



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

PROCESAMIENTO ARITMÉTICO DE NIÑOS CON DISCALCULIA. UN ESTUDIO DE
POTENCIALES RELACIONADOS CON EVENTOS

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTORA EN PSICOLOGÍA

PRESENTA:
SONIA YANIN CÁRDENAS SÁNCHEZ

TUTOR PRINCIPAL: DRA. THALÍA FERNÁNDEZ HARMONY
INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: DR. JUAN SILVA PEREYRA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA, UNAM
DRA. DULCE MARÍA BELÉN PRIETO CORONA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA, UNAM
† DRA. JOSEFINA RICARDO GARCELL
INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA, UNAM
DRA. GINA LORENA QUIRARTE
INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA, UNAM

JURIQUILLA, QUERETARO. SEPTIEMBRE 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Gracias a:

Niños y padres de familia que participaron en este estudio.

Colaboradores del laboratorio de Psicofisiología del Instituto de Neurobiología de la UNAM Campus Juriquilla, Qro. por su valioso aporte teórico y experimental al estudio.

Leonor Casanova, Lourdes Lara, Nuri Aranda, Daniel Villareal, Bertha Esquivel, Iván Negrete, María Elena Juárez, Teresa Álvarez y Héctor Belmont por su asistencia técnica y administrativa.

Entrañables amigos que fueron consuelo y confort: Iliana Cárdenas, Tania Cárdenas, Patricia Ruiz, Gaby Valverde, Minerva Rojas, Sergio Sánchez, María Do Carmo, Diana Vázquez, Sofía Fuentes, Adriana Díaz, Otto García, Angélica Acosta y Susana Castro.

También gracias:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) por la beca No. 336175 y por el financiamiento del proyecto CB-2015-251309.

Al Programa de Apoyo de Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (**PAPIIT**) por el financiamiento del proyecto PAPIIT IN207520, con el cual se realizó gran parte del trabajo experimental de esta tesis.

A ti Sonia Sánchez †
que sigues conmigo iluminando mi recorrido.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. ANTECEDENTES	5
2.1 Discalculia	5
2.1.1 Comorbilidad de la discalculia	6
2.1.2 Niveles de severidad de la discalculia	7
2.1.3 Prevalencia de la discalculia	7
2.1.4 Discalculia y su relación con otros déficits cognitivos	8
2.1.5 Evidencias de la predictibilidad de la discalculia	9
2.1.6 Heterogeneidad de la discalculia	9
2.2 Procesamiento aritmético	10
2.2.1 Habilidades pre-aritméticas	10
2.2.2 Numerosidad (estimación de cantidades)	10
2.2.3 Representación numérica	11
2.2.4 Conteo	12
2.2.5 Estrategias de resolución de operaciones aritméticas	13
2.2.6 Verificación aritmética	14
2.2.6.1 Efectos y características de la tarea de verificación aritmética	15
2.2.6.2 Características individuales que influyen en la ejecución de una tarea de verificación aritmética	16
2.3 Potenciales relacionados con eventos (PRE)	17
2.3.1 Componente N400-aritmético en tareas de verificación aritmética	18
2.3.2 Componente positivo tardío (LPC) en tareas de verificación aritmética	20
2.3.3 Estudios de PRE durante tarea de verificación aritmética de niños	23
III. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	25
Preguntas de investigación	25
Objetivos generales	25

Hipótesis	25
IV. MÉTODO	27
4.1 Participantes	27
4.2 Instrumentos de evaluación y experimentación	29
4.3 Procedimiento	32
4.4 Escenario de evaluación y de experimento	34
4.5 Estándares éticos durante el estudio	34
V. ANÁLISIS DE DATOS	35
5.1 Análisis de datos conductuales	35
5.2 Análisis de datos electrofisiológicos de los PRE	35
VI. RESULTADOS	38
6.1 Resultados conductuales de los PRE	38
6.2 Resultados electrofisiológicos de los PRE	40
6.2.1 Caracterización de los efectos PRE en los grupos	40
6.2.2 Comparación de las ondas diferencia de los PRE entre los grupos	42
6.2.3 Heterogeneidad del grupo DIS	43
6.2.4 Relación entre el índice de memoria de trabajo y la amplitud de los PRE en el grupo con discalculia	45
VII. DISCUSIÓN	48
7.1 Diferencias conductuales entre los grupos DIS y BDA	48
7.2 Diferencias de PRE entre los grupos DIS y BDA	49
7.2.1 Efecto N400	49
7.2.2 Efecto LPC	51
7.3 Heterogeneidad dentro del grupo DIS	52
7.4 Memoria de trabajo y discalculia	52
VIII. CONCLUSIONES	54
IX. REFERENCIAS	55
X. APÉNDICES	65
10.1 Portada de artículo publicado	65

RESUMEN

En el ámbito escolar es frecuente escuchar preocupaciones de la comunidad educativa respecto a las bajas calificaciones en matemáticas que tienen los alumnos. En México, el bajo desempeño obtenido en esta área durante diversas pruebas educativas (Backhoff, 2016; Forbes, 2013; Pineda, 2016) puede atribuirse a un trastorno de aprendizaje denominado discalculia. La dirección general de divulgación de la ciencia (DGDC) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) asegura que entre 2 y 7% de la población de edad escolar padece este trastorno (DGDC-UNAM, 2017).

La discalculia (DIS) es un trastorno específico del aprendizaje que afecta la capacidad para aprender ciertos procesos matemáticos. Los niños que la padecen constituyen un grupo heterogéneo, en parte, debido a la variabilidad de procesos de dominio general como la memoria de trabajo (MT). Una forma de contribuir a reducir las deficiencias de estos niños, es describiendo los procesos cerebrales subyacentes que tienen lugar mientras resuelven tareas aritméticas. En este estudio, utilizamos las respuestas conductuales y los potenciales relacionados con eventos (PRE) para comparar el procesamiento aritmético de 22 niños con discalculia (grupo DIS) y 22 niños con buen desempeño académico (grupo BDA) mientras realizaban una tarea de verificación de sumas. Adicionalmente exploramos si, en los niños con DIS, los PRE se asociaban con la MT. Los efectos N400-aritmético y componente positivo tardío (LPC) se definieron por diferencias significativas entre las amplitudes de onda correspondientes a las soluciones incongruentes (incorrectas) y congruentes (correctas) de la suma. La precisión y la velocidad de las respuestas conductuales se compararon entre los grupos mediante análisis mixtos de varianza (ANOVA) y las amplitudes de PRE se analizaron mediante pruebas de permutación no paramétricas multivariadas y análisis de correlación. En análisis posteriores, el grupo DIS se dividió en dos subgrupos: uno con puntuaciones índice de MT dentro del rango promedio y el otro con puntuaciones índice de MT inferiores al promedio y se exploraron las diferencias entre estos subgrupos.

El grupo BDA obtuvo más aciertos que el grupo DIS, pero no se encontraron diferencias significativas entre-grupos, en los tiempos de respuesta. El grupo BDA presentó un efecto N400-aritmético, no así el grupo DIS. Ambos grupos mostraron efecto LPC. En el grupo DIS, se observó que cuanto mayor era el efecto LPC, mayor era el índice de MT. Los dos subgrupos del grupo DIS mostraron diferentes patrones de PRE: mientras que los niños con discalculia y un índice de MT dentro del rango promedio mostraron un patrón de PRE similar a los niños con BDA, aquellos con discalculia y un índice de MT inferior al promedio mostraron un patrón de PRE atípico. Los resultados indicaron que el grupo DIS era muy heterogéneo. La ausencia de un efecto N400-aritmético en estos niños sugiere que el procesamiento en esta etapa no fue lo suficientemente útil para calcular y verificar el resultado propuesto de la operación; por lo tanto, era necesaria una reevaluación del proceso de cálculo aritmético (que provocó un efecto LPC) para dar una respuesta correcta.

