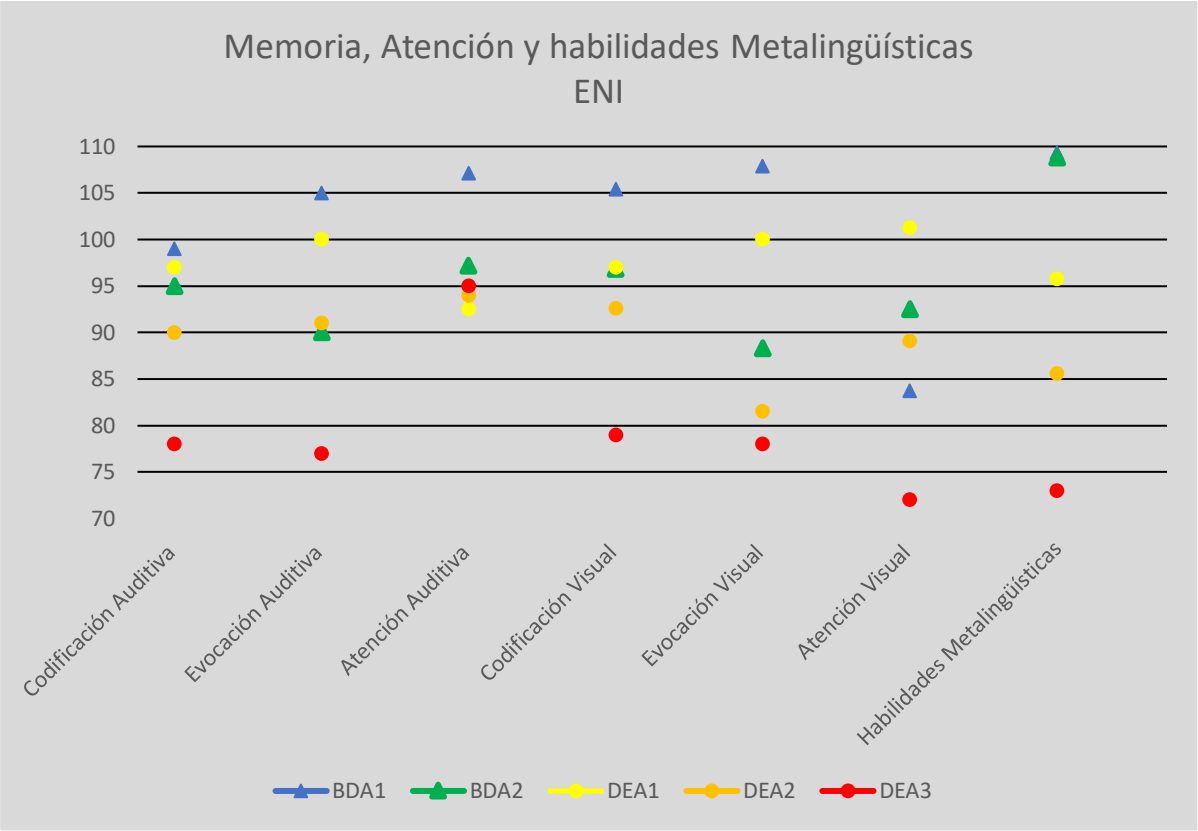


Figura 26. Resultados de los promedios de los dominios de Memoria, Atención y Habilidades Metalingüísticas.

El subgrupo BDA1 se caracterizó por mostrar las puntuaciones mayores en todas las subpruebas en comparación de los demás subgrupos, incluso el BDA2, con excepción de la Atención Visual. Las puntuaciones en las subpruebas de dicho grupo se hallaban ≥ a la puntuación escalar de 100 a excepción atención visual. En la escala WISC el puntaje más alto estuvo relacionado con el ICV. El puntaje más bajo se encontró en el IVP, un dato que puede estar relacionado con el resultado bajo de atención Visual de la ENI, ya que el IVP implica una medida de la capacidad para explorar, secuenciar o discriminar información visual simple, además de que valora también la memoria visual a corto plazo y de forma importante la atención visual (Wechsler, 2007b). En cuanto a la ENI en el apartado de habilidades de académicas, en la lectura se observó un excelente desempeño en todas las subpruebas, con mejor desempeño en la comprensión de la lectura; en la escritura también fue posible observar que se obtuvo el mejor resultado en precisión de la escritura y con un dato interesante al puntuar por debajo del subgrupo

DEA1 en velocidad de la escritura; dicho dato no necesariamente tiene que ver con la calidad en la escritura de un texto, ya que sí lo contrastamos con la coherencia narrativa (la cual mide conexidad sintáctica y cohesión, complejidad pragmática y volumen de la información recabada en el texto) nuevamente el subgrupo BDA1 obtiene mejores resultados, relacionado tal vez con su memoria a corto plazo (operativa) de tipo auditivo. En el dominio de aritmética se halló un mejor desempeño en la subprueba de problemas aritméticos, lo cual se puede relacionar con mejores capacidades en el manejo de la información auditiva y la comprensión del lenguaje como ya se revisó en la escala Wechsler. En cuanto a los dominios de memoria atención y habilidades metalingüísticas, se halló en el primer rubro un desempeño alto en todas las subpruebas de memoria auditiva, con mayor puntaje en la evocación. En la memoria visual tanto en codificación como en evocación se encontró también mejor desempeño en comparación de los demás subgrupos. En cuanto a la atención auditiva esta se situó por arriba de los promedios de los otros subgrupos. La atención visual fue el puntaje más bajo que se observó en este subgrupo, relacionado tal vez con el Índice de Velocidad del WISC, lo cual puede indicar cierta deficiencia en dicho proceso neuropsicológico pero que no limitó su desempeño académico. En las habilidades metalingüísticas se observó también un excelente desempeño, prácticamente igual que el subgrupo BDA2 que puede ser el rubro que explique el mejor desempeño académico de ambos grupos.

El BDA2 presentó en la escala WISC un desempeño menor que en BDA1 con excepción de la memoria de trabajo. En el ICV se halló el mejor desempeño observado en la escala Wechsler, pero con similar resultado que el DEA1. En el IRP presentó un promedio muy cercano a los tres subgrupos de DEA. En el IVP el grupo BDA2 obtuvo puntajes menores al grupo DEA1 de igual manera como el grupo BDA1. El CIT fue encontrado con un promedio muy cercano al DEA1 y menor que el BDA1. En relación con las Habilidades Académicas su desempeño fue adecuado y muy coherente entre todas las subpruebas, pero con menor desempeño en comparación con el grupo BDA1, exhibiendo su más alto desempeño en la precisión de la escritura y su desempeño más bajo en la composición narrativa. En las subpruebas de memoria auditiva de la ENI su desempeño más bajo está relacionado con la evocación, dato de relevancia y relacionado tal vez con su desempeño

menor en la parte de Coherencia narrativa de la recuperación de textos escritos. En la atención auditiva se halló un buen desempeño. Por otro lado en la memoria visual también se encontró un menor desempeño en la evocación de estímulos visuales. Cabe mencionar que en la atención visual también se halló un bajo desempeño en comparación de sus otros resultados. Su desempeño en el dominio de las Habilidades Metalingüísticas fue muy bueno y equiparable con el desempeño superior del subgrupo BDA1. Tanto el IMT como la subprueba de Habilidades Metalingüísticas son los que mejor diferenciaron a los grupos BDA con los que presentaron DEA.

El subgrupo DEA1 fue el de más alto desempeño de todos los subgrupos DEA, siendo el más cercano al grupo BDA2. En la escala WISC el más alto desempeño se observó en el ICV que se acercó mucho al BDA1, dato interesante en el sentido de que parece que las habilidades verbales pueden jugar un papel importante en el mejor desempeño académico. Su menor desempeño se observó en el IMT. Dicho índice parece ser el que mejor diferencia a los subgrupos BDA y DEA. En las habilidades académicas fue posible observar que su desempeño más alto se encontró en la velocidad de la escritura y dentro de los más bajos el manejo numérico y la precisión en la escritura. En el apartado de Memoria, Atención y Habilidades Metalingüísticas de la ENI, en primera instancia se halló en la codificación y evocación de la información auditiva un desempeño pertinente, incluso mayor que en el grupo BDA2 en la codificación auditiva. La atención auditiva fue la más baja de todas las subpruebas de memoria, atención y habilidades metalingüísticas. La parte de la memoria y atención visual presentaron resultados pertinentes sin hallar bajo rendimiento. Las habilidades metalingüísticas presentaron un menor grado de eficiencia en comparación de los subgrupos BDA, lo cual junto con las fallas en el IMT podrían explicar el menor desempeño académico.

El subgrupo DEA2 presentó un desempeño regular en comparación de los otros dos grupos DEA. Su desempeño en la escala WISC fue más alto en el IRP con puntajes incluso parecidos al BDA1. Su peor desempeño fue hallado en el IMT que como se ha mencionado parece ser el mejor diferenciador de todos los índices del WISC en los grupos BDA y DEA. Dentro de las subpruebas de las Habilidades Académicas su puntuación más alta fue encontrada en el conteo. Su desempeño más bajo es encontrado

en precisión de la lectura, manejo numérico y cálculo; este último rubro puede estar relacionado con su desempeño bajo en el IMT de la escala de inteligencia. En los dominios de Memoria, Atención y Habilidades Metalingüísticas como datos relevantes fueron los puntajes bajos tanto en memoria visual en la evocación de la información como en las Habilidades Metalingüísticas. Este último dato, en cuanto a las habilidades metalingüísticas, puede explicar los puntajes bajos en la precisión de la lectura, junto con sus problemas en la memoria operativa relacionados con el desempeño bajo en el IMT.

El subgrupo DEA3 fue el de menor desempeño de todos los subgrupos. En la escala WISC su desempeño más alto fue encontrado en el IRP y el más bajo en el IMT, con puntuaciones muy bajas en todos los demás índices y el CIT. En cuanto a su desempeño en las subpruebas de Habilidades Académicas se observó que su desempeño fue bajo en todas las subpruebas con menor desempeño en la precisión de la lectura y cálculo y su más alta puntuación en el conteo y la velocidad de la lectura. Los puntajes bajos parecen estar relacionados de nueva cuenta con su bajo desempeño en la memoria operativa que se observó con un desempeño bajo en el IMT. El desempeño en los dominios de Memoria, Atención y Habilidades Metalingüísticas en el grupo DEA3 en general fue muy bajo con excepción en la atención auditiva. Dentro de los resultados más bajos se encontró en la subprueba de Habilidades Metalingüísticas que al parecer condiciona el manejo del material escrito y la memoria operativa con la resolución de operaciones aritméticas.

De las variables del WISC-IV, en el ICV los subgrupos BDA fueron los que mejor desempeño tuvieron, con resultados similares en el grupo BDA2 y DEA1, lo que podría indicar que las habilidades lingüísticas podrían estar jugando un papel relevante en el mejor desempeño académico observados en los subgrupos BDA incluso en el subgrupo DEA1. Dichos resultados se apoyan en los resultados tanto de memoria operativa como de las habilidades metalingüísticas que son también de naturaleza verbal y que al parecer pueden diferenciar de mejor manera a los grupos BDA de los de DEA.

En el Índice de Razonamiento Perceptual mostró calificaciones relativamente altas en todos los grupos (≥ 100 y 90-99) por lo que resultó de menor utilidad para distinguir los

grupos entre sí; mientras que el Índice de Memoria de Trabajo proporcionó el contraste más evidente entre los dos subgrupos BDA y los tres del DEA ya que éstos tuvieron puntuaciones más bajas que los niños BDA.

En la ENI, además de las subpruebas de rendimiento académico tomadas como criterio de inclusión, fue posible observar que tanto la Precisión en la Escritura como el Manejo Numérico también fueron pruebas que diferenciaron muy bien a los grupos BDA y DEA, dichos resultados. Se encontró también que dentro de la escritura puntuaciones muy bajas en la subprueba de composición narrativa, la cual puede estar relacionada con fallas en la memoria operativa de tipo auditiva.

En cuanto a las subpruebas de Memoria y Atención de la ENI, no fue sencillo mostrar una distinción clara entre los subgrupos con BDA o con DEA, pero no ocurrió así con la subprueba de Habilidades Metalingüísticas ya que los grupos BDA obtuvieron puntajes muy altos respecto a los DEA, lo que posibilitó una diferenciación adecuada entre ambos conjuntos de niños. Estos resultados sugieren que algunas habilidades lingüísticas, en específico la memoria de trabajo auditiva y las habilidades metalingüísticas, pudieran estar relacionadas con el bajo desempeño académico, como mecanismo compartido en los tres subgrupos DEA.

Por otra parte, diferentes investigaciones se han enfocado en describir las fallas cognitivas fundamentales en los diferentes trastornos del aprendizaje, con el fin de poder realizar aproximaciones tanto de evaluación como de intervención. Rourke (2005) ofrece una categorización neuropsicológica de los tipos de dificultades en el aprendizaje que podemos hallar, por medio del análisis de habilidades tanto en el aprendizaje formal (académico) como no formales (social). Dentro de esta concepción existe, en primera instancia, un tipo de dificultad para el aprendizaje de naturaleza no verbal (nonverbal learning disabilities, NLD), el cual implica una serie de dificultades en habilidades aritméticas, en habilidades motoras, en la percepción visual y táctil, además de alteraciones sociales, pero con un adecuado desempeño de lectura y ortografía de palabras. Este tipo de dificultad no verbal presenta problemas para el manejo de información no verbal, es decir su déficit se encuentra dentro de habilidades visuo-

espaciales. En este tipo de alteración del aprendizaje no verbal, se pueden hallar problemas en la atención y en la regulación conductual (hiperactividad), además de problemas de naturaleza social como ansiedad, depresión, etc.

Por otro lado, se encuentra el tipo fonológico (basic phonological processing disabilities, BPPD), en el cual podemos encontrar problemas en la lectura de palabras y la ortografía, es decir en este tipo se presentaría una alteración en la precisión fonológica, pero no mostraría alteraciones de la capacidad de realizar operaciones aritméticas ni tampoco en su desempeño a nivel social. El tipo fonológico encontraría dificultades en el trabajo de información audio verbal que sirve de sustento en la lectura y la escritura.

Rourke (1993) además menciona que existe por lo menos otro tipo de alteración en el aprendizaje la cual consiste en alteraciones en las tres áreas de competencia académica en la cual predomina una alteración mucho mayor en el desempeño aritmético, pero con problemas también en el desempeño de la lectura y en la ortografía. Este tipo de alteración parece tener un desempeño menor en pruebas que miden el desempeño de habilidades verbales en comparación de habilidades de ejecución en pruebas de capacidad intelectual. Se alude también que este trastorno es muy parecido al relacionado con problemas en el procesamiento fonológico pero que no ha sido estudiado a profundidad. Con ello podemos observar que el procesamiento verbal podría estar jugando un papel muy importante en la conformación de un trastorno más global y generalizado. Dicha caracterización neuropsicológica se ve apoyada por hallazgos de origen electrofisiológico en potenciales evocados, en los cuales se demuestra la fiabilidad del planteamiento neuropsicológico de Rourke (Collins & Rourke, 2003).

En apoyo de este planteamiento Fletcher, Morris & Lyon (2003) ofrecen una revisión de los diferentes trabajos que dan una descripción de los distintos grupos de niños con problemas en el aprendizaje, dividiéndolos en niños con problemas en la lectura (RD), con problemas en las matemáticas (MD), con problemas en ambos rubros (RD-MD) y por ultimo niños con un desempeño intelectual por debajo de los esperado (BA) (C.I. menor a 80) (figura 27), comparando el desempeño de los diferentes grupos dentro de distintas variables que son sensibles para discriminar los diferentes perfiles de dificultades en el aprendizaje a saber: el grupo RD (conciencia fonológica, denominación rápida, vocabulario, aprendizaje de pares asociados), por otro lado en el grupo de MD encontramos (formación de conceptos, aprendizaje de procedimientos e integración visuo-motora). Por último, variables que tienen que ver con problemas en el

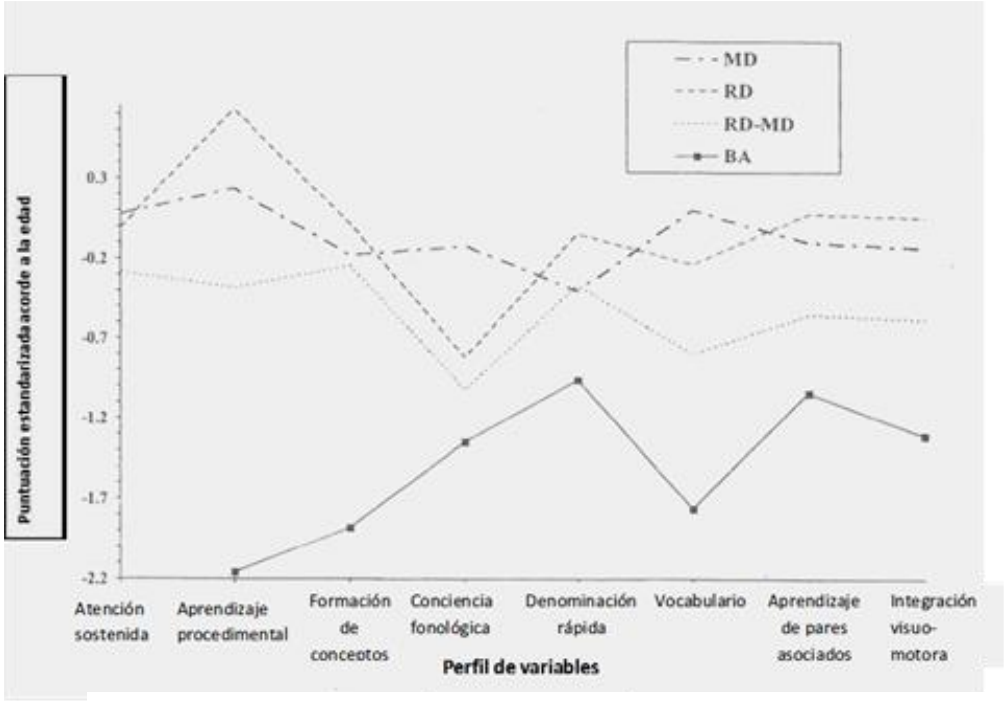


Figura 19. Representación de diferentes variables cognitivas en los diferentes grupos de problemas en el aprendizaje y con déficit intelectual. Fletcher, Morris & Lyon, 2003)

mantenimiento de la atención (atención sostenida, formación de conceptos y aprendizaje de procedimientos). En la figura se puede observar que en el perfil RD-MD (tanto en la capacidad de leer como en las matemáticas) las variables más afectadas son las que se relacionan con la memoria de trabajo y el lenguaje.

Por su parte, Geary y Hoard (2001) refirieron que un mecanismo que podría subyacer al

déficit observado entre la lectura y el cálculo es el relacionado a la utilización de mecanismos del lenguaje. Dentro los propuestos para la explicación de los trastornos en la lectura en comorbilidad con los del cálculo, se han señalado procesos cognitivos de tipo general, entre los que se encuentran alteraciones en las funciones ejecutivas, en especial, de la memoria de trabajo audio-verbal (Wilson, Andrewes, Struthers, Rowe, Bogdanovic & Waldie, 2015) y los mecanismos del lenguaje como la conciencia fonológica (Lopes., Moura, Júlio, Wood, Salles & Haase, 2016).

La memoria de trabajo tiene cuatro componentes fundamentales (Baddeley, 2003): el ejecutivo central, el bucle fonológico, la agenda visuo-espacial y el buffer episódico. El primero se encarga de la distribución de la atención hacia la tarea a realizar, así como el enlace de la información que llega del exterior con la memoria a largo plazo por medio de buffer episódico; el componente del bucle fonológico el cual es un almacén que mantiene y manipula la información que llega por medio del lenguaje, la agenda visuo-espacial la cual se encarga de mantener y manipular la información de tipo visual y espacial que se recibe y, por último, el buffer episódico el cual como ya se mencionó es una interface que une los dos componentes de memoria de trabajo con elementos de la memoria a largo plazo. Se podría establecer entonces que la memoria de trabajo de tipo audio verbal, encargada del mantenimiento temporal y manipulación en tiempo real de la información auditiva, puede ser el elemento que involucre las fallas en el desempeño académico en niños con un trastorno del aprendizaje tanto en las matemáticas como en la lectura. Esta capacidad se puede observar en las pruebas de manejo numérico y de cálculo en las que intervienen el mantenimiento y uso de la información auditiva; la memoria de trabajo funciona como un puente para el recuerdo de la información almacenada en la memoria a largo plazo, tales como el recuperar los hechos matemáticos o en la resolución de operaciones aritméticas. Incluso es una de las funciones ejecutivas junto con el control inhibitorio, que se ha relacionado más con un desempeño escolar adecuado (Diamond, 2013).

En cuanto a las habilidades metalingüísticas, la teoría del déficit fonológico es la que más fuerza, fundamentación y apoyo tiene actualmente (Ramus, Rosen, Dakin, Day, Castellote, White & Frith, 2003; Saksida, et al., 2016). Se ha demostrado que los niños

afectados por el trastorno en la lectura presentan defectos en el procesamiento fonológico del lenguaje (Ardila, Roselli & Matute, 2005). Las habilidades fonológicas permiten la discriminación y articulación de los sonidos del habla. Dicha conciencia fonológica posibilita la manipulación de los fonemas y, con ello, separarlos, contarlos, identificarlos o cambiar su orden dentro de una palabra. La base anatómica (giros angular y supramarginal) que sirve de base en dicho procesamiento es la misma que sirve para el recuerdo de los “hechos matemáticos” (Grabner, Ansari, Koschutnig, Reishofer & Ebner, 2013), en la lectura y el trabajo del loop fonológico de la memoria operativa (Seghier, 2013).

Estos datos sobre las fallas en la memoria operativa y la conciencia fonológica, fueron las variables más útiles para alertar sobre problemas en el desempeño académico. Así mismo, se relacionan también con las principales alteraciones en el grupo DEA: por una parte, los problemas en la precisión en la lectura y la escritura que comparten una gran carga de procesamiento fonológico, así como la lectura y escritura de números que requieren de la conversión de la información visual a su referente auditivo. En el cálculo mental se ve involucrada la memoria de trabajo al mantener y manipular la información auditiva para llegar al resultado correcto al resolver una operación aritmética.

Finalmente, es importante destacar que la selección de la muestra para esta investigación fue muy rigurosa, con evaluaciones neuropsiquiátricas, psicológicas y neuropsicológicas. Además del uso del DSM-V como base para diagnosticar a los niños con , cabe resaltar la utilización de instrumentos de valoración que han sido normados en población mexicana (el WISC-IV y la ENI), lo cual permitió realizar una evaluación válida y confiable.

5.2 Discusión de los resultados de RMf

5.2.1 Lectura de palabras

BDA>DEA

Como ya se mencionó anteriormente, se realizó la comparación en las áreas de activación cerebral en los dos grupos completos de BDA y DEA ante la lectura de palabras. En el primer contraste (BDA>DEA), en la lectura de palabras, se observó una diferencia en la correlació entre los dos grupos, aproximadamente en la sección IX cerebelosa izquierda, la cual forma parte del lóbulo posterior izquierdo y la porción I-IV del lado derecho, en parte posterior que ha sido relacionada con operaciones cognitivas (Stoodley & Stein, 2011) y en específico la parte izquierda ha sido relacionada con la morfología de la forma de las palabras (Richards et al., 2006), lo cual concuerda con la tarea específica de lectura de palabras en la cual se debe de realizar un análisis visual (vía directa de la lectura) de las mismas, por lo que se ha encontrado que el cerebelo cumple con una función especial en la lectura de palabras. Por otra parte, el lado derecho ha sido relacionado con también con la búsqueda semántica (región nuclear profunda del lado derecho el vermis en su regio inferior), aunque el papel del cerebelo aún no está totalmente claro, se sabe que posee conexiones con múltiples áreas de la corteza cerebral (Vlachos, Papathanasiou & Andreou, 2007). Además, los niños del grupo BDA también exhibieron en la lectura de palabras un correlato neural en la corteza cingulada en su porción posterior bilateral. Con respecto al cíngulo posterior del lado izquierdo ha sido asociado a la búsqueda del significado de las palabras leídas y de decisión léxica (Ischebeck, Indefrey, Usui, Nose, Hellwig & Taira, 2004) y el lado derecho con el mantenimiento del foco de atención, aunque no existe un consenso en relación con su funcionalidad (Leech & Sharp, 2013).

DEA>BDA

En cuanto al contraste DEA>BDA en la lectura de palabras se encontraron correlaciones neurales desde el giro precentral, en giro frontal inferior (BA 44), hasta el frontal medio del hemisferio izquierdo. Dichas estructuras se han visto relacionadas con la lectura de

palabras nuevas y la preparación para la articulación de los sonidos del lenguaje (McDermott, Petersen, Watson, & Ojemann, 2003). De manera específica el área 44 se ha relacionado con la programación en la expresión del lenguaje y la fonología a diferencia de la BA 45, que se relaciona más con el rubro de la búsqueda semántica de la palabra (Amunts, et al (2004). Este dato contrasta en relación con el uso de la estrategia que utilizan los dos grupos, por un lado el grupo BDA con acceso semántico de las palabras presentadas, en cambio en el grupo DEA, lo principal es el trabajo articulatorio con el fin de leer las palabras, pero con problemas para realizar adecuadamente la lectura de palabras. Este trabajo de estructuras anteriores, en específico la tercera circunvolución frontal del lóbulo frontal, encargada de la preparación de los movimientos de la expresión, lingüística y la manipulación fonológica, se piensa como una compensación al déficit en la lectura (Shaywitz & Shaywitz, 2008).

Hasta aquí parece que los niños BDA realizan un trabajo automático y paralelo en relación con el manejo fonológico, la semántica (memoria a largo plazo) y la automatización de la lectura, en contraste a los DEA que realizaron un trabajo compensatorio utilizando la articulación de los sonidos para compensar sus defectos en la lectura.