ABSTRACT

In the school environment, are common the concerns from teachers, psychologists and parents regarding the low performance in mathematics of the students. In Mexico, the low performance obtained in this area during different educational tests (Backhoff, 2016; Forbes, 2013; Moreno, 2017; 2018; Pineda, 2016; Rodríguez, 2015) can be due to socio-educational factors or even to a disorder of learning called dyscalculia. The general department of communication of science (DGDC) of UNAM argues that between 2 and 7% of the school-age population suffers this disorder (Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM, 2017).

Dyscalculia (DYS) is a specific learning disorder affecting the ability to learn certain mathematical processes. Children who suffer from it are a heterogeneous group, in part, due to the variability in the working memory (WM). One way to reduce the deficiencies in these children is to describe the underlying brain processes that take place while they are solving arithmetic tasks. In this study, we used behavioral responses and event-related potentials (ERP) to describe the arithmetic processing of 22 children with dyscalculia (DYS group) and 22 children with good academic performance (GAP group) by assessing ERP during an addition verification task and we explored whether, in children with DYS, ERP were associated with WM.

The arithmetic N400 and late positive component (LPC) effects were defined by significant differences between the corresponding wave amplitudes for incongruent and congruent solutions. Accuracy and speed of the behavioral responses were compared between groups by using mixed analyses of variance (ANOVAs) and ERP amplitudes were analysed using multivariate nonparametric permutation tests and correlation analyses. In subsequent analyses, the DYS group was divided into two subgroups: one with WM indices within the average range and the other with WM indices lower than average and differences between these subgroups were explored.

The GAP group obtained more correct responses than the DYS group, but no intergroup differences were observed in the response times. An arithmetic N400 effect was observed in the GAP group but not in the DYS group. Both groups displayed LPC effect. In the DYS group, the larger the LPC effect was, the higher the WM index. The two subgroups of the DYS group displayed different ERP patterns: while children with DYS and WM indices within the average range showed a similar ERP pattern to children with GAP, those with dyscalculia and WM indices lower than average showed an atypical ERP pattern. The results indicated that the group of children with DYS was very heterogeneous. The absence of an arithmetic N400 effect in these children suggests that the processing at this stage was not useful enough to produce and verification the solution proposed; thus, it was necessary to re-evaluate the arithmetic calculation process (LPC) in order to deliver a correct answer.

I. INTRODUCCIÓN

En el ámbito escolar es frecuente escuchar preocupaciones por parte de profesores, pedagogos, psicólogos y padres de familia respecto a las bajas calificaciones en matemáticas que tienen los alumnos. No es de extrañar que algunos estudiantes con bajo desempeño en matemáticas representen el alto índice de reprobación en esta área de conocimiento. La Evaluación Nacional de Logros Académicos en Centros Escolares (ENLACE) evidenció que en 2014, 6 de cada 10 alumnos de bachillerato evaluados en matemáticas tuvieron un desempeño insuficiente y elemental (Martínez, 2014). Además, el examen del Plan Nacional de Evaluación del Aprendizaje (PLANEA) aplicado cada ciclo escolar desde el 2015 hasta el 2018 a estudiantes de tercero de primaria, tercero de secundaria y tercero de medio superior, reveló que entre el 55 y el 81% de los alumnos presentaron un nivel insuficiente en matemáticas (Backhoff, 2016; Compromiso Social 2018; Moreno 2017; Muedano, 2015; Rodríguez, 2015).

La evaluación 2012 del Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos (PISA por sus siglas en inglés), realizado por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) evidenció que el 55% de los alumnos mexicanos de 15 años de edad no alcanzó el nivel de competencias básicas en matemáticas (Forbes, 2013). En el 2015 a través de la prueba PISA se registró que el 57% de los estudiantes mexicanos tenía conocimientos insuficientes en el área de ciencias y matemáticas (Pineda 2016). En el 2018, los estudiantes mexicanos obtuvieron puntajes por debajo del promedio en matemáticas y sólo el 1% se ubicó en los niveles más altos (nivel 5 o 6), mientras que el 44% de los estudiantes evaluados obtuvo un nivel mínimo de competencias (Molina, 2019).

El nivel de insuficiencia obtenido en matemáticas durante la última década en diversas pruebas puede atribuirse a factores socio-educativos como la falta de oportunidad escolar o inadecuadas estrategias de enseñanza-aprendizaje; a factores psicológicos como la falta de motivación, el desinterés escolar, situaciones adversas emocionales; o al hecho de que los estudiantes evaluados padecen un trastorno específico del aprendizaje de las matemáticas, denominado discalculia. Muchas veces los alumnos con este trastorno desconocen que lo padecen, quizá porque culturalmente se mantiene la idea de que “las matemáticas son difíciles”, y porque es muy fácil atribuirlo a flojera, desinterés o rebeldía del alumno. La dirección general de divulgación de la ciencia UNAM asegura que entre 2 y 7% de la población padece discalculia (DGDC, 2017). De acuerdo con la Asociación Americana de Psiquiatría (APA por sus siglas en inglés), el niño que la padece presenta dificultades en el procesamiento de información numérica, en el aprendizaje de hechos aritméticos o en el cálculo (APA, 2013).

Una forma de entender las deficiencias de estos niños es describiendo los procesos cerebrales subyacentes que tienen lugar mientras se enfrentan a situaciones que implican resolver tareas matemáticas; teniendo este conocimiento profundo, será más factible diseñar medidas de intervención para mejorar sus habilidades. Describir los procesos cerebrales subyacentes del niño con discalculia, implica en primer lugar, conocer los procesos de los niños que no presentan déficits en matemáticas, específicamente durante el procesamiento de la suma, dado que éste se despliega inmediatamente después del conteo, es de la aritmética la primera habilidad en desarrollarse y es la más sencilla; por esa razón, en este proyecto se comparó el procesamiento aritmético entre niños con discalculia y niños con buen desempeño académico, utilizando la técnica de potenciales relacionados con eventos (PRE) para explorar la actividad eléctrica cerebral durante la ejecución de una tarea de verificación de sumas.

II. ANTECEDENTES

2.1 Discalculia

Discalculia (DIS) es el término que se establece en la quinta versión del Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (por sus siglas en inglés DSM-5) para referirse a un patrón de dificultades caracterizado por problemas para procesar información numérica, aprender hechos aritméticos y realizar cálculos precisos o fluidos. Si se utiliza la discalculia para especificar este patrón particular de dificultades matemáticas, es importante también especificar cualquier otra dificultad que esté presente, por ejemplo, dificultades del razonamiento matemático o del razonamiento correcto de las palabras (APA, 2013).

De acuerdo con el DSM-5, la discalculia se diagnostica cuando:

A. Las dificultades en el aprendizaje de las matemáticas y el uso de las habilidades académicas en esta área, están indicadas por la presencia de al menos uno de los siguientes síntomas, los cuales han persistido al menos 6 meses a pesar de proveer intervenciones que apunten a esas dificultades: dificultades en el sentido numérico, en los hechos aritméticos o en el cálculo (por ejemplo, tener una comprensión deficiente de los números, sus magnitudes y relaciones, contar con los dedos para sumar números de un sólo dígito en lugar de recordar operaciones matemáticas como lo hacen sus compañeros, perderse en medio de cálculos y procedimientos aritméticos).

B. Las habilidades académicas están sustancial y cuantitativamente por debajo de lo esperado para su edad cronológica y causan interferencia con el desarrollo académico, ocupacional o en las actividades de la vida diaria; confirmadas con la administración de pruebas estandarizadas y una valoración clínica.

C. Las dificultades de aprendizaje se expresan durante la edad escolar, pero pueden no manifestarse completamente hasta que el individuo realice actividades que excedan el límite de su capacidad (por ejemplo, durante exámenes con límite de tiempo, lectura y escritura prolongadas o en la realización informes escolares complejos).

D. Las dificultades no se explican mejor por discapacidad intelectual, falta de agudeza visual o auditiva, otros trastornos psiquiátricos o neurológicos, psicosociales, falta de competencia o inadecuada instrucción escolar.

Estos criterios diagnósticos son encontrados con base en la entrevista, el historial clínico individual (del desarrollo, médico, familiar, educativo), informes escolares y evaluaciones psicoeducativas (APA, 2013).