5.2.2 Lectura de pseudopalabras

DEA>BDA

Dentro del contraste DEA> BDA se observó ante la lectura de pseudopalabras la correlación neural con el polo frontal muy cercano a la BA 6, el giro frontal superior BA8 y medio. En relación con el giro frontal superior se ha encontrado evidencia de su relación funcional y anatómica con áreas del giro frontal inferior y medio que puede sugerir que se trata de una red cortical de procesamiento específico (Li, Qin, Liu, Fan, Wang, Jiang, & Yu, 2013), en este caso de tipo premotor, por las áreas con las que guarda relación funcional y estructural. Por otro lado, se sabe que el lóbulo frontal en su parte anterior en el hemisferio derecho, se relaciona con decisiones subjetivas y adaptativas sin una lógica aparente o bien el procesamiento de información y situaciones nuevas, además de una preferencia en el procesamiento del material visual vs. la información de tipo verbal (Lázaro & Solís, 2008). Este tipo de resultado puede estar relacionado con el

procesamiento de tipo visual, tomando la información como algo nuevo debido a las fallas en el procesamiento de la lectura de pseudopalabras en el grupo DEA.

Debido a lo explicado hasta este momento se podría decir que los niños DEA tratan de resolver la dificultad en la lectura de pseudopalabras por un procesamiento de tipo visual, tomado al estímulo, palabras en este caso, como un estímulo nuevo (no semántico), además de apoyarse en la articulación en voz baja de los sonidos del lenguaje, realizado en el hemisferio derecho, tal vez como una compensación también ante su inhabilidad en la manipulación mental de los sonidos del lenguaje, aunque la ruta al ser del hemisferio derecho es más lenta pues no se encarga del manejo lingüístico.

5.2.3 Comparación

DEA>BDA

En la comparación de números en el contraste DEA>BDA, se halló la correlación neuroal en el tallo cerebral a nivel del mesencéfalo, bilateralmente, lo cual se puede relacionar con un proceso de atención, en la red de alerta (Posner, Sheese, Odludas, & Tang, 2006), aumentando el estado de activación, tal vez por la dificultad que les representó la tarea para los niños del grupo DEA o bien por el procesamiento de tipo visuo-espacial en esa zona. La correlación neural con áreas secundarias del lóbulo occipital (BA 18,19) pudiera mostrar el análisis visual (discriminación perceptual) de los números arábigos que los niños con DEA realizan al ser expuestos a una tarea de comparación de números, en lugar de un análisis de las magnitudes del número que es el proceso que se esperaría al realizar esta tarea. También se activa el área relacionada con los procesos fonológicos muy cercana al giro angular (BA 39) con el fin de manipular la información de manera para resolver la tarea, es decir su memoria de trabajo. En esta misma línea podemos hallar la activación del cerebelo derecho, el cual ha sido asociado con el manejo fonológico, en específico la capacidad del ensamble grafo-fonémico (.phonologic assembly) (Vlachos, Papathanasiou & Andreou, 2007).

Por otro lado, existió correlación neural en esta misma tarea con el globo pálido y el hipocampo, ambos en el hemisferio izquierdo, los cuales han sido relacionados con una

mayor demanda de recursos mnémicos de memoria procedimental y declarativa en niños de poca edad y que pudieran hacer alusión al trabajo inmaduro de memoria que los niños TAE presentan (Rivera, Reiss, Eckert, & Menon, 2005). En este mismo sentido se halló correlación neural dentro de tálamo del lado izquierdo en el cual se ha encontrado una asociación muy importante con estructuras temporales relacionadas con la memoria a largo plazo y con la corteza prefrontal y la efectividad de la memoria de trabajo.

Por último, se encontraron correlaciones neurales en el cíngulo posterior en su porción posterior y bilateral (BA 23 y 31), las cuales han sido relacionadas con el trabajo concertado de la memoria a corto plazo (trabajo) y a largo plazo, jugando un papel de sincronizador entre la información nueva, su manipulación y la relación-uso de información que ya está almacenada en el almacén a largo plazo. Como veremos más adelante parece que la corteza cingulada juega un papel muy importante en las deficiencias observadas en el grupo DEA.

5.2.4 Sumas

DEA>BDA

Se hallaron correlaciones neurales en la corteza occipital izquierda (BA39 y 19 respectivamente) las cuales pueden hacer referencia al trabajo de la manipulación fonológica de la información verbal, es decir para la memoria de trabajo a nivel audio verbal, con el cíngulo y precúneo también del hemisferio izquierdo (BA 23), que como ya se comentó juegan un papel fundamental en la combinación de la información que se recibe y el contraste en la memoria a largo plazo. Como es posible observar también en la tarea de sumas y fue el trabajo del cíngulo que mostró activación en ambas tareas relacionadas con las matemáticas y la manipulación, tal vez, ineficiente de la memoria de corto plazo y su unión con la memoria a largo plazo, lo cual no permite un adecuado desempeño en el rubro matemático.

6. Conclusiones

Mediante variables del WISC-IV y la ENI se pudieron identificar adecuadamente los grupos de niños BDA de aquellos con DEA. Por un lado, el grupo BDA presentaron un desempeño alto en la mayor parte de las tareas, pero con mayor nivel de eficiencia en algunos procesos lingüísticos (comprensión y manejo verbal, memoria operativa de tipo visual y habilidades metalingüísticas). En el grupo BDA se observó mejor desempeño en la velocidad de la lectura en comparación con la precisión, dato que contrasta con la idea de en niños hispanohablantes la precisión resulta menos afectada que la velocidad de la lectura. En relación con el rubro matemático su desempeño se observó bastante homogéneo.

En el grupo DEA por el contrario se evidenció un desempeño deficiente de manera generalizada, incluso ante rubros que no fueron tomados en cuenta como criterios de inclusión. Cabe resaltar que el mismo patrón de aumento de la eficiencia en el desempeño en la precisión de la lectura versus velocidad en la lectura apareció en el grupo DEA. Dicho resultado contrasta con la idea de la velocidad en la lectura como el mejor predictor de los trastornos en la lectura en español, aunque cabe resaltar que el grupo de dificultades en el aprendizaje se constituyó por problemas tanto en el cálculo como en la precisión en la lectura, hecho por el cual no es un grupo puro, sino más bien combinado. Un concepto fundamental que puede servir para caracterizar a este grupo DEA, es el de la *fluidez* en la lectura, la cual contempla el desempeño tanto en la precisión y la velocidad en la lectura, como dos elementos que debe revisarse en conjunto.

En lo que respecta al rubro matemático, a interior del grupo DEA, presentó un desempeño en general un desempeño más bajo en todos los dominios y subpruebas, sin embargo, llamó la atención un menor desempeño en rubros relacionados con el empleo de la memoria de trabajo auditiva, en este caso de la serie inversa y cálculo mental. Tanto las alteraciones fonológicas como problemas en el manejo inadecuado de la memoria operativa auditiva fueron rubros que se esperaban afectados, con un desempeño más bajo debido a que son parte del sistema verbal, que se ha relacionado en niños con

alteraciones en la lectura en comorbilidad con las matemáticas.

En otro orden de ideas, por un lado, fue interesante observar que, a pesar de que los niños BDA presentaron un desempeño académico adecuado pueden mostrar diferentes perfiles neuropsicológicos y por otro lado la heterogeneidad neuropsicológica de los niños con DEA quedó evidenciada mediante la identificación de 3 subgrupos a pesar de compartir la misma impresión diagnóstica de DEA y haber sido seleccionados por los mismos criterios de inclusión. Dentro de estos subgrupos DEA, el problema fundamental consistió también en fallas en mecanismos relacionados con las habilidades verbales(p.ej. en el ICV) y el funcionamiento ejecutivo, particularmente en la comprensión verbal, la memoria de trabajo audio-verbal y en las habilidades metalingüísticas.

Se considera importante enfatizar el valor de poder contar con instrumentos de evaluación estandarizados para la población hispanoparlante, como lo son la Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI) y la escala WISC-IV. Por otro lado, fue posible observar la utilidad de estas mismas pruebas en su relación con la actividad cerebral observada a través de la técnica de Resonancia Magnética Funcional.

En relación con el análisis de RMf, en la lectura de palabras, el grupo BDA parece realizar un trabajo automático y paralelo en relación con el manejo fonológico, la semántica (memoria a largo plazo) y la automatización (debido a la activación cerebelosa bilateral y corteza cingulada posterior, bilateral, respetivamente) en contraste a los DEA que realizaron un trabajo compensatorio utilizando la articulación de los sonidos (giro frontal inferior) para compensar sus defectos en la lectura. Dichos resultados se pueden relacionar con las alteraciones en habilidad metalingüística presentado con el grupo DEA en las pruebas neuropsicológicas. En la lectura de pseudopalabras, los niños DEA al parecer intentan realizar la lectura de pseudopalabras por un procesamiento de tipo visual y además de la articulación en voz baja de los sonidos del lenguaje, realizada en el hemisferio derecho (giro frontal medio y superior), tal vez como una compensación también ante su inhabilidad en la manipulación mental de los sonidos del lenguaje.

En cuanto al trabajo de índole matemático, fue muy interesante el trabajo de estructuras relacionadas con el manejo de la memoria, tanto de trabajo como a largo plazo. En el

caso de la comparación de números, el trabajo de estructuras como el tálamo, hipocampo y núcleos basales, que guardan relación con la memoria a largo plazo. En esta última parte la activación del cíngulo en su parte posterior y su relación con el manejo de la memoria fue un dato a resaltar ya que también en el paradigma de suma apareció con una actividad aumentada en el grupo DEA. La utilización de áreas occipitales cercanas al giro angular también fueron datos importantes para la comprensión de las dificultades que manejan estos niños, relacionados con el manejo de la memoria de trabajo auditiva, la que al parecer es inadecuada. Otro de los datos no contemplados es el papel de cerebelo en muchos procesos tanto de lectura como de las matemáticas.

En resumen, la falta de efectividad en mecanismos lingüísticos (comprensión verbal, fonológicos y de memoria) pudiera explicar las dificultades existentes en niños con dificultades específicas en el aprendizaje de la lectura y el cálculo.

Cabe resaltar la relación de los datos conductuales (neuropsicológicos) con los de activación cerebral obtenidos dentro de la resonancia magnética funcional, lo cual confirma su gran asociación y utilidad en el estudio de alteraciones en el neurodesarrollo.

Referencias

1. Alegría, J. (2006). Por un enfoque psicolingüístico del aprendizaje de la lectura y sus dificultades—20 años después. *Infancia y aprendizaje*, *29*(1), 93-111.
2. Almandoz, T. (2003). Guía práctica para profesionales de resonancia magnética. España. Osatek.
3. Alonso, D. y Fuentes, L. J. (2001). Mecanismos cerebrales del pensamiento matemático. REV NEUROL, 33(6), 568-576.
4. Amalric, M. & Dehaene, S. (2016). Origins of the brain networks for advanced mathematics in expert mathematicians. Proceedings of the National Academy of Sciences, 113(18), pp.4909-4917.
5. Amunts, K., Weiss, P. H., Mohlberg, H., Pieperhoff, P., Eickhoff, S., Gurd, J. M., ... & Zilles, K. (2004). Analysis of neural mechanisms underlying verbal fluency in cytoarchitectonically defined stereotaxic space-The roles of Brodmann areas 44 and 45. NeuroImage, 1(22), 42-56.
6. American Psychiatirc Association (DSM-IV- TR) (2000). United State of America. Masson.
7. American Psychiatric Association (2013). Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-V) (Fifth Edition). Washington, DC: American Psychiatric Association.
8. Ardila, A. (1998). Semantic paralexias in the Spanish language. Aphasiology, *12*(10), 885-900.
9. Ardila, A. & Cuetos, F. (2016). Applicability of dual-route reading models to Spanish. *Psicothema, 28*(1), 71-75.
10. Ardila, A., Roselli, M. & Matute, E. (2005). Neuropsicología de los problemas de aprendizaje. México: Manual Moderno.
11. Armony, J. L., Trejo-Martínez, D., & Hernández, D. (2012). Resonancia magnética funcional (RMf): Principios y aplicaciones en neuropsicología y neurociencias cognitivas. Neuropsicologia Latinoamericana, 4(2), pp.36-50.