Geary (1993) afirma que el término discalculia se refiere a una dificultad persistente en el aprendizaje o comprensión de conceptos numéricos, principios de conteo (ej.: la cardinalidad, que el último numeral, tal como “cuatro”, represente el número de objetos contados), ejecución de procedimientos aritméticos (ej.: identificar que $2 + 3 = 5$) y recuperación de hechos aritméticos de la memoria a largo plazo. Para Soltész y Szűcz (2009) la discalculia es un trastorno cognitivo que afecta la habilidad para aprender matemáticas en niños sanos con inteligencia promedio, adaptación adecuada y apropiado desempeño académico.

Los primeros signos de este trastorno específico del aprendizaje incluyen una comprensión deficiente de la magnitud numérica (ej.: no identificar que 8 es menor que 9), una comprensión rígida del conteo, la utilización de estrategias inmaduras para la resolución de problemas (ej.: cuentan con los dedos durante más años que otros niños y cometen más errores al contar), errores en la ejecución de procedimientos y retraso en el desarrollo de la comprensión de conceptos subyacentes al uso de procedimientos (Geary, 2004). Uno de los problemas más frecuentes en niños con discalculia es su dificultad para recordar hechos aritméticos, no se trata que estos niños olviden cualquier hecho aritmético, sino que no pueden recordar tantos hechos como los otros niños y parecieran olvidarlos en forma bastante rápida (Geary, 2017). Estos niños están en riesgo de desarrollar ansiedad hacia las matemáticas, lo cual los llevará a evitarlas y hará aún más difícil la adquisición de habilidades básicas en esta área (Geary, 2017).

Pueden reconocerse dos tipos de discalculia: la del desarrollo y la adquirida. En ambas las habilidades matemáticas están debilitadas, pero durante la primera, este déficit se ha producido a lo largo del desarrollo sin un factor detonador. En la segunda las deficiencias son producto de alguna lesión o accidente cerebral (Geary, 2004).

2.1.1 Comorbilidad de la discalculia

Durante mucho tiempo la discalculia se ha asociado con el trastorno específico del aprendizaje con dificultades en la lectura y con el trastorno específico del aprendizaje con dificultades en la expresión escrita. La primera se caracteriza por el déficit en precisión, velocidad, fluidez o comprensión de la lectura, mientras que el segundo se diagnostica cuando hay problema en deletreo, gramática, puntuación, claridad u organización de la expresión escrita (APA, 2013).

Es común que niños con discalculia tengan asociados otros trastornos, por ejemplo el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH), el trastorno de la comunicación, el trastorno del desarrollo de la coordinación, los trastornos del espectro autista, algunos trastornos mentales (como ansiedad, manía, depresión), anormalidades subyacentes del procesamiento cognitivo (déficit de percepción visual, procesos lingüísticos, atención, memoria o una combinación de éstos) (APA, 2013).

2.1.2 Niveles de severidad de la discalculia

- Leve. Las dificultades en el dominio aritmético exclusivamente o en éste y más dominios, pero que pueden ser compensadas en los servicios educativos especialmente en los años escolares.
- Moderado. Marca dificultades en, al menos, el dominio aritmético, que necesitan algún tiempo de intenso y especializado entrenamiento. Requieren adecuaciones de los servicios escolares en al menos parte del día en la escuela o trabajo para realizar sus funciones eficiente y precisamente.
- Severo. Presenta muchas dificultades en varias habilidades que afectan severamente varios dominios académicos, incluido el aritmético, por lo que requiere ser tratado con servicio intenso especializado e individualizado de enseñanza durante los años escolares. A pesar de las adecuaciones, es posible que el individuo no sea capaz de completar sus tareas de forma eficiente (APA, 2013).

2.1.3 Prevalencia de la discalculia

Las estadísticas conocidas reportan de manera general la prevalencia de los trastornos específicos del aprendizaje, pues no hay datos específicamente de la discalculia; en este sentido, la Asociación Americana de Psiquiatría en el 2013 reportó que la prevalencia de los trastornos específicos del aprendizaje está entre el 5% y el 15% de los niños de diferentes lenguas y culturas que tienen edad escolar, siendo más común en hombres que en mujeres (APA, 2013). Geary & Hoard (2001) afirman que la discalculia del desarrollo tiene una prevalencia de entre el 5% y el 8% de los niños con edad escolar. Otros autores reportan que entre el 6% y el 7% de los niños en edad escolar sufren de déficits cognitivos o neuropsicológicos que interfieren en sus competencias aritméticas, a pesar de tener coeficiente intelectual promedio y adecuada instrucción escolar (Badian, 1983; Gross-Tsur et al., 1996; Kosc, 1974). A nivel nacional, la DGDC de la UNAM declara que 2 y 7% de la población padece este trastorno y que es más frecuente en niñas que en niños (Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM, 2017).

2.1.4 Discalculia y su relación con otros déficits cognitivos

Diferentes estudios reportan que los niños con discalculia presentan déficits en otros procesos cognitivos como: la atención (Geary, 1993), las funciones ejecutivas (Andersson & Lyxell, 2007; Geary, 1993; Soltész & Szűcz, 2009) la memoria de trabajo (MT) (Berninger, 2008; Geary, 1993; Geary & Hoard, 2001; Geary et al., 1999; Mabbott & Bisanz, 2008; Mammarella et al., 2017; McLean & Hitch, 1999; Menon, 2016; Rotzer et al., 2009; Schuchardt et al., 2008; Shen et al., 2018; Swanson & Siegel, 2001) y la memoria a corto plazo (Hitch & McAuley, 1991).

Una de las variables cognitivas que se estudió en este proyecto fue la MT, razón por la cual se profundiza en su revisión teórica. De acuerdo con Baddeley (2006), la MT proporciona un almacenamiento activo de la información para su posterior manipulación a través de cuatro subsistemas: 1) bucle fonológico, 2) agenda visoespacial, 3) búfer episódico y 4) ejecutivo central. En el dominio de las matemáticas, el bucle fonológico está involucrado en el mantenimiento de datos aritméticos intermedios en forma de información lingüística y juega un papel esencial en las habilidades matemáticas que involucran la articulación de números como contar, resolver problemas y recuperar datos aritméticos (Geary, 1993; Shen et al., 2018). La agenda visoespacial actúa en paralelo al bucle fonológico, participa en la construcción de representaciones visuales de información numérica y es responsable de los aspectos espaciales del cálculo, como las estrategias de descomposición (Foley et al., 2017; Simms et al., 2016), la correcta posición de los números, el alineamiento adecuado de los números o columnas para operarlos. El búfer episódico provee un almacén temporal que vincula la información de los dos subsistemas anteriores con la memoria a largo plazo; permitiendo así, el mantenimiento de representaciones de números multicódigos (Camos, 2018). Finalmente, el sistema ejecutivo central coordina y monitorea el procesamiento simultáneo y realiza un seguimiento de las tareas matemáticas que ya se han realizado (Andersson & Lyxell, 2007, Berninger, 2008; DeStefano y LeFevre, 2004; Fuchs et al., 2005; Geary et al., 1999; Hitch & McAuley, 1991; Holmes & Adams, 2006).

Los niños con discalculia pueden tener dificultades en la memoria verbal a corto plazo, en la MT verbal (Attout y Majerus, 2014; Peng y Fuchs, 2016; Shen et al., 2018), en la memoria visoespacial a corto plazo y en la MT visoespacial (Mammarella et al., 2017; McDonald y Berg, 2018; Menon, 2016; Rotzer et al., 2009; Schuchardt et al., 2008) y en el ejecutivo central (Meyer et al., 2010). También se ha reportado en estos niños una menor velocidad de procesamiento (Geary et al., 1999; Landerl et al., 2004; Shalev et al., 2005).

2.1.5 Evidencias de la predictibilidad de la discalculia

Dados los déficits que suelen presentarse adicionalmente a la discalculia, se planteó la hipótesis de que, en edades tempranas, la expresión de alguna de estas deficiencias podía ser predictiva de la discalculia. Se encontró, en efecto, que en edades preescolares, las habilidades de MT visoespacial se han utilizado para predecir habilidades numéricas simbólicas (Gashaj et al., 2019). De Smedt et al. (2009) observó diferencias entre la predicción de las habilidades aritméticas que arrojaban la agenda visoespacial y el bucle fonológico a un año de seguimiento, de primero a segundo grado. En estas mismas edades, Swanson y Beebe-Frankenberger (2004) encontraron que la habilidad ejecutiva central predecía las habilidades matemáticas.