12. Arsalidou, M. & Taylor, M. (2011) Is 2 + 2 = 4? Meta-analyses of brain areas needed for numbers and calculations. *NeuroImage, 54*(3), pp. 2382-2393.
13. Ashkenazi, S., Black, J. M., Abrams, D. A., Hoeft, F., & Menon, V. (2013). Neurobiological underpinnings of math and reading learning disabilities. *Journal of learning disabilities, 46*(6), 549-569.
14. Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature reviews Neuroscience, 4*(10), 829-839.
15. Beeson, P., Rapcsak, S., Plante, E., Chargualf, J., Chung A., Johnson, S. & Trouard, T. (2003). The neural substrates of writing: A functional magnetic resonance imagining study. *Aphasiology, 17*(6/7), 647-665.
16. Benitez, A. (2010). Neurobiología y neurogenética de la dislexia. *Neurología, 25*(9):563-581.
17. Berko, J. & Berstein, N. (1999). Psicolingüística (segunda edición) España. Mc. Graw Hill.
18. Black, J. M., Myers, C. A., & Hoeft, F. (2015). The utility of neuroimaging studies for informing educational practice and policy in reading disorders. *New directions for child and adolescent development, 2015*(147), 49-56.
19. Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. Journal of Child Psychology and Psychiatry, 46(1), 3-18.
20. Butterworth, B., Varma, S., & Laurillard, D. (2011). Dyscalculia: From Brain to Education. Science, 332(6033),1049-1053.
21. Burbaud, P., Camus, O., Guehl, D., Bioulac, B., Caille, J. M., & Allard, M. (1999). A functional magnetic resonance imaging study of mental subtraction in human subjects. *Neuroscience Letters, 273*(3), 195-199.
22. Chochon, F., Cohen, L., Moortele, F. & Dehaene, S. (1999). Differential Contributions of the Left and Right Inferior Parietal Lobules to Number Processing. *Journal of Cognitive Neuroscience, 11*(6), 617-630.
23. Cohen, L., & Dehaene, S. (2004). Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area. *Neuroimage, 22*(1), 466-476.
24. Cohen, L., & Dehaene, S. (2000). Calculating without reading: Unsuspected residual abilities in pure alexia. *Cognitive Neuropsychology, 17(6), 563-583*.

25. Collis, D. & Rourke B. (2003). Learning disabled brains: A review of the literature. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology. 25* (7), 1011-1034.
26. Coltheart, M., Curtis, B., Atkins, P., & Haller, M. (1993). Models of reading aloud: Dual route and parallel distributed processing approaches. *Psychological Review, 100*(4), 589–608.
27. Cuadro, A., & Trías, D. (2008). Desarrollo de la conciencia fonémica: evaluación de un programa de intervención. *Revista Argentina de Neuropsicología*, 11, 1-8.
28. Cuetos, F. (2012). Neurociencia del lenguaje. Bases neurológicas e implicaciones clínicas. Madrid: Médica Panamericana.
29. Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition, 44*(1-2), 1-42.
30. Dehaene, S. (2001). Précis of the number sense. *Mind and Language, 16*(1), 16-36.
31. Dehaene, S., & Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical. Cognition, 1*(1), 83-120.
32. Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P. y Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive neuropsychology, 20*(3-6), 487-506.
33. Dehaene, S., Cohen, L., Sigman, M., & Vinckier, F. (2005). The neural code for Written words: a proposal. *Trends in Cognitive Sciences, 9*(7), 335–341.
34. Dehaene, S & Cohen, L. (2007). Cultural Recycling of Cortical Maps. *Neuron, 56* (2), 384-398.
35. Dehaene, S. (2009). Reading in the brain. United States of America: Penguin Group.
36. Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-68.
37. Eger, E., Sterzer P., Russ, M., Giraud, A. & Kleinschmid, A. (2003) A supramodal number representation in human intraparietal cortex. *Neuron, 37*(4), 719-726.
38. Etchepareborda, M. & Habib., M. (2001). Bases neurobiológicas de la conciencia fonológica; su compromiso en la dislexia. *Rev Neurol Clin, 2* (1), 5-23.
39. Fiez, J.A., & Petersen, S.E. (1998). Neuroimaging studies of word reading. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 95*(3), 914-921.

40. Fletcher. J., Morris, R. & Lyon, G. (2003). Classification and Definition of Learning Disabilities: An Integrative Perspective. En Swanson, H., Harris, K. & Graham, S. (Eds.). Handbook of Learning Disabilities. USA: The Guilford Press.
41. Florian, L., Hollenweger, J., Simeonsson, R. J., Wedell, K., Riddell, S., Terzi, L., & Holland, A. (2006). Cross-cultural perspectives on the classification of children with disabilities: Part I. Issues in the classification of children with disabilities. The Journal of Special Education, 40(1), 36-45.
42. Frith, U. (1989). Aspectos psicolingüísticos de la lectura y la ortografía. Evolución y trastorno. En V SIMPOSIO “LA LECTURA”. Salamanca - Univ. Pontificia. Pp.21-31.
43. Galaburda, A. y Cestnick, L. (2003). Dislexia del desarrollo. *REV NEUROL, 36*(1), 3-9
44. Galaburda, A., LoTurco, J., Ramus, F., Fitch, R. & Rosen, G. (2006). From genes to behavior in developmental dyslexia. *Nature Neuroscience, 9*(10), 1213-1217..
45. Garcia, J., Madrazo, M. & Viñals, F. (2002). Alteraciones del procesamiento de la escritura: la disgrafía superficial. *Revista Española de Neuropsicología, 4*(4), 283-300
46. García, H. (2011). Caracterización electroencefalográfica del procesamiento de la información verbal en una tarea de reconocimiento de palabras. Tesis para obtener grado de Maestría en Ciencias (Neurobiología). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
47. Geary, D. C. & Hoard, M. K. (2001). Numerical and arithmetical deficits in learning-disabled children: Relation to dyscalculia and dyslexia. *Aphasiology, 15*(7), 635-647
48. Geary, D. C. (2003). Learning disabilities in arithmetic: Problem-solving differences and cognitive deficits. En Swanson, H., Harris, K. & Graham, S. (Eds.). Handbook of Learning Disabilities. USA: The Guilford Press.
49. Georgiewa P., Rzanny, R., Gaser, C., Gerhard, U.,Vieweg U., Freesmeyer, D, Mentzel, H., Kaiser, W. & Blanz, B. (2002). Phonological processing in dyslexic children: a study combining functional imaging and event related potentials. *Neuroscience Letters, 318*(1), 5-8

50. Gillis, L. & Defries, J. (1995). Comorbidity of Reading and Mathematics Disabilities: Genetic and Environmental Etiologies. *Journal of learning disabilities, 28* (2), 96-106.
51. Grabner, R. H., Ansari, D., Koschutnig, K., Reishofer, G., & Ebner, F. (2013). The function of the left angular gyrus in mental arithmetic: evidence from the associative confusion effect. *Human brain mapping, 34*(5), 1013-1024.
52. Holloway, I. y Ansari, D. (2008). The development of mathematical cognition. Domain-specific and domain-general changes in children's Development of number comparison. *Developmental Science, 11*(5), 644-649.
53. Huettel, S., Song, A., McCarthy, G. (2009). Functional Magnetic Resonance Imagining (second edition). U.S.A: Sinauer Associates, Inc.
54. Instituto Nacional de Evaluación Educativa (INEE) (2010). *Exámenes de la Calidad y el Logro Educativos (Excale) para los alumnos de 3° de preescolar, 3° de primaria, 6° de primaria y 3° de secundaria (bases de datos).* Recuperado de http://www.inee.edu.mx/bie_wr/mapa_indica/2012/PanoramaEducativoDeMexico/RE/RE01/2012_RE01__a.pdf
55. Instituto Nacional de Evaluación Educativa (INEE) (2012). Exámenes de la Calidad y el Logro Educativos (EXCALE) para alumnos de 3° de secundaria (base de datos). Recuperado de http://www.inee.edu.mx/bie_wr/mapa_indica/2014/PanoramaEducativoDeMexico/RE/RE01/2014_RE01__a.pdf
56. Ischebeck, A., Indefrey, P., Usui, N., Nose, I., Hellwig, F., & Taira, M. (2004). Reading in a regular orthography: An fMRI study investigating the role of visual familiarity. Journal of Cognitive Neuroscience, 16(5), 727-741.
57. Jacubovich, S. (2006). Modelos actuales de procesamiento numérico. *Revista Argentina de Neuropsicología*, 7,21-31.
58. Jenkinson, M., Woolrich, M., Beckmann, C., Behrens, T., Johansen-Berg, H., Bannister, P., De Luca, M., Drobnjak, I., Flitney, D., Niazy, R., Saunders, J., Vickers, J., Zhang, Y., De Stefano, N., Brady, J., y Matthews, P.(2004) Advances in functional and structural MR image analysis and implementation as FSL. *NeuroImage,* 23(S1), 208-19.

59. Jenkinson, M., Beckmann, C., Behrens, T., Woolrich, M.,y Smith, M.(2012) FSL. NeuroImage, 62, 782-90.

60. Jiménez, J., Rodrigo, M., & Hernandez, I. Procesos de aprendizaje y desarrollo de la lectura. En Vega, M. & Cuetos F. (1999) Psicolingüística del español. España: Trotta.

61. Jiménez González, J. E., & Hernández Valle, I. (2000). Word identification and reading disorders in the Spanish langu age. Journal of Learning disabilities, 33(1), 44-60.

62. Katanoda, K., Yoshikawa, K. & Sugishita, M. (2001). A functional MRI study on the neural substrates for writing. *Human Brain Mapping, 13*(1), 34-42.

63. Kaufmann, L., Mazzocco, M., Dowker, A., von Aster, M., Göbel, S., Grabner, R., Henik, A., Jordan, N., Karmiloff-Smith, A., Kucian, K.,Rubinsten, O., Szucs, D., Shalev, R., & Nuerk, H.(2013). Dyscalculia from a developmental and differential perspective. *Frontiers in Psychology, 4*(516), 2

64. Kawashima, R., Taira, M., Okita, K., Inoue, K., Tajima, N., Yoshida, H., Sasaki, T., Sugiura, M., Watanabe, J., Fukuda, H. (2004). A functional MRI study of simple arithmetic- a comparison between children and adult. *Cognitive Brain Research, 18*(3), 227-233.

65. Keller, T., Carpenter, P. & Just, M. (2001). The neural bases of sentence comprehension: a FMRI examination of syntactic and lexical processing. *Cerebral Cortex, 11*(3), 223-237.

66. Landerl, K., Bevan, A., & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8–9-year-old students. *Cognition, 93*(2), 99-125.

67. Landerl, K., Fussenegger, B., Moll, K., & Willburger, E. (2009). Dyslexia and dyscalculia: Two learning disorders with different cognitive profiles. *Journal of Experimental Child Psychology, 103*(3), 309-324

68. Lauterbur, P. C. (1982). NMR zeugmatographic imaging in medicine. *Journal of medical systems, 6*(6), 591–597.

69. Lázaro, J. C. F., & Solís, F. O. (2008). Neuropsicología de lóbulos frontales, funciones ejecutivas y conducta humana. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias, 8*(1), 47-58.
70. Leech, R., & Sharp, D. J. (2013). The role of the posterior cingulate cortex in cognition and disease. Brain, 137(1), 12-32.
71. Li, W., Qin, W., Liu, H., Fan, L., Wang, J., Jiang, T., & Yu, C. (2013). Subregions of the human superior frontal gyrus and their connections. Neuroimage, 78, 46-58.
72. Lopera, F. (2004). Evolución y cognición. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias, 6*(1), 27-34.
73. Lopes-Silva, J. B., Moura, R., Júlio-Costa, A., Wood, G., Salles, J. F., & Haase, V. G. (2016). What Is Specific and What Is Shared Between Numbers and Words?. *Frontiers in psychology*, 7, 22.
74. López, P. Alteraciones del componente electroencefalográfico N400 en niños con Trastornos de Aprendizaje. Tesis para obtener el grado de licenciado en psicología. Universidad Latina de América. México.
75. Lorenzo, J. (2001a). Procesos cognitivos básicos relacionados con la lectura. Primera parte: la conciencia fonológica. *Interdisciplinaria, 18*(1), 1-33.
76. Lorenzo, J (2001b). Procesos cognitivos básicos relacionados con la lectura. segunda parte: la memoria y su implicancia en el rendimiento lector. *Interdisciplinaria, 18*(2), 115-134.
77. Lorenzo, J. (2002).Procesos cognitivos básicos relacionados con la lectura. tercera parte: procesos visuo-espaciales. *Interdisciplinaria, 19*(1), 1-19.
78. McDermott, K. , Petersen, S., Watson, J., & Ojemann, J., (2003). A procedure for identifying regions preferentially activated by attention to semantic and phonological relations using functional magnetic resonance imaging. *Neuropsychologia*, *41*(3), 293-303.
79. M van Ermingen-Marbach, M., Pape-Neumann, J., Grande, M., Grabowska, A., & Heim, S. (2013). Distinct neural signatures of cognitive subtypes of dyslexia: Effects of lexicality during phonological processing. *Acta Neurobiologiae Experimentalis, 73*(3), 404-416.