En el estudio longitudinal realizado por Träff et al. (2020) en el que se dio seguimiento de más años (desde edad preescolar hasta sexto grado), se observó que la aritmética verbal, el razonamiento lógico y las habilidades de procesamiento espacial bajas constituyen factores de riesgo para las habilidades matemáticas.

2.1.6 Heterogeneidad de la discalculia

Considerando la variedad con la que puede manifestarse la discalculia: factores de riesgo genéticos, variantes sintomatológicas, niveles de gravedad, comorbilidad con otros trastornos (APA, 2013) y los distintos déficits cognitivos asociados (atención, MT, funciones ejecutivas) que puede englobar (Andersson & Lyxell, 2007; Attout y Majerus, 2014; Geary & Hoard, 2001; Geary 1993; Geary et al., 1999; Landerl et al., 2004; Mammarella et al., 2017; McDonald y Berg, 2018; Meyer et al., 2010; Peng y Fuchs, 2016; Rotzer et al., 2009; Schuchardt et al., 2008; Shalev et al., 2005; Shen et al., 2018), es posible establecer que es un trastorno cognitivo heterogéneo (Kaufmann et al., 2013), por lo cual es de esperar una amplia variabilidad dentro del grupo de niños con discalculia.

Geary (1993) expresa que la heterogeneidad de la discalculia encaja en la teoría del déficit de fenómenos de dominio general como la MT, memoria a corto plazo y funciones ejecutivas in preescolares; de manera que los niños que la padecen constituyen un grupo heterogéneo.

Sóltez & Szűcs (2009) mediante un estudio en el que afirman que la discalculia involucra un rango de dificultades dependientes del funcionamiento de diferentes estructuras cerebrales o dependientes de la participación de las funciones ejecutivas, ponen de manifiesto la variabilidad de este trastorno.

En un meta-análisis que incluyó 36 estudios, Szűcs (2016) encontró que, dentro del grupo de niños con discalculia, había dos subgrupos diferentes; curiosamente, sus diferencias

consistieron en aspectos relacionados con la MT. Este trabajo permitió diferenciar dos subtipos claros: uno con déficit verbal y otro con déficit visual tanto de memoria a corto plazo como de MT.

2.2 Procesamiento aritmético

Es el conjunto de acciones que guían la solución de operaciones aritméticas básicas como la suma, resta, división y multiplicación (Temple y Sherwood, 2002). El procesamiento aritmético involucra la comprensión de los números y de los signos aritméticos, el acceso a plantillas de hechos aritméticos (modelos de asociación entre operación y respuesta por ejemplo $2 \times 4 = 8$), así como los pasos de acarreo o préstamo de números para resolver operaciones con varios dígitos (Sandrini et al., 2003).

2.2.1 Habilidades pre-aritméticas

Llegar a resolver operaciones aritméticas implica el desarrollo de habilidades previas que son adquiridas y aprendidas de manera jerárquica (Geary, 1993), se despliegan en los primeros años escolares y maduran a lo largo de los siguientes ciclos escolares (Geary, 2004), a las que se les puede denominar “pre-aritméticas”, la primera de ellas es el sentido numérico. El sentido numérico es la habilidad innata que permite a un individuo, desde edades tempranas, detectar cambios en el número de objetos presentados visualmente (Torresi, 2018). Permite reconocer que algo ha cambiado en una colección pequeña, cuando sin el conocimiento directo, un objeto ha sido eliminado o agregado a la colección (Dantzing, 1954 en Padrón, 2002; Dehaene & Cohen, 1995; Dehaene & Cohen, 1997). Se trata de una capacidad de adaptación al medio, está genéticamente en nuestro cerebro y es compartida por otras especies animales, especialmente por primates no-humanos (Dehaene & Cohen, 1995; Flombaum, et al., 2005; Torresi, 2018). Cuando esta noción numérica es codificada sirve de plataforma para la adquisición de conceptos complejos y dinámicos que permiten la adquisición progresiva de conocimientos aritméticos más elevados (Dehaene, 2000), por tanto, es esencial para establecer las bases del aprendizaje matemático, se vincula con los logros posteriores durante procesos matemáticos de mayor demanda cognitiva (Torresi, 2018).

2.2.2 Numerosidad (estimación de cantidades)

Dehaene (2000) afirma que es la capacidad básica del cerebro humano para reconocer la magnitud numérica, hacer comparaciones de pequeños conjuntos de elementos para establecer qué conjunto es mayor, menor o igual que otro. De forma semejante que el sentido numérico, la numerosidad tiene un componente genético. Se ha constatado la presencia de esta habilidad también en cerebros no humanos como el de los monos (Nieder y Miller, 2004). Starkey y Cooper (1980) observaron que los niños de 4 a 7 meses

de edad son sensibles al cambio en la numerosidad de un conjunto pequeño de puntos negros usando un paradigma habituación-deshabituación en el que los niños respondían fijando la mirada durante más tiempo (deshabituación) ante la novedad de un estímulo con menor numerosidad (2 elementos, comparado con el estímulo habitual con 3 elementos o viceversa).

Antell y Keating (1983) encontraron que desde la primera semana de vida los recién nacidos pueden discriminar cambios en la numerosidad en un conjunto pequeño de elementos (2 a 3 y de 3 a 2), pero no en conjuntos con mayor cantidad de elementos (4 a 6 y 6 a 4). Mostrándoles una serie de tarjetas con puntos en diferentes configuraciones, los bebés llegaban a habituarse (y perdían la atención) ante la presentación repetida de los mismos estímulos, pero si les presentaban una tarjeta con diferente cantidad de puntos pero con el mismo espacio entre estos o con la misma densidad de color de los puntos que alguna de las tarjetas presentadas durante la habituación, inmediatamente su atención incrementaba (deshabituación).

2.2.3 Representación numérica

El concepto del número o representación del número se entiende como el formato bajo el cual el número está representado y guardado en nuestro cerebro. Hay tres formatos: representación gráfica, nominal y de magnitud. El primero se refiere a la forma gráfica o al signo, el segundo a la forma verbal o escrita y puede indicar números u otros datos (fecha patria 15 de septiembre de 1810, la ruta de autobuses 121 o la puerta 3). El tercer formato es la representación abstracta de magnitud con la cual referimos cantidades (Jacubovich, 2006).

Dehaene en 1992, estableció el modelo de procesamiento numérico de triple código, en el cual los números pueden ser representados mentalmente en tres códigos: visual, auditivo-verbal y analógico de magnitud. Más tarde, en colaboración con Cohen (Dehaene & Cohen 1995), agregó a su original modelo la localización de estructuras cerebrales involucradas en el procesamiento numérico. De acuerdo con la figura 1, para estos autores el primer código es el visual arábigo en el que los números se representan en cadenas de dígitos, en esta representación participan bilateralmente el giro fusiforme, el surco intraparietal, áreas occipitales y parietales. El segundo formato es el auditivo-verbal en el que los números se representan en cadenas de palabras y participan los módulos del lenguaje, en este nivel se comprende y produce la palabra-número y las tablas de multiplicar, siendo el acervo de los hechos aritméticos; estos procesos están relacionados con la activación del giro angular izquierdo y áreas perisilvianas (Dehaene et al., 2003). El tercer formato es el significado del número en el que las cantidades o magnitudes se representan como distribuciones sobre una línea numérica analógica (también llamada

línea mental numérica) orientada de izquierda a derecha y en el que participan áreas bilaterales del surco intraparietal (Dehaene et al., 2004).