80. Málaga, D. & Álvarez, J.(2010). Los trastornos del aprendizaje. Definición de los distintos tipos y sus bases neurobiológicas. *Bol Pediatr*. 50, 211, 43-47.
81. Matute, E., Pinto, N. y Zarabozo, D. (2006). Una aproximación para evaluar la prevalencia del trastorno del cálculo en una muestra de niños mexicanos. En M.G. Vega López y G. J. González Pérez (coord.), Infancia, sociedad y salud. (pp. 325-338). Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara-Organización Panamericana de la Salud.
82. Matute E., Rosselli M., Ardila A. & Ostrosky-Solis F. (2007). Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI). México. Manual Moderno. Universidad de Guadalajara.
83. Matute, E. (1997). Trastornos en el aprendizaje de la escritura: análisis a través de las características de su sistema. Conferencia Inaugural presentada en el V Congreso Latinoamericano de Neuropsicologia. Jalisco, México. En: Matute E., Rosselli M. & Ardila A. (2010) Neuropsicología del desarrollo infantil. México: Manual Moderno.
84. Matute E., Rosselli M., Ardila A. (2010) Neuropsicología del desarrollo infantil. México: Manual Moderno.
85. Menon, V. & Desmond, J. (2001). Left superior parietal cortex involvement in writing: integrating fMRI with lesion evidence. *Cognitive Brain Research, 12* (2), 337-340.
86. Molko, N., Cachia, A., Riviere, D., Mangin, J-F., Bruandet, M., Le Bihan, D., Cohen, L., Dehaene, S. Functional and structural alterations of the intraparietal sulcus in a developmental dyscalculia of genetic origin. *Neuron, 40*(4), 847-858.
87. Navarra, J., A., Valles-Majoral, E., Roig, M., J. y Picazo, H. E. (2014). Trastornos del aprendizaje del lenguaje escrito. En Peña-Casanova, J. (4ª ed.). Manual de logopedia. Elsevier España. España.
88. Nieder, A. & Dehaene, S. (2009). Representation of Number in the Brain. *Annual review of neuroscience*, 32, 185–208.
89. Ortiz, T.(1995). Neuropsicología del lenguaje. España: CEPE.
90. Parkin, A. (1999). Exploraciones en neuropsicología cognitiva. Madrid: Editorial Médica Panamericana.

91. Piaget, J. (1981). Seis estudios de psicología. México. Seix Barral.
92. Price, C. J., & Devlin, J. T. (2003). The myth of the visual word form area. *Neuroimage, 19*(3), 473-481.
93. Puente, A., Jiménez, V., Ardila, A. (2009) Anormalidades cerebrales en sujetos disléxicos. *Revista Latinoamericana de Psicología, 41*(1), 27-45.
94. Pugh, K., Mencl, W., Jenner, A., Katz, L., Frost, S., Lee, J., Shaywitz, S. & Shaywitz, B. (2001). Neurobiological studies of reading and reading disability. Journal of *Communication Disorders, 34*(6), 479-492
95. Ramus F., Rosen, S., Dakin S., Day, B., Castellote J., White, S. & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain 126*(4), 841-865
96. Rayner K. & Pollatsek,A. (1989). The psychology of reading. USA: Prentice Hall.
97. Rivera, S. M., Reiss, A. L., Eckert, M. A., & Menon, V. (2005). Developmental changes in mental arithmetic: evidence for increased functional specialization in the left inferior parietal cortex. Cerebral cortex, 15(11), 1779-1790.
98. Richards, T. L., Aylward, E. H., Field, K. M., Grimme, A. C., Raskind, W., Richards, A. L., et al (2006). Converging evidence for triple word form theory in children with dyslexia. *Developmental Neuropsychology, 30*(1), 547-589.
99. Rodríguez, A., Rojas, R., Salgado, P., Sánchez, J. & Barrios, A., (2002) Imágenes nítidas: La Resonancia Magnética. *Ciencia, 53*(2) ,16-27.
100. Romero, J. F., y Cerván, R. L. (2006). Dificultades en el aprendizaje: unificación de criterios diagnósticos. Dirección General de Participación y Solidaridad Educativa.
101. Roselli, M., y Ardila, A. (1996). Rehabilitación de las alexias y las agrafias. En Ostrosky, F., Ardila, A., Chayo, R. (1996) Rehabilitación Neuropsicológica. México: Planeta Mexicana.
102. Roselli, M., Matute, E. y Ardila, A. (2010) Neuropsicología del desarrollo infantil. México: Manual Moderno.
103. Rosselli M., Matute E., Ardila, A., Botero V., Tangarife, G., Echeverría, S., Arbelaez, C., Mejia, M., Méndez, L., Villa, P. y Ocampo, P. (2004). Evaluación

Neuropsicológica Infantil (ENI): una batería para la evaluación de niños entre 5 y 16 años de edad. Estudio normativo colombiano. REV NEUROL*, 38* (8), 720-731.

104. Rourke, B.(1993). Arithmetic disabilities, specific and otherwise: a neuropsychological perspective. *Journal of learning disabilities, 26*(4), 214-226.
105. Rourke , B. (2005). Neuropsychology of learning disabilities: past and future. *Learning Disability Quartertly. 28* (2), 111-114.
106. Rubinstein, O. & Henik, A. (2006). Double dissociation of functions in developmental dyslexia and discalculia. *Journal of Educational Psychology, 98*(4), 854-867.
107. Rubinstein, O.(2008). Comorbidity of developmental disorders of mathematics learning, reading and attention. Encyclopedia of Language and Literacy Development. 1-10.
108. Saksida, A., Iannuzzi, S., Bogliotti, C., Chaix, Y., Démonet, J. F., Bricout, L., Billard C., Nguyen-Morel, M., Le Heuzey, M., Soares-Boucaud, I., Ziegler, J., Ramus, F. & George, F. (2016). Phonological skills, visual attention span, and visual stress in developmental dyslexia. *Developmental Psychology, 52*(10), 1503-1516.'
109. Schlaggar, B. L., Brown, T. T., Lugar, H. M., Visscher, K. M., Miezin, F. M., & Petersen, S. E. (2002). Functional neuroanatomical differences between adults and school-age children in the processing of single words*. Science, 296*(5572), 1476-1479.
110. Schlaggar, B. & McCandliss, B. (2007). Development of neural systems for reading. *Annu. Rev. Neurosci*. 30, 475–503
111. Seghier, M. L. (2013). The angular gyrus multiple functions and multiple subdivisions. *The Neuroscientist, 19*(1), 43-61.
112. Serra-Grabulosa, J. M., Adan, A., Pérez-Pàmies, M., Lachica, J., & Membrives, S. (2010). Bases neurales del procesamiento numérico y del cálculo. *Rev Neurol, 50*(1), 39-46.
113. Serratrice, G. & Habib, M. (1997). Escritura y cerebro. Mecanismos Neurofisiológicos. Barcelona. Edición Original.

114. Shaywitz, B., Shaywitz, S., Pugh, K., Mencl, W., Fulbright, R., Skudlarski, P., Constable, R., Marchione, K., Fletcher, J., Lyon, G., Gore, J. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biol. Psychiatry, 52*(2), 101-110.
115. Shaywitz, S. & Shaywitz, B. (2005). Dyslexia (specific reading dishability). Biolo *Psychiatry, 57*(11), 1301-1309.
116. Shaywitz, B., & Shaywitz, S. (2009). Brain imaging in studies of reading and dyslexia. Encyclopedia of Language and Literacy Development, 12, 05-15..
117. Sheeman D., Shytle, D., Milo, K., Lecrubier, Y, Hergueta, T., Colon-Soto, M., Díaz, V. & Soto, O.(2000) MINI International NeuroPsychiatric Interview. Para niños y adolescentes.Versión en español. Tampa: Medical Outcome Systems.
118. Soriano-Ferrer, M., y Piedra, E. (2017). Una revisión de las bases neurobiológicas de la dislexia en población adulta. Neurología, 32(1), 50-57. http://dx.doi.org/10.1016/j.nrl.2014.08.003
119. Sugihara, G., Kaminaga, T. & Sugishitac, M. (2006). Interindividual uniformity and variety of the ‘‘Writing center’’: A functional MRI study. *Neuroimage, 32*(4), 1837-1849.
120. Skvarca, J., y Aguirre, A. (2006). Norms and standards for radiofrequency electromagnetic fields in Latin America: guidelines for exposure limits and measurement protocols. Revista panamericana de salud pública. *Pan American journal of public health, 20*(2-3), 205–212.
121. Talero, C.(2004). La dislexia. Una perspectiva neurobiológica. Asociación Colombiana de Neurología (ACN). 177-184.
122. Téllez, A.(2002). Atención, aprendizaje y memoria. Aspectos psicobiológicos. Mexico: Trillas.
123. Tsapkini K. & Rapp, B. (2010).The orthography-specific functions of the left fusiform gyrus: Evidence of modality and category specificity. *Cortex, 46* (2), 185-205.
124. Valdivieso, L.(2016). El aprendizaje del lenguaje escrito y las ciencias de la lectura. Un límite entre la psicología cognitiva, las neurociencias y la educación. *Límite Revista Interdisciplinaria de Filosofía y Psicología, 11*(36), 50-59.

125. Vellutino, F., Fletcher, J., Snowling, M., & Scanlon, D. (2004). Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades?. Journal Of Child Psychology And Psychiatry, 45(1), 2-40. http://dx.doi.org/10.1046/j.0021-9630.2003.00305.x

126. Vendrell, P., Junqué C. & Pujol, J. (1995). La resonancia magnética funcional: una nueva técnica para el estudio de las bases cerebrales de los procesos cognitivos. *Psicothema. 7* (1), 51-60

127. Vigneau, M., Jobard, G., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2005). Word and non-word reading: what role for the visual word form area?. *Neuroimage, 27*(3), 694-705.

128. Viñals, F., Vega, O., Alvarez, M. (2003). Aproximación neurocognitiva de las alteraciones de la lecto-escritura como base de los programas de recuperación en pacientes con daño cerebral. *Revista Española de Neuropsicología, 5*(3), 227-249.

129. Vlachos, F., Papathanasiou, I., & Andreou, G. (2007). Cerebellum and reading. Folia Phoniatrica et Logopaedica, 59(4), 177-183.

130. Von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. Developmental Medicine & Child Neurology, 49(11), 868-873.

131. Wechsler, D. (2007a). WISC-IV: Escala de inteligencia para niños cuarta versión. México: Manual Moderno.

132. Wechsler, D. (2007b). WISC-IV: escala Wechsler de inteligencia para niños-IV: manual técnico (pp.81-85). México: Manual Moderno.

133. Willcutt, E. G., Petrill, S. A., Wu, S., Boada, R., DeFries, J. C., Olson, R. K., & Pennington, B. F. (2013). Comorbidity between reading disability and math disability concurrent psychopathology, functional impairment, and neuropsychological functioning. *Journal of learning disabilities, 46*(6), 500-516.

134. Wilson, A. J., Andrewes, S. G., Struthers, H., Rowe, V. M., Bogdanovic, R., & Waldie, K. E. (2015). Dyscalculia and dyslexia in adults: cognitive bases of comorbidity. *Learning and Individual Differences*, 37, 118-132.

135. Woolrich, M., Jbabdi, S., Patenaude, B., Chappell, M., Makni, S., Behrens, T., Beckmann,C., Jenkinson, M. y Smith. M (2009). Bayesian analysis of neuroimaging data in FSL. NeuroImage, 45, 173-86.

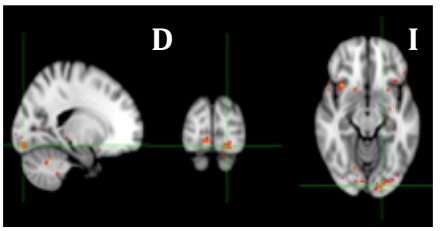
136. Xue, G., & Poldrack, R. A. (2007). The neural substrates of visual perceptual learning of words: implications for the visual word form area hypothesis. *Journal of cognitive neuroscience, 19*(10), 1643-1655.

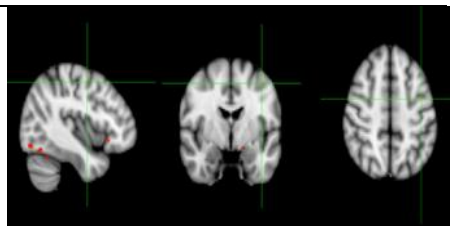
8.Anexos. Correlatos neurales de cada tarea pormenorizado

Anexo 1. Correlatos neurales en la tarea de lectura de Palabras.

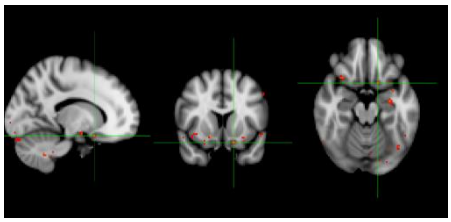
Correlatos neurales en la lectura de palabras del grupo BDA

Cluster Index	Voxels	Z	x	y	z	LOCALIZACIÓN
7	7169	4.4	-18	-90	-12	Giro fusiforme izquierdo
7		4.25	38	-60	-24	Corteza fusiforme Temporo-Occipital Derecha
7		4.25	-8	-102	-10	Giro lingual
7		4.2	-36	-54	-24	Corteza fusiforme Temporo-Occipital izquierda
7		4.2	20	-72	-12	Giro fusiforme occipital derecho
7		4.08	10	-90	-6	Polo occipital derecho
6	1887	3.82	-40	-4	50	Giro precentral izquierdo
6		3.63	-8	50	36	Polo frontal izquierdo
6		3.55	-48	2	42	Giro precentral izquierdo
6		3.53	6	46	40	Giro frontal superior derecho
6		3.48	-50	28	34	Giro frontal medial izquierdo
6		3.42	-8	24	46	Giro paracingulado izquierdo

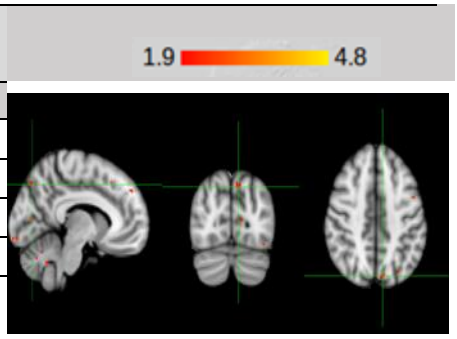




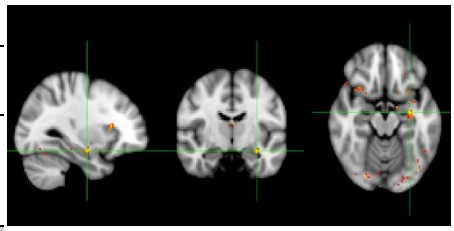
5	1129	4.22	-30	20	12	Corteza frontal opercular izquierda
5		4.06	-14	12	-18	Corteza orbito-frontal izquerda
5		3.95	-52	18	-8	Giro frontal inferior
5		3.79	-48	18	-8	Corteza orbito-frontal izquerda
5		3.77	-38	22	-22	Corteza orbito-frontal izquerda
5		3.63	-38	22	-10	Corteza orbito-frontal izquerda

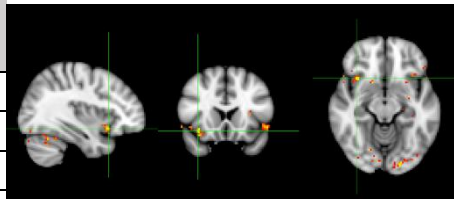


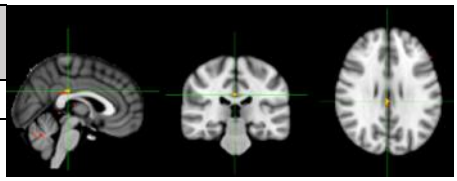
Cluster Index	Voxels	Z	x	y	z	LOCALIZACIÓN
4	1064	3.5	-8	-76	44	Precúneo izquierdo
4		3.22	-28	-72	44	corteza occipital lateral izquierda
4		3.21	-26	-70	40	corteza occipital lateral izquierda
4		3.18	-6	-76	48	precúneo izquierdo
4		3.17	-2	-70	42	precúneo izquierdo
4		3.11	-2	-78	42	precúneo izquierdo
3	766	4.81	-30	-10	-16	lóbulo temporal- hipocampo izquierdo
3		4.02	-18	-30	-8	giro parahipocampal izquierdo
3		3.84	0	-48	6	Giro del cíngulo izquierdo, división posterior.



3		3.75	-22	-20	-14	hipocampo izquierdo
3		3.6	-14	-4	-16	amígdala izquierda
3		3.53	-18	2	-14	amígdala izquierda
2	720	4.61	36	18	-12	ínsula derecha
2		4.24	16	12	-10	corteza orbital derecha
2		3.86	34	18	-18	corteza orbital derecha
2		3.71	56	18	-8	corteza orbital derecha
2		3.54	44	18	-8	corteza orbital derecha
2		3.48	52	20	-10	corteza orbital derecha
1	424	4.27	2	-28	28	Giro del cíngulo derecho, división anterior.
1		3.64	-2	-10	14	tálamo izquierdo
1		3.42	0	-40	26	Giro del cíngulo izquierdo, división anterior.
1		3.39	0	-24	14	sustancia blanca
1		3.21	2	-8	14	sustancia blanca- tálamo derecho
1		3.03	2	-20	12	tálamo derecho

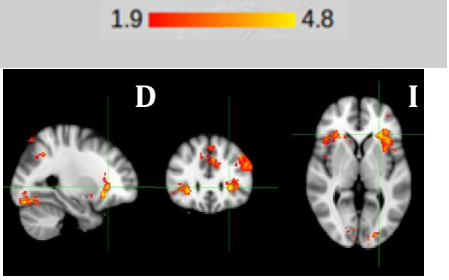


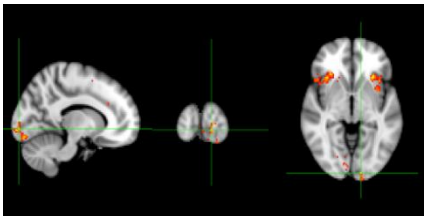




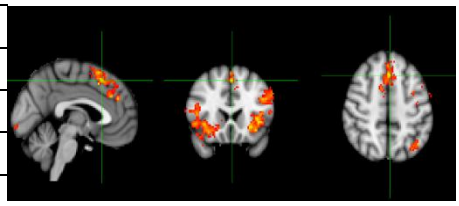
Correlatos neurales en la lectura de palabras del grupo DEA

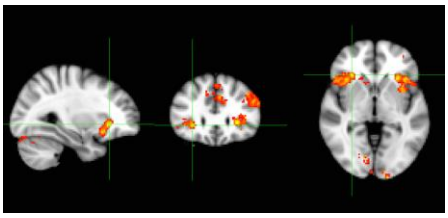
Cluster Index	Voxels	Z	x	y	z	LOCALIZACIÓN
6	2982	4.33	-26	28	2	Corteza orbital izquierda
6		4.28	-36	22	4	Corteza opercular izquierda
6		4.27	-40	22	10	Giro frontal inferior, par triangular izquierdo
6		4.27	-48	18	28	Giro frontal inferior, par opercular izquierdo
6		4.17	-44	12	28	Giro frontal inferior, par opercular izquierdo
6		4.04	-26	20	-6	Corteza insular izquierda
5	1041	4.24	-12	-96	-4	Polo occipital izquierdo
5		4.1	-26	-84	-16	Giro fusiforme occipital izquierdo
5		3.83	-22	-80	-12	Giro fusiforme occipital izquierdo
5		3.75	-20	-90	-10	Giro fusiforme occipital izquierdo
5		3.72	-16	-104	-2	Polo occipital izquierdo
5		3.66	-12	-88	-14	Giro fusiforme occipital izquierdo
4	1024	4.2	-2	20	50	Giro frontal superior izquierdo

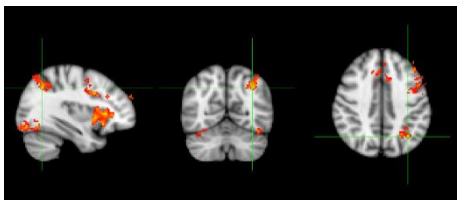


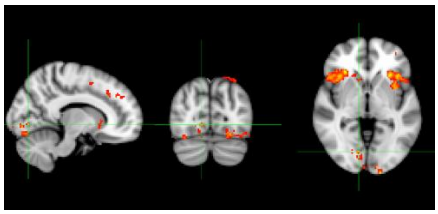


4		4.09	2	36	34	Giro paracingulado derecho
4		4	-2	16	46	Giro paracingulado izquierdo
4		3.63	6	36	48	Giro frontal superior izquierdo
4		3.58	-2	16	60	Giro frontal superior izquierdo
4		3.55	-2	42	28	Giro paracingulado izquierdo
3	1019	4.18	30	28	-2	Corteza orbital derecha
3		3.81	22	24	0	Sustancia blanca lado derecho-putamen
3		3.78	34	22	-4	Corteza insular derecha
3		3.62	46	22	10	Giro frontal inferior, par triangular derecho
3		3.53	30	18	-12	Corteza insular derecha
3		3.37	46	22	0	Giro frontal inferior, par opercular derecho
2	436	3.94	-34	-62	40	Corteza occipital lateral en su porción superior- giro angular-supramarginal
2		3.47	-40	-62	50	Corteza orbital lateral en su porción superior (izquierdo)
2		3.24	-36	-58	38	Giro angular izquierdo
2		3.15	-26	-58	40	Corteza occipital lateral en su porción superior- giro angular-supramarginal Corteza orbital lateral en su porción superior (izquierdo)
2		2.94	-32	-68	48	Corteza occipital lateral en su porción superior- giro angular 8 (izquierdo)
2		2.84	-40	-64	54	Corteza occipital lateral en su porción superior- giro angular 8 (izquierdo)
1	379	3.46	12	-76	-2	Giro lingual derecho.
1		3.43	34	-52	-26	Cerebelo derecho (VI, Crus I)
1		3.39	12	-84	-6	Giro lingual derecho- giro occipital fusiforme
1		3.32	20	-84	-16	Giro occipital fusiforme derecho- giro lingual
1		3.31	16	-84	-14	Giro occipital fusiforme derecho- giro lingual
1		3.04	10	-82	-12	Giro lingual derecho



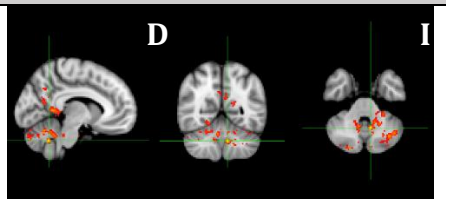




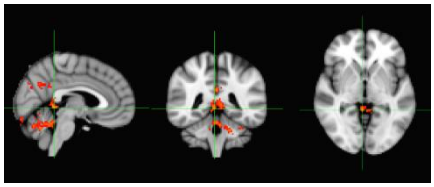


Diferencias en la correlación neural del grupo BDA> DEA en la lectura de palabras

Cluster index	Voxels	Z	x	y	z	Localización
2	2473	4.1	-8	-56	-36	Cerebelo IX izquierdo
2		3.58	-28	-78	-30	Cerebelo Crus I izquierdo
2		3.58	-4	-36	-30	cerebelo y puente
2		3.46	6	-50	-26	cerebelo derecho I-IV
2		3.42	6	-54	-26	cerebelo derecho I-IV
2		3.35	-2	-52	-22	cerebelo derecho I-IV

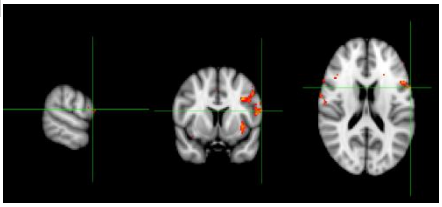


1	858	3.28	4	-42	-2	Giro cingulado derecho región posterior
1		3.27	-8	-50	6	Giro cingulado izquierdo región posterior
1		3.11	-4	-68	36	precúneo izquierdo
1		3.09	-6	-44	2	Giro cingulado izquierdo región posterior
1		3.08	0	-42	26	Giro cingulado izquierdo región posterior
1		2.99	-4	-52	22	Giro cingulado izquierdo región posterior



Diferencias en la correlación neural del grupo DEA> BDA en la lectura de palabras

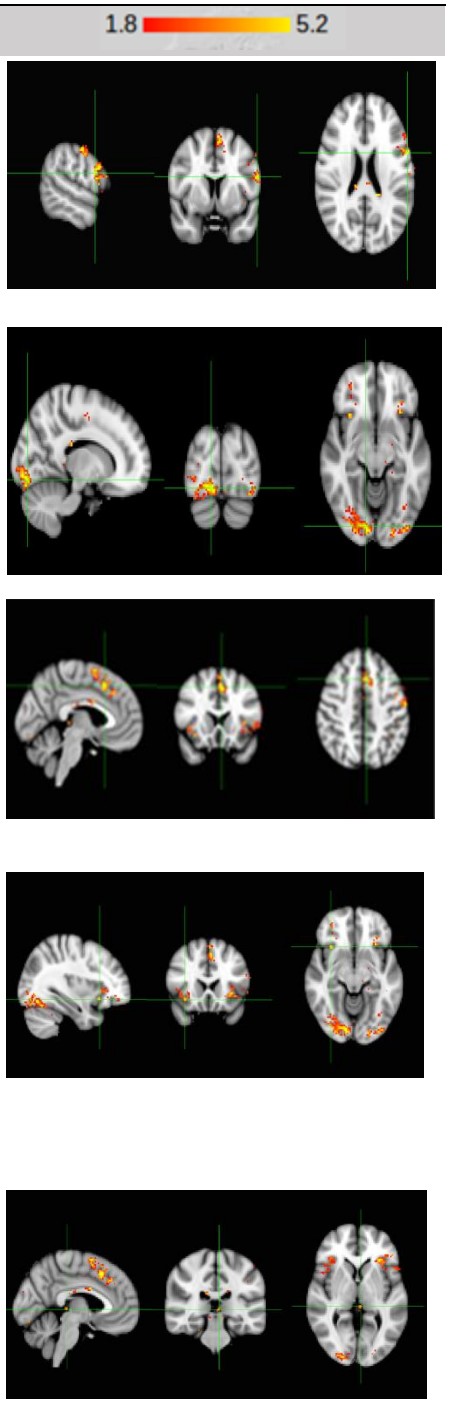
Cluster index	Voxels	Z	x	y	z	Localización
1	491	3.23	-62	8	18	giro precentral izquierdo BA44
1		2.99	-38	-14	48	giro precentral izquierdo BA4
1		2.97	-58	0	28	giro precentral izquierdo BA6
1		2.86	-60	0	22	giro precentral izquierdo BA6
1		2.84	-40	24	26	giro frontal medio, BA9
1		2.78	-58	0	12	giro precentral izquierdo BA6



Anexo 2. Correlatos neurales en la tarea de lectura de Pseudopalabras.