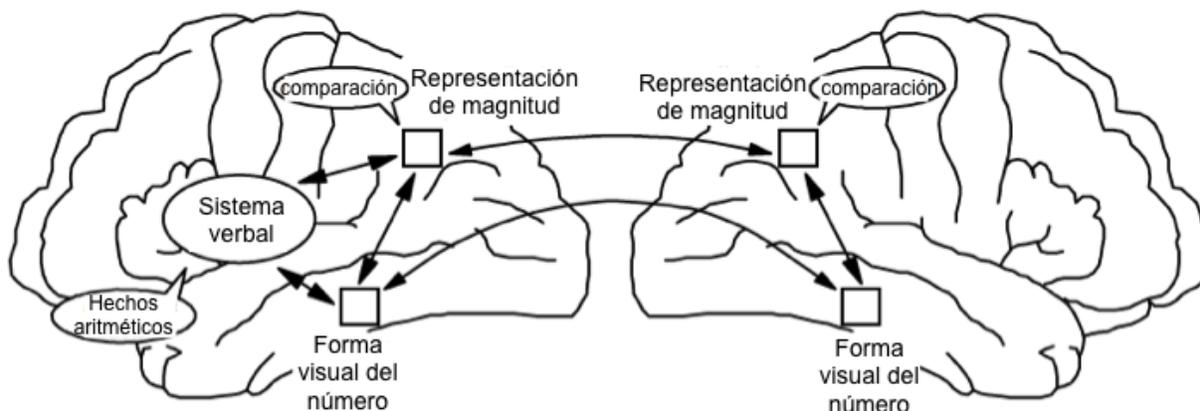


Figura 1. Diagrama de los sustratos anatómicos del triple código (modificado de Dehaene, 2000).

En la elaboración del concepto numérico se requiere la certeza de que todo se compone por un conjunto de partes que se pueden distribuir en diferentes formas, sin que por ello haya una variación, esto se conoce como “conservación numérica”, y la capacidad de ordenar los elementos de una serie en función de algún criterio, lo que se identifica como “seriación” (Miranda & Gil-Ilario, 2001).

Schirlin y Houdé (2006) comparten esta visión de las características del concepto numérico, pero además consideran que para lograr la seriación es necesario desarrollar habilidades de bajo orden como: a) la transitividad, la cual consiste en establecer relaciones entre objetos que no se comparan directamente, pero que se compararon indirectamente con otro (por ejemplo: A es mayor que B y B es mayor que C, entonces A es mayor que C; b) la reversibilidad, en la que establecen relaciones inversas entre los elementos (un objeto dentro de una serie ordenada de mayor a menor, es mayor que los siguientes pero menor que el anterior); y c) la clasificación, entendida como el establecimiento de semejanza, diferencia, permanencia e inclusión de los elementos.

2.2.4 Conteo

Permite determinar el número de elementos que conforman un conjunto a través de la asignación de un número a cada elemento. De acuerdo con Jordan y Hanich (2000), antes de la instrucción formal de primer grado, los niños internalizan principios y procedimientos de conteo básico. Estos principios son descritos por Gallistel y Gelman (1992):

1. Correspondencia uno a uno. También llamada “biunívoca”, consiste en comprender que, para colocar los objetos en un conjunto, todos los objetos deben ser etiquetados

una sola vez. También puede entenderse como la asignación de categoría de contado o no contado.

2. Orden estable. Las palabras-número deben utilizarse en orden concreto y estable, conforme a lo socialmente aceptado.
3. Cardinalidad. La última cifra o cardinal del conjunto es representativa de todo el conjunto. Es el número o cantidad de elementos contenidos en un conjunto.
4. Abstracción. El conteo es aplicado a cualquier clase de objetos reales o imaginarios, sin importar los rasgos físicos de los objetos.
5. Irrelevancia del orden. El orden del conteo es irrelevante para el resultado final, es decir se consigue el mismo cardinal no importando el orden del conteo.

Cada una de estas acciones abre camino a las operaciones aritméticas básicas (Miranda y Gil-Ilario, 2001) y lo hace de forma escalonada durante los primeros años de vida (Gallistel y Gelman, 1992). Los niños de 2 a 3 años pueden numerar objetos y paulatinamente adquirir las reglas del concepto numérico, cerca de los 5 años de edad adquieren los principios de conteo, y posteriormente a partir de su ingreso a la educación formal se irán acrecentando sus habilidades aritméticas.

Durante los tres primeros años de educación primaria los niños se entrenan en los conocimientos de los números, sus relaciones y sus operaciones; trabajan con números naturales, agrupamiento de unidades, decenas, centenas y millares; así como con el orden y la serie numérica; además pueden referirse al antecesor y sucesor, así como indicar su valor posicional. En estos tres años se enseñan algoritmos de suma, resta, multiplicación y división. Pero ¿cómo se pueden resolver estas operaciones? ¿cómo se puede llegar al resultado? Para llegar al resultado de una operación aritmética se pueden utilizar algunas estrategias.

2.2.5 Estrategias de resolución de operaciones aritméticas

Las estrategias de resolución de operaciones aritméticas son las acciones realizadas para llegar al resultado de una operación. Pueden clasificarse en dos grupos, las de procedimiento y las de asociación automática de relaciones operación-resultado previamente aprendidas y reforzadas por la práctica repetida (Nuñez-Peña et al., 2011), las cuales se almacenan en la memoria a largo plazo en un código verbal similar al de las palabras (Dehaene, 1992; Dehaene y Cohen, 1995).

En la estrategia de asociación automática, también denominada recuperación de hechos aritméticos, el resultado se recupera de la memoria a largo plazo (Campbell & Fugelsang, 2001; Campbell y Xue, 2001; LeFevre et al., 1996; Nuñez-Peña et al., 2011). Ésta requiere menos tiempo y es la más utilizada por adultos para números pequeños. Geary & Hoard

(2001) afirman que dicha estrategia está mediada por el criterio de confianza en los niños con desarrollo típico, pues sólo aquellos niños con mucha confianza de que la respuesta es correcta emiten la respuesta, a diferencia de los niños que tienen un criterio indulgente, quienes darán la respuesta independientemente de estar seguros de que sea correcta o no.

Se pueden distinguir al menos cuatro estrategias de procedimiento: 1) conteo con dedos, 2) conteo verbal sin dedos o cantinela, 3) descomposición y 4) transformación en operaciones más sencillas. De acuerdo con Temple y Sherwood (2002), los niños pueden resolver problemas aritméticos con diferentes estrategias dependiendo de su edad: el conteo con dedos es utilizado durante los primeros años de vida, el conteo con dedos y el conteo continuo en voz alta son empleados durante los primeros años escolares. Ambos tipos de conteo implican agregar unidades, se pueden realizar por “counting all” o “contar todo” (ir contando de uno en uno desde el primer número del primer operando hasta el último número del segundo operando, por ejemplo para resolver $4+3$ se cuenta desde el 1 hasta el 7) o por “counting on” o “ir contando” (ir contando por pasos, por ejemplo en el problema $4+3$ se cuenta 4, 5, 6, 7) (Siegler & Jenkins, 1989).

La estrategia de descomposición implica reconstruir la respuesta basándose en la recuperación de una operación parcial más sencilla y una vez obtenido el resultado ir adicionando unidades (Geary, 2004); por ejemplo, para resolver $8+6$ primero se suma $8+2$, igual a 10, y luego a 10 se le suman los 4 restantes ($10+4$) dando como resultado final 14. La estrategia de transformación implica, como su nombre lo indica, transformar en procesos más sencillos para llegar al resultado. Estas dos últimas estrategias se utilizan para resolver problemas con números grandes e implican más pasos, por eso requieren más tiempo (Nuñez-Peña et al., 2011).

Generalmente, los niños más pequeños o los que tienen menos experiencia utilizan el “counting all” y poco a poco, a medida que crecen, utilizan el “counting on”, para posteriormente lograr recuperar la respuesta de la memoria a largo plazo (Temple y Sherwood, 2002).

2.2.6 Verificación aritmética

La verificación aritmética implica identificar si un número presentado coincide o no con la solución de una operación aritmética previamente dada. Por ejemplo, si se presenta la operación $2+2$ (estímulo contexto) y seguidamente se presenta el número 4 (estímulo prueba) como solución de la operación, el sujeto debe identificar si el 4 es o no (en su opinión) la solución correcta de la operación $2+2$. Cuando la solución es correcta, se

establece que es congruente con la operación previa y cuando es incorrecta se establece que es incongruente (Avancini et al., 2015).