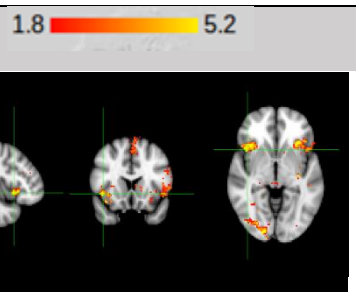
Correlatos neurales en la lectura de pseudopalabras del grupo BDA

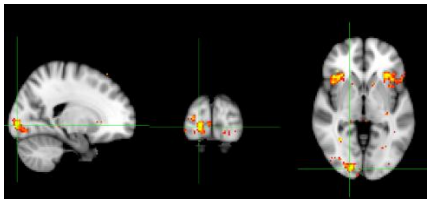
Cluster Index	Voxels	Z	x	y	z	LOCALIZACIÓN
5	6309	5.2	-58	6	22	Giro precentral
5		4.6	-60	8	26	Giro precentral
5		4.58	-30	24	-8	Corteza orbital izquierda
5		4.51	-34	28	-2	Corteza orbital izquierda
5		4.5	-58	-12	46	Giro precentral BA 4
5		4.49	-28	24	-4	Corteza Insular izquierda, BA13
4	6282	4.71	14	-84	-10	Giro lingual derecho BA18
4		4.7	24	-90	-8	Giro fusiforme occipital derecho, BA 18
4		4.68	10	-88	-10	Giro lingual derecho BA18
4		4.47	28	-88	-8	Giro fusiforme occipital derecho, BA 18
4		4.46	-28	-88	-14	Giro fusiforme occipital derecho, BA 18
4		4.43	20	-90	-2	Polo occipital derecho
3	3887	4.59	-4	18	46	Giro paracingulado izquierdo BA 8
3		4.44	-2	16	52	Giro paracingulado izquierdo BA 8
3		4.37	-6	26	36	Giro paracingulado izquierdo BA 32
3		4.33	0	12	58	Giro frontal superior
3		4.26	0	16	56	Giro frontal superior
3		4.25	-6	4	60	Corteza motora suplementaria izquierda BA6
2	1392	4.3	34	20	-10	Corteza motora suplementaria izquierda – BA13
2		4.17	40	16	-2	Corteza Insular derecha, BA13
2		4	44	14	-4	Corteza Insular derecha, BA13
2		3.98	30	26	-2	Corteza Insular derecha, BA13
2		3.67	38	22	-6	Corteza orbito-frontal derecha- Corteza Insular derecha, BA13
2		3.58	38	30	4	Giro frontal inferior, par triangular derecho, BA45
1	748	3.69	-4	-30	2	tálamo izquierdo
1		3.43	-14	-20	-16	Mesencéfalo
1		3.37	-10	-30	-8	69% mesencéfalo
1		3.31	0	-38	0	Sustancia blanca porción izquierda
1		3.23	10	-30	-8	Tronco cerebral
1		3.2	-12	-24	-10	Tronco cerebral

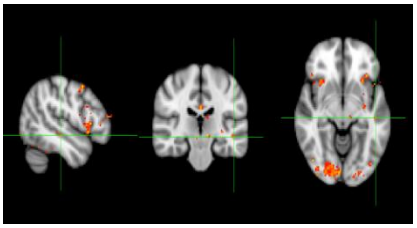


Correlatos neurales en la lectura de pseudopalabras del grupo DEA

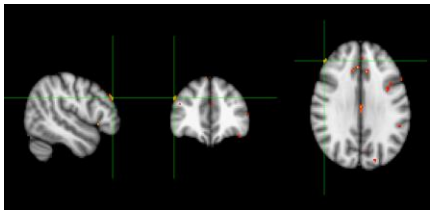
Cluster Index	Voxels	Z	x	y	z	LOCALIZACIÓN
4	14331	4.85	42	16	-4	Corteza Insular derecha, BA13
4		4.76	-30	24	0	Corteza Insular izquierda, BA13
4		4.76	-28	28	2	Corteza orbital derecha, Corteza Insular izquierda, BA13
4		4.68	-46	4	46	giro precentral izquierda
4		4.54	-44	14	-6	Corteza Insular izquierda, BA13
4		4.48	32	20	-6	Corteza Insular derecha, BA13
3	7511	5.16	20	-92	-2	Polo Occipital BA18
3		5.08	42	-72	-14	Corteza occipital lateral, porción inferior-Giro occipital fusiforme derecho BA19
3		4.85	10	-88	-10	Giro Lingual- Giro occipital fusiforme derecho BA19
3		4.7	32	-56	-2	Giro Lingual- Giro occipital fusiforme derecho BA19
3		4.53	28	-84	14	Giro Lingual- Giro occipital fusiforme derecho, BA18
3		4.49	40	-76	-14	Corteza occipital lateral, porción inferior- Giro occipital fusiforme derecho BA19
2	880	3.55	-48	-24	-8	Giro temporal medio izquierdo, giro temporal superior.
2		3.4	-42	-48	4	Giro temporal medio izquierdo, parte temporooccipital.
2		3.4	-50	-30	-4	Giro temporal medio izquierdo, división posterior.
2		3.3	-54	-40	26	corteza parietal opercular izquierda-Giro supramarginal BA40
2		3.27	-64	-48	12	corteza parietal opercular izquierda-Giro supramarginal BA40
2		3.13	-60	-42	24	36% Giro supramarginal BA39
1	464	3.78	50	40	30	Polo frontal derecho
1		3.25	46	34	24	Giro frontal medio derecho
1		3.18	46	20	24	Giro frontal inferior, BA 44
1		3.13	42	40	22	Polo frontal derecho, giro frontal medio derechoBA9





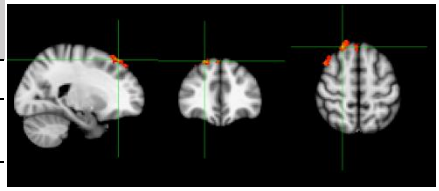


1		3.12	42	30	22	Giro frontal medio derecho BA9-Giro frontal inferior, par triangular.
1		2.62	56	28	24	Giro frontal inferior derecho, par triangular BA9. Giro frontal medio derecho.



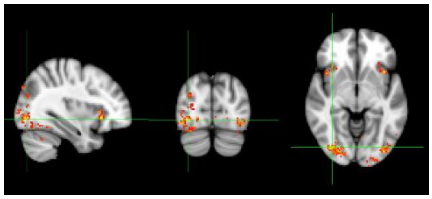
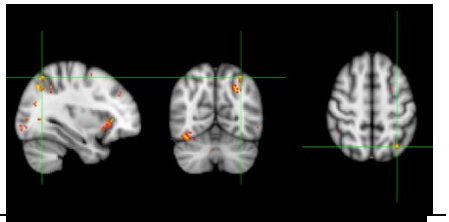
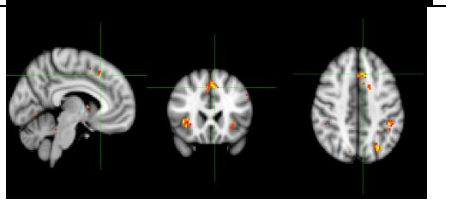
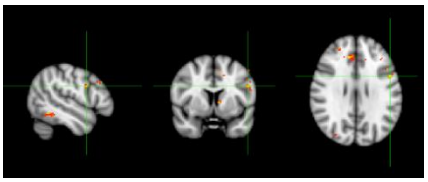
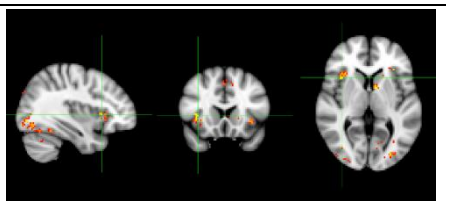
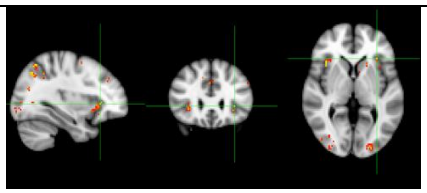
Diferencias en la correlación neural del grupo DEA> BDA en la lectura de pseudopalabras

Cluster index	Voxels	Z	x	y	z	**Localización**
1	515	3.84	22	36	56	Polo frontal- giro frontal superior derecho BA6
1		3.45	44	12	58	Giro frontal medio derecho
1		3.41	18	38	54	Polo frontal- giro frontal superior derecho BA6
1		3.03	22	32	58	Giro frontal medio derecho
1		2.93	16	48	48	Polo frontal
1		2.84	10	42	52	Polo frontal- giro frontal superior derecho

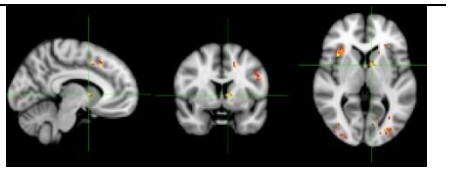


Anexo 3. Correlatos neurales en la tarea de comparación de números.

Correlatos neurales en la comparación de números del grupo BDA

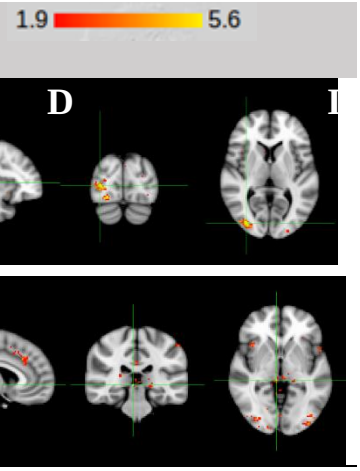
Cluster Index	Voxels	Z	x	y	z	LOCALIZACIÓN	1.9 — 5.6
6	13554	4.78	34	-80	-6	Corteza occipital lateral en su porción inferior derecha BA 19	
6		4.54	-26	-68	44	Corteza occipital lateral en su porción superior izquierda BA7	
6		4.53	-32	-64	54	Corteza occipital lateral en su porción superior, giro angular izquierdo	
6		4.43	-2	-38	-32	Tallo cerebral	
6		4.37	40	-68	-18	Giro fusiforme occipital derecho- Corteza occipital lateral en su porción inferior derecha BA 37	
6		4.37	-24	-64	42	Corteza occipital lateral en su porción superior izquierda	
5	1881	4.48	-6	22	44	Giro paracingulado izquierdo, BA 8	
5		4.24	10	34	28	Giro paracingulado derecho, BA 8	
5		3.93	4	10	48	Giro paracingulado derecho, BA 6	
5		3.92	2	16	48	Giro paracingulado derecho	
5		3.74	-18	4	44	Corteza premotora izquierda BA6	
5		3.68	26	46	28	Polo frontal derecho BA9	
4	1176	4.11	-50	6	28	Giro precentral izquierdo- giro frontal inferior, par opercular BA 6	
4		4.06	-46	0	30	Giro precentral izquierdo- giro frontal medio	
4		4.03	-38	32	30	Giro frontal medio izquierdo	
4		3.95	-48	42	26	Polo frontal izquierdo BA9	
4		3.88	-46	16	30	Giro frontal medio izquierdo BA 44	
4		3.77	-50	28	34	Giro frontal medio izquierdo BA 9	
3	602	4.51	36	18	4	Corteza Insular derecha, BA13	
3		4.43	32	20	-2	Corteza Insular derecha, BA13	
3		4.18	38	20	0	Corteza Insular derecha, BA13	
3		4.05	34	24	-4	Corteza Insular derecha, BA13	
3		3.92	32	22	4	Corteza Insular derecha, BA13	
3		3.79	42	14	-6	Corteza Insular derecha, BA13	
2	595	3.95	-32	26	2	Corteza Insular izquierda, BA13	
2		3.94	-38	16	-2	Corteza Insular izquierda, BA13	
2		3.93	-38	16	-6	Corteza Insular izquierda, BA13	
2		3.81	-30	26	-4	Corteza orbital izquierda BA13	
2		3.43	-30	24	-12	Corteza orbital izquierda BA47	
2		3.35	-32	14	-8	Corteza Insular izquierda, BA13	

1	578	4.06	-8	4	4	Caudado izquierdo
1		3.84	-12	12	-2	Caudado izquierdo
1		3.56	-18	2	-8	Sustancia blanca cerebral-putamen izquierdo
1		3.52	-18	18	2	Sustancia blanca cerebral-caudado, izquierdo.
1		3.29	-12	10	-8	Accumbens- putamen. Izquierdo
1		3.19	-6	8	-2	Caudado- accumbens izquierdo.