Para poder juzgar la congruencia o incongruencia de la solución de una operación aritmética es necesario obtener (utilizando cualquier estrategia) la solución correcta, mantener en la MT dicha solución y compararla con el estímulo prueba. De esta forma, si a un niño se le presenta la suma $3+4$ seguida de la solución "9", primero debe calcular $3+4=7$, luego debe mantener ese resultado en la MT y finalmente identificar que 7 es diferente de 9; por lo tanto el juicio del niños debe ser, que esa solución es incongruente.

De acuerdo con Avancini et al. (2015) en la verificación aritmética interfieren cuatro procesos: 1) violación de la expectativa, el cual sucede cuando no es igual el número de operaciones con resultado congruente que con resultado incongruente, 2) diferencias de las características físicas de las soluciones congruentes e incongruentes propuestas, 3) efecto de magnitud derivado de qué tan alejada está la solución propuesta de la solución correcta y 4) violaciones de las restricciones semánticas definidas por la operación aritmética; esto ocurre cada vez que se propone una solución incongruente debido a que la operación aritmética automáticamente activa la solución congruente, la cual se almacena temporalmente en un sistema similar al del lenguaje.

2.2.6.1 Efectos y características de la tarea de verificación aritmética

Con frecuencia el desempeño conductual en una tarea de matemáticas depende de las características explícitas e implícitas de los operandos y de la solución de la operación, en la verificación aritmética es común que se presente un fenómeno o efecto de *priming*, el cual se manifiesta como un menor tiempo de respuesta cuando hay facilitación dada por el estímulo contexto, es decir, cuando la solución obtenida por el participante coincide con la solución propuesta (condición congruente). Algunos autores afirman que la solución congruente se recupera más rápido de la memoria (Niedeggen y Rösler, 1999; Niedeggen et al., 1999). Esto implica que, para dar una respuesta correcta, el niño necesita no sólo realizar un procesamiento aritmético adecuado, sino también mantener adecuadamente el resultado en la memoria de trabajo verbal a través de la memoria verbal a corto plazo, lo que conduce a la facilitación.

Efecto de distancia numérica "split effect". En el que hay menos aciertos y mayor tiempo de respuesta cuando la solución incongruente es cercana a la congruente que cuando es lejana (Ashcraft & Battaglia, 1978; Dehaene y Cohen, 1995). Ejemplo: es más rápido identificar el error en $7+8=23$ que en $7+8=17$.

Efecto de tamaño “size effect”. El tiempo de respuesta es mayor y se cometen más errores cuando los operandos son cantidades grandes que cuando son pequeñas (Ashcraft, 1992; Zbrodoff y Logan 2005). Ejemplo: es más rápido identificar el error en la operación $7+8=17$ que en la operación $527+358=887$.

Efecto de asociación numérica espacial de los códigos de respuesta (SNARC por sus siglas en inglés). Consiste en una interacción sistemática entre la posición de la respuesta y la magnitud del número, en donde los números pequeños (ej. 1 o 2), de un conjunto de números presentados, se responden más rápidamente con la mano izquierda y los números grandes (ej.: 7 o 9) se responden más rápidamente con la mano derecha. De acuerdo a Dehaene et al. (1993) este efecto ocurre como un reflejo de la representación de magnitud análoga, en la cual los números se alinean de menor a mayor iniciando de izquierda a derecha.

Efecto impar “odd effect”. Consiste en un procesamiento más lento para los números impares, que para los números pares (Krueger y Hallford, 1984). Se han observado, al menos en la multiplicación y suma, mayores tiempos de reacción para las parejas de números impares (ej. 3, 5). Este efecto se atenúa cuando sólo de uno de los operandos es impar. En tareas de verificación con operandos pares, es más rápido determinar que la respuesta es incorrecta, si la solución presentada es impar que cuando es par (por ejemplo, $8 \times 4 = 33$ es rechazada más rápidamente que $8 \times 4 = 34$).

Efecto de compatibilidad. Cuando la solución de la operación y alguno de los operandos tienen un número idéntico, se puede entender como solución correcta, aunque no lo sea y esto aumenta la tasa de error (Campbell & Hrenyk, 2012). Ejemplo: $7+3=13$ (el 3 es un número que aparece en un operando y en la solución).

2.2.6.2 Características individuales que influyen en la ejecución de una tarea de verificación aritmética

El desempeño conductual (número de aciertos y tiempo de respuesta) en las tareas aritméticas depende de las características individuales: edad (De Smedt et al., 2009; Geary & Wiley, 1991; Geary et al., 1992), género (Fennema et al., 1998), grado escolar (Geary, 2004; Imbo & Vandierendock, 2008), habilidad aritmética (Cipora & Nuerk, 2013; Imbo et al., 2007; LeFevre & Kulak, 1994; Núñez-Peña & Suárez-Pellicioni, 2012), y conocimiento cultural (Campbell & Xue, 2001).

Se han observado más aciertos y menor tiempo de respuesta en niños mayores que en niños pequeños (Imbo & Vandierendock, 2008) y en adultos jóvenes que en niños (Prieto-Corona et al., 2010; Van Beek et al., 2014; Zhou et al., 2011). Además, los niños con

desarrollo típico tienen menos errores y son más rápidos que los niños discalculia (Geary, 1993).

2.3 Potenciales relacionados con eventos (PRE)

Los PRE son el registro de los cambios en la actividad eléctrica cerebral relacionados temporalmente a eventos o estímulos sensoriales, motores o cognitivos (Rodríguez et al., 2011). Se producen por la actividad sincrónica de grandes poblaciones neuronales que están procesando la información de dichos eventos. Es una técnica no invasiva con una alta resolución temporal (en el orden de milisegundos), lo que permite estudiar en tiempo real los procesos cognitivos.

Para la obtención de los PRE cognitivos se realiza un registro electroencefalográfico durante la realización de una tarea cognoscitiva, esta tarea contiene un estímulo específico de interés al cual el sujeto responde (Bernal et al., 2011). La respuesta que emite el participante está en función de al menos dos condiciones, por ejemplo: un “estímulo congruente” y otro “estímulo incongruente”, en el caso de tareas que incluyen un estímulo contexto.

El método más utilizado para obtener la señal eléctrica cerebral relacionada con el evento en estudio es la promediación de los segmentos del electroencefalograma (EEG) que están sincronizados con el estímulo, promediando por separado los estímulos de cada condición. Primero se obtienen los promedios por sujeto (PRE individuales) y posteriormente se promedian los PRE de los individuos de un mismo grupo para obtener un gran promedio para cada condición. Tanto el promedio individual como el gran promedio grupal se caracterizan por presentar deflexiones (cambios) de voltaje en función del tiempo (Rodríguez et al., 2011).

Un componente es una deflexión en la señal electroencefalográfica asociada generalmente a un proceso cognitivo y se define de acuerdo con su amplitud, polaridad, latencia y distribución topográfica. La amplitud es el voltaje (medido en microvoltios), la polaridad indica si la deflexión es positiva o negativa, la latencia es el tiempo entre la presentación del estímulo y la aparición del pico máximo de un componente y la distribución topográfica se refiere a los lugares del cuero cabelludo en donde el componente se registra con mayor o moderada amplitud (Bernal et al., 2011). El efecto de un componente está dado por la diferencia de amplitud de la señal eléctrica entre dos condiciones de una tarea.

2.3.1 Componente N400-aritmético en tareas de verificación aritmética

Estudios previos en adultos jóvenes sanos que han utilizado PRE durante tareas de verificación aritmética han reportado un componente negativo con mayor amplitud en la solución incongruente (cuando no hay facilitación dada por el estímulo contexto) que en la solución congruente (cuando si hay facilitación dada por el estímulo contexto) (Dong et al., 2007; El Yagoubi et al., 2003; Hinault & Lemaire, 2016; Prieto-Corona et al., 2010; Szűcs & Csépe, 2005). Este componente es denominado N400-aritmético, comienza aproximadamente a los 250 ms después del inicio de la presentación del estímulo, con un pico máximo alrededor de los 400 ms y su topografía es típicamente centro-parietal (Dickson & Federmeier, 2017; Hinault & Lemaire, 2016; Jost et al., 2004; Niedeggen et al., 1999; Niedeggen & Rösler, 1999; Prieto-Corona et al., 2010). Se cree que el componente N400-aritmético involucra la recuperación automática de datos aritméticos de la memoria a largo plazo (Niedeggen & Rösler, 1999); sin embargo, cuando la recuperación automática de los resultados correctos no coincide con la solución propuesta (incongruente), se requieren procesos inhibitorios adicionales (Hinault & Lemaire, 2016). Esto explica por qué se observa una latencia más larga en la condición incongruente que en la condición congruente.

La diferencia significativa en amplitud entre el componente N400-aritmético provocado por la condición incongruente y el componente N400-aritmético provocado por la condición congruente se conoce como efecto N400-aritmético (Niedeggen et al., 1999). Este efecto refleja la fuerza de la relación de la solución con el contexto (operación aritmética) (Niedeggen & Rösler, 1999). Otros autores lo han denominado “Arithmetic Mismatch Negativity” (negatividad de no-coincidencia aritmética) (Hsu & Szűcs, 2011) porque refleja la falta de coincidencia entre la solución propuesta y el estímulo contexto.

Estudios con diferentes poblaciones han indicado que el efecto N400-aritmético está modulado por habilidades aritméticas. Se encontró un mayor efecto N400-aritmético en adultos con mejores habilidades aritméticas en comparación con adultos con peores habilidades aritméticas (Núñez-Peña et al., 2011; Núñez-Peña & Suárez-Pellicioni, 2012; 2015; Thevenot et al., 2007) y en adolescentes control en comparación con adolescentes con discalculia (Soltész et al., 2007; Soltész & Szűcs, 2009).

En el estudio realizado por Niedeggen et al. (1999) en adultos jóvenes durante una tarea de incongruencia semántica y otra tarea de incongruencia aritmética, se reportó que el N400 en su máximo pico tiene similar topografía para ambas incongruencias (fronto-posterior medial), sin embargo, cuando N400 iba disminuyendo, la incongruencia aritmética presentó topografía postero-temporal izquierda, mientras que la semántica presentó topografía centro-posterior derecha. El estudio consistió en la realización de dos

experimentos, en el primero de ellos combinaron una tarea semántica y una tarea aritmética, en las cuales se presentaron operaciones de multiplicación con resultados congruentes e incongruentes y oraciones con terminaciones semánticamente congruentes e incongruentes. Sólo emplearon operaciones de multiplicación en las que se presentaban secuencialmente tres números; el primero era el primer operando, el segundo era el segundo operando y el tercero era el presunto "resultado" de multiplicar los dos operandos previos; la tarea del sujeto consistía en indicar si este resultado era correcto (congruente) o no con la operación de multiplicación previa. Para las incongruencias semánticas, se presentaron una serie de 120 oraciones mostrando una palabra después de la otra, el sujeto debía decidir si la última palabra presentada tenía relación semántica con la oración o no. Los resultados mostraron que las tareas semánticas y aritméticas generan un pico negativo entre los 300 y 500ms, con la diferencia de que ante incongruencias aritméticas esta negatividad es seguida de una positividad. Las dos negatividades son similares en su latencia y distribución, pero diferentes en su duración. El efecto de la N400 semántica es resuelto a los 550ms, mientras que la N400 aritmética retorna a su estado basal a los 480ms.

En el estudio del 2004 realizado por Jost et al. se asumió que efecto del tamaño de la operación (3×2 vs. 8×7) genera una amplitud de onda diferente entre las soluciones congruentes e incongruentes. Se registraron los PRE a 16 individuos jóvenes universitarios mientras realizaban una tarea semántica y una aritmética. La tarea aritmética consistía en una presentación de tres números en secuencia, al igual que en el experimento de Niedeggen et al. (1999), los dos primeros eran los operandos de un dígito y los sujetos tenían que verificar si el tercer dígito presentado era congruente o incongruente con el resultado de dicha multiplicación, la tarea semántica consistía en verificar si la tercera palabra tenía relación semántica con la segunda palabra presentada. Encontraron que las incongruencias semánticas y aritméticas generaron un componente N400 con distribución en áreas centro-parietales, con lo que concluyeron que ambos efectos están funcionalmente relacionados y dependen del contexto. Adicionalmente observaron que los problemas grandes (8×7) comparados con los de menor magnitud (chicos: 3×2) presentaron mayores latencias, los autores sugieren que esto se debe a que los problemas de mayor tamaño requieren de una verificación de la estimación de la magnitud.

En otro estudio, llevado a cabo por Szűcs y Csépe en el 2005, con un paradigma de sumas simples en el que el sujeto debía decidir si el resultado propuesto era congruente o incongruente, encontraron, por un lado, una N400 (centro-parietal, ligeramente mayor en el hemisferio derecho) de mayor amplitud para los resultados incongruentes y, por otro lado, que la N400 era de mayor latencia y amplitud para los resultados incongruentes lejanos que para aquellos más cercanos al resultado correcto.

Zhou et al. (2006) presentaron a universitarios multiplicaciones, sumas y restas de un dígito con resultados congruentes e incongruentes. Hallaron que las multiplicaciones con resultado incongruente provocaron una mayor negatividad entre los 275 y 334 ms en comparación con la condición de los resultados congruentes para sumas y restas. Esta negatividad se observó con topografía fronto-central.

Dong et al. (2007) encontraron que los niños de 8 años mostraban amplitudes significativamente mayores que en los niños de 11 años. En términos de latencias, reportaron latencias más prolongadas en niños más pequeños en comparación con niños mayores. Prieto-Corona et al. (2010) hallaron, en una tarea de multiplicaciones con soluciones correctas e incorrectas, un efecto N400 similar al reportado anteriormente por Jost et al. (2004), Niedeggen y Rösler (1999) y Niedeggen et al. (1999) con mayor negatividad en la región posterior que en la anterior en los adultos jóvenes, mientras que en los niños se exhibió ampliamente distribuido. Los niños tuvieron latencias más prolongadas en comparación con los jóvenes.

2.3.2 Componente positivo tardío (LPC) en tareas de verificación aritmética

Se ha observado durante tareas de verificación aritmética que siguiendo al componente N400-aritmético se exhibe otro, denominado Componente positivo tardío (LPC, por sus siglas en inglés) con mayor amplitud en problemas con solución incongruente que en problemas con solución congruente (Jost et al., 2004; Niedeggen et al., 1999; Niedeggen & Rösler, 1999; Núñez-Peña & Escera, 2007; Núñez-Peña & Suárez-Pellicioni, 2012; Prieto-Corona et al., 2010; Szűcs & Csépe, 2005; Szűcs y Soltész, 2010). La diferencia significativa de amplitud entre los componentes LPC provocada por soluciones incongruentes y congruentes se conoce como efecto LPC (Prieto-Corona et al., 2010; Szűcs & Soltész, 2010). Este efecto está asociado con la reevaluación del procesamiento (Núñez-Peña & Suárez-Pellicioni, 2012; Prieto-Corona et al., 2010; Szűcs & Soltész, 2010), y su amplitud está modulada por la plausibilidad de la solución presentada (Niedeggen & Rösler, 1999; Núñez-Peña & Escera, 2007; Núñez-Peña & Honrubia-Serrano, 2004; Núñez-Peña & Suárez-Pellicioni, 2015; Szűcs & Soltész, 2010). Algunos autores han asumido que el efecto LPC refleja sorpresa por un estímulo fuera de contexto (Donchin & Coles, 1997; Núñez-Peña & Suárez-Pellicioni, 2012; Polich, 2007). Se ha observado con distribución centro-parietal (Núñez-Peña & Escera, 2007; Núñez-Peña & Suárez-Pellicioni, 2012; Prieto-Corona et al., 2010), centro-parietal predominantemente derecha (Jasinski & Coch, 2012; Niedeggen et al., 1999) y parietal (Jasinski & Coch, 2012; Niedeggen & Rösler; Núñez-Peña & Suárez-Pellicioni, 2015; Xuan et al., 2007). De forma similar que el N400-aritmético, el LPC es sensible a la habilidad aritmética. Algunos autores han encontrado que este efecto es mayor en individuos con mejores habilidades

aritméticas que en individuos con deficiencias aritméticas (Iguchi & Hashimoto, 2000; Nuñez-Peña et al., 2011; Nuñez-Peña & Honrrubia-Serrano, 2004; Szűcs y Soltész, 2010) y a la práctica (Pauli et al., 1996).

Núñez-Peña y Suárez-Pellicioni, (2012) aplicaron a dos grupos de jóvenes, uno de alta y otro de baja habilidad matemática una tarea de sumas con soluciones correctas e incorrectas, encontraron que las soluciones incorrectas evocaban un LPC de menor amplitud en los sujetos con baja habilidad aritmética, en comparación con la amplitud de los participantes con alta habilidad, además observaron que el LPC, está asociado al efecto distancia. Zhou et al. (2011) encontraron que el efecto LPC es mayor en adultos que en niños.

Núñez-Peña et al. (2011) examinaron las diferencias en el tiempo de respuesta, la tasa de errores y el patrón de actividad eléctrica cerebral de 35 estudiantes con diferente nivel de habilidad aritmética. Los participantes debían decidir si el resultado de una serie de sumas pequeñas (con sumandos entre 2 y 5), medianas (entre 6 y 9), y grandes (multidígito), era correcto o incorrecto. Observaron peor desempeño en los de baja habilidad comparados con los de alta. Adicionalmente identificaron que la positividad relacionada a la aritmética (ARP) (reportada generalmente en centro-parietal iniciando a los 400ms aproximadamente) es moderada por el efecto de magnitud y por las diferencias individuales en la habilidad aritmética.

Prieto-Corona et al. (2010) en un estudio de niños y jóvenes (explicado en la sección anterior) utilizando multiplicaciones con soluciones correctas e incorrectas, encontraron una LPC con mayor amplitud para las soluciones incorrectas que para las correctas en regiones centrales, sin embargo, en los niños fue de mayor amplitud en correctas que en incorrectas. Los autores afirmaron que probablemente este hecho se debe a que los adultos verifican su respuesta ante una solución implausible, mientras que los niños verifican su respuesta ante soluciones que les son más familiares o que reconocen mejor.

Kiefer y Dehaene (1997) en una tarea de verificación aritmética con multiplicaciones de un sólo dígito clasificadas en operandos pequeños que incluían dígitos del 2 al 5 y operandos difíciles que incluían dígitos del 6 al 9 para manipular el efecto de magnitud, presentaron estímulos en modalidad visual y auditiva. El signo "x" no fue mostrado. Hallaron una interacción significativa entre los factores efecto de magnitud y hemisferio, la cual durante el ascenso del componente se mostró en parietales (posiblemente P3b), su máximo en centro-parietal y en el descenso no fue significativo, durante la modalidad visual. No encontraron diferencias en latencias al comparar gran y pequeña magnitud. La conclusión a la que llegaron es que la corteza parietal inferior se activó inicialmente a los 300 ms pero tuvo más amplitud durante problemas grandes a los 600 ms. Adicionalmente registraron

un efecto de tamaño asociado a ondas lentas positivas (pSW) en electrodos parietales, su amplitud tuvo su máximo en electrodos centro-parietales con mayor fuerza en el hemisferio izquierdo que en el derecho (mayor voltaje en pequeños que en grandes en la modalidad visual). La diferencia de latencia no fue significativa, pero se observó mayor latencia para los grandes problemas comparados con los pequeños (270-397) en esos mismos electrodos.

Pauli et al. (1994) presentaron a sus participantes multiplicaciones de un solo dígito divididas en fáciles (producto entre números 10 y 21), moderadas (productos entre 24 y 40) y difíciles (productos entre los números 42 y 72). El signo "x" de la multiplicación no fue expuesto en la tarea. Los autores observaron una positividad tardía con pico a los 300 ms, la cual se parecía al componente "P3b-like" que no era significativo ni en amplitud ni en latencia. Los autores no la denominaron P3b porque era clara su ausencia en parietales. Estos componentes fueron asociados a procesos generales y no específicamente de procesamiento aritmético. Más tarde, Pauli et al. (1996) observaron un LPC con pico diferente a los 300 ms que fue significativamente modulado por la práctica más que por la dificultad, esto en áreas frontales y centrales. Notaron que la amplitud de la pSW no se afectaba con la manipulación del tamaño de la operación, sin embargo, la latencia si era susceptible (mayor latencia para los problemas difíciles comparados con los moderados y fáciles). La amplitud de pSW se asoció con procesamiento de información general que no es específica del procesamiento aritmético, mientras que la latencia fue asociada más con el tiempo invertido en la dificultad del problema. Estos autores afirman que la práctica modula tanto a la amplitud como a la latencia.

Aunque con algunas variantes de la tarea de verificación aritmética, existen dos estudios que también estudian el componente LPC: 1) Nuñez-Peña et al. (2006) aplicaron una tarea de verificación aritmética con un nivel de complejidad elevado ya que presentaron secuencias de 5 números arábigos (con diferencia entre ellos de 2, 4, o 6 unidades desde el número antecesor hasta el que se presentaba), estos números debían sumarse o restarse. El quinto número completaba la secuencia y el sujeto decidía sobre lo correcto o incorrecto de la solución (las diferencias de 2, 4, 6 unidades fueron utilizadas para manipular el efecto de tamaño), no se presentaron los signos aritméticos. Encontraron una amplitud de pSW modulada en parietal la cual se asoció al problema de dificultad (500-800ms) durante la resta y no durante la suma. Esto lo atribuyeron al hecho de que durante la suma es usada con más frecuencia la recuperación directa comparada con la resta en la cual se reconstruye una estrategia de procedimiento. 2) Nuñez-Peña et al. (2004) aplicaron una tarea de violación aritmética, que consistió en mostrar 6 números (entre 1 y 16), uno por uno, los cuales guardaban una relación entre sí para formar series, el séptimo número era un número respuesta que completaba correctamente la serie, o bien, que no la completaba; se observó una positividad centro-parietal tardía relacionada

con la violación aritmética, que seguía a una negatividad entre los 250 y 300 ms. Los autores argumentaron que la presencia de la positividad podría deberse a la reevaluación del error, ya que la recuperación de hechos aritméticos depende de un sistema de procesamiento general del lenguaje.

2.3.3 Estudios de PRE durante tarea de verificación aritmética de niños

Pocos son los estudios de PRE realizados en niños con discalculia o con problemas en matemáticas durante una tarea de verificación aritmética que analicen la actividad electrofisiológica sincronizada a la ventana en la que se presenta la solución (estímulo diana). Uno de ellos, es el de Xuan et al. (2007) donde compararon los PRE de tres grupos de niños con desarrollo típico (8, 9 y 11 años, respectivamente) durante sumas y restas con soluciones congruentes e incongruentes a la operación, las soluciones incorrectas estaban desviadas ± 2 unidades del resultado correcto. Utilizaron dígitos entre el 2 y el 9. Observaron que las latencias de los componentes P2 (180-220ms), N2 (300-400ms) y P3 (400-800ms) en el grupo de niños de 8 años fueron mayores en comparación a los niños de 11 años, sin diferencias significativas entre el grupo de 9 y 11. El componente N2 se observó en regiones fronto-centrales sin diferencias significativas en términos de amplitud entre los grupos. P2 y P3 se observaron en Cz sin diferencias significativas de amplitud entre grupos.

El segundo, aunque no publicado, es el de Prieto-Corona (2010) en el que comparó un grupo de 16 niños lectores normales con un grupo de 16 niños con trastorno de aprendizaje en la lectura comórbida al trastorno del cálculo, utilizando 112 multiplicaciones sencillas, la mitad con resultado correcto y la otra mitad con incorrecto. Encontró conductualmente que el grupo de lectores normales tuvo un mayor porcentaje de respuestas correctas comparado con el grupo de niños con trastorno