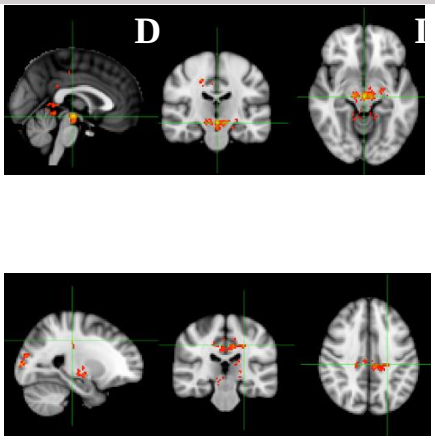
Correlatos neurales en la comparación de números del grupo DEA

Cluster index	Voxels	Z	x	y	z	**Localización**
1	49467	5.63	34	-84	6	corteza occipital lateral porción inferior derecha, BA 18
1		5.33	18	-72	-10	Giro lingual- Giro Occipital fusiforme derecho, BA18
1		5.19	28	-82	-12	Giro Occipital fusiforme derecho, BA19
1		5.18	24	-86	-10	Giro Occipital fusiforme derecho, BA18
1		5.17	36	-86	0	Corteza occipital derecha, porción inferior BA 18.
1		5.1	6	-30	-2	Tálamo derecho. tallo cerebral

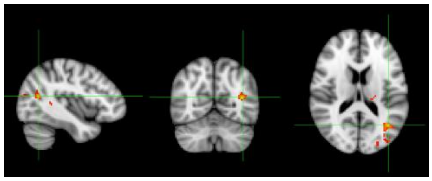


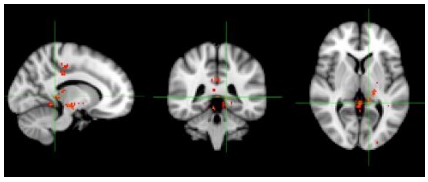
Diferencias en la correlación neural del grupo DEA> BDA en la comparación de números

Cluster Index	**Voxels**	**Z**	**x**	**y**	**z**	**LOCALIZACIÓN**
4	502	3.87	0	-20	-10	Mesencéfalo
4		3.67	-2	-24	-10	Mesencéfalo
4		3.4	-20	-10	-4	globo pálido izquierdo
4		3.22	-10	-20	-10	Mesencéfalo
4		3.21	14	-18	-10	Mesencéfalo
4		3.08	-22	-14	-8	Hipocampo izquierdo
3	377	3.38	-24	-26	38	fascículo longitudinal superior izquierdo
3		3.36	-6	-28	32	giro cingulado porción posterior izquierda BA23
3		3	-6	-30	38	giro cingulado porción posterior izquierda BA23
3		2.8	6	-36	28	giro cingulado porción posterior derecha BA23
3		2.77	20	-20	42	giro cingulado porción posterior izquierda BA31
3		2.71	2	-40	30	giro cingulado porción posterior izquierda BA23



2	350	3.8	-40	-62	16	Corteza occipital lateral en su porción inferior-izquierda, giro angular
2		3.36	-36	-74	18	Corteza occipital lateral en su porción superior- BA 19
2		3.22	-24	-94	6	polo occipital izquierdo BA18
2		2.9	-22	-90	20	Corteza occipital lateral en su porción superior BA19
2		2.88	-24	-86	18	Corteza occipital lateral en su porción superior BA19
2		2.86	-34	-80	10	Corteza occipital lateral en su porción superior BA18
1	342	3.19	-12	-40	4	54% Left Hippocampus, BA 30
1		3.15	6	-40	-12	Mesencéfalo
1		3.11	-12	-36	4	tálamo- hipocampo izquierdo
1		2.86	4	-50	-2	Cerebelo I-IV derecho
1		2.85	-18	-30	4	Tálamo
1		2.81	12	-44	-6	Giro lingual derecho

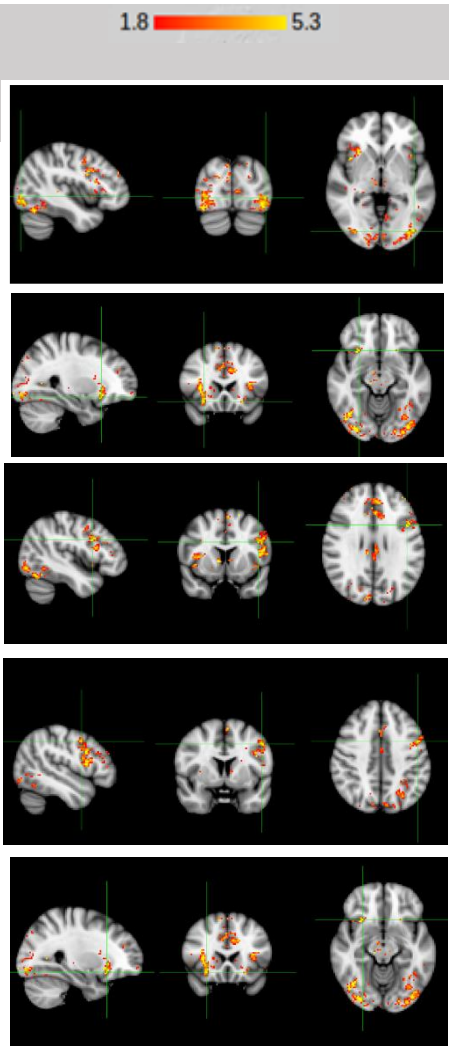




Anexo 3. Correlatos neurales en la tarea de la suma de números.

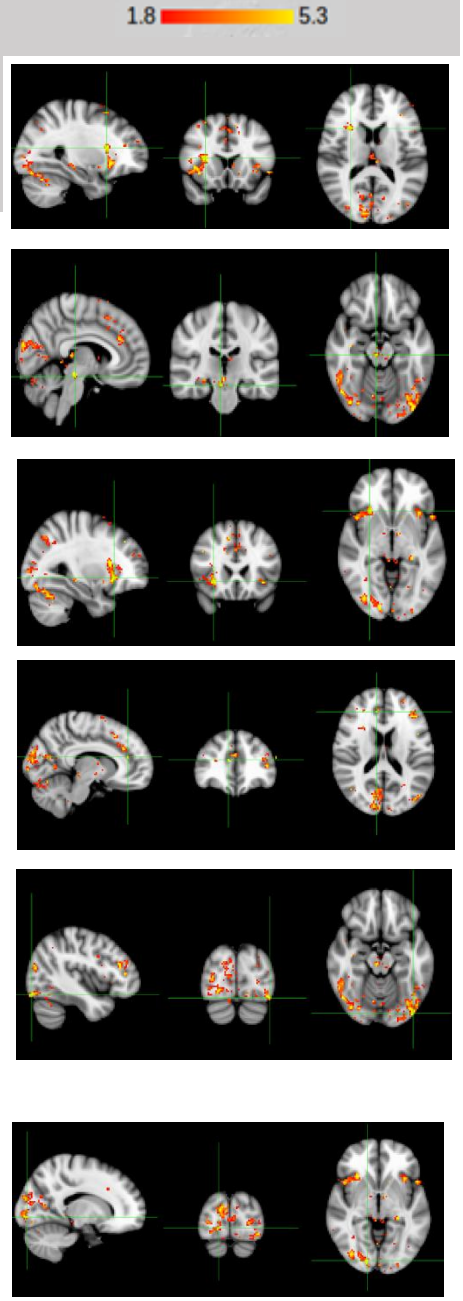
Correlatos neurales en la suma de números del grupo BDA

Cluster index	Voxels	Z	x	y	z	**Localización**
1	38987	5.29	-42	-82	-2	Corteza occipital lateral en su porción inferior, BA 19
1		5.05	28	20	-12	Corteza orbital derecha- Corteza insular derecha
1		4.94	28	18	-8	Corteza insular derecha
1		4.92	-44	10	28	Giro frontal inferior izquierda, par opercular
1		4.9	42	-80	-16	Corteza occipital lateral en su porción inferior derecha, giro fusiforme occipital derecho.
1		4.77	-48	4	42	Giro precentral- Giro frontal medial izquierdo.

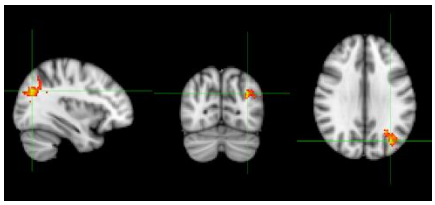
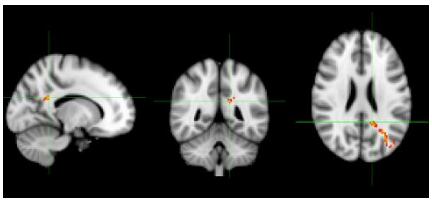
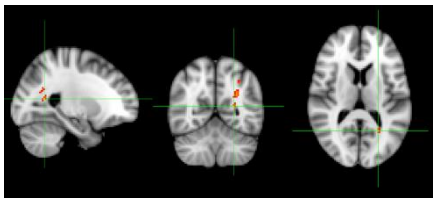


Correlatos neurales en la suma de números del grupo DEA

Cluster index	Voxels	Z	x	y	z	**Localización**
1	41757	5.38	28	16	14	Corteza opercular derecha
1		5.23	6	-24	-16	Tallo cerebral
1		4.91	30	22	-4	Corteza insular derecha
1		4.83	10	38	18	Giro cingulado izquierdo región anterior derecho
1		4.82	-42	-84	-16	Corteza occipital lateral en su porción inferior izquierdo. Giro fusiforme occipital
1		4.77	16	-88	-4	Giro Lingual derecho



Diferencias en la correlación neural del grupo DEA> BDA en la suma de números

Cluster index	Voxels	Z	x	y	z	**Localización**	1.8 5.3
1	545	3.02	-34	-72	30	Corteza occipital lateral en su porción superior izquierda	
1		2.99	-34	-72	26	Corteza occipital lateral en su porción superior izquierda	
1		2.88	-28	-60	26	Corteza occipital lateral en su porción superior izquierda	
1		2.85	-14	-48	24	Giro cingulado izquierdo, porción posterior.	
1		2.78	-24	-58	12	precúneo izquierdo	
1		2.73	-16	-52	22	precúneo izquierdo	

Índice de tablas

		Página
Tabla 1.	Hitos en el desarrollo de la competencia aritmética	19
Tabla 2.	Resultados para cada grupo en relación con la WISC-IV Y las subpruebas de la ENI	54
Tabla 3.	Promedios para cada una de las subpruebas de los Subdominios de lectura de la ENI	55
Tabla 4.	Promedios para cada una de las supruebas de los subdominos de escritura	59
Tabla 5.	Promedios para cada uno de los subdominios y subpruebas de aritmética	62
Tabla 6	Prueba de Kruskal Wallis en los 5 subgrupos neuropsicológicos En las diferentes subpruebas evaluadas	65
Tabla 7	Agrupaciones de la prueba de comparaciones múltiples de Rangos e intervalos de los promedios en puntajes escalares Para cada subgrupo	67
Tabla 8	Correlatos neurales de la lectura de palabras en los diferentes grupos	70
Tabla 9	Correlatos neurales de la lectura de pseudopalabras en los diferentes grupos	72
Tabla 10	Correlatos neurales de la comparación de números en los diferentes grupos	74
TABLA 11	Correlatos neurales de la suma de números en los diferentes grupos	76

Índice de figuras

		Página
Figura 1.	Modelo de doble ruta	11
Figura 2.	Modelo de lectura de Dehaene	13
Figura 3.	Modelo tentativo del circuito neural de la lectura	14
Figura 4.	Modelo moderno de redes neuronales para la lectura	15
Figura 5.	Representación esquemática del Modelo de Triple Código	21
Figura 6.	Esquema del modelo de triple código y su representación cerebral	22
Figura 7.	Actualización al modelo de triple código	25
Figura 8.	Diferencias en la activación cerebral ante tareas de lectura	34
Figura 9.	Esquema de presentación en la tarea de lectura de RMf	51
Figura 10.	Esquema de la tarea de Comparación de números de RMf	52
Figura 11.	Esquema de la tarea de suma en RMf	53
Figura 12.	Promedios de las puntuaciones estándar por cada una de los subdominios de la lectura en la prueba ENI.	56
Figura 13.	Promedios de puntuaciones escalares por cada una de las subpruebas que constituyen a los subdominios en la lectura ENI	57
Figura 14.	Promedios de puntuaciones estándar por cada uno de los dominios del rubro de escritura en la prueba ENI	59
Figura 15	Promedios de puntuaciones escalares por cada una de las subpruebas que constituyen a los subdominios en la escritura ENI	60
Figura 16	Promedios de puntuaciones estándar por cada uno de los dominios globales del rubro de aritmética en la prueba ENI	61
Figura 17.	Promedios por cada una de las subpruebas de la aritmética en la prueba ENI	63
Figura 18.	Resultados del Análisis de Escalamiento Multidimensional y los subgrupos formados a partir de las variables del WISC y de la ENI	64
Figura 19	Representación gráfica de los promedios del WISC y la ENI	68
Figura 20	Representación gráfica de los correlatos neurales implicados en la lectura de palabras	71
Figura 21	Representación gráfica de los correlatos neurales implicados en la lectura de pseudopalabras	73
Figura 22	Representación gráfica de los correlatos neurales implicados en comparación de números	75
Figura 22	Representación gráfica de los correlatos neurales implicados en la suma de números	76

Figura 23 Modelo de 4 pasos en el desarrollo de la cognición numérica 82
Figura 24 Resultados de los promedios de la escala WISC para cada subgrupo 83
Figura 25 Resultados de los promedios de los dominios de habilidades Académicas de la ENI 83
Figura 26 Resultados de los promedios de los dominios de Memoria, Atención y Habilidades Metalingüísticas 84
Figura 27 Representación de diferentes variables cognitivas en los diferentes grupos de problemas en el aprendizaje y con déficit intelectual 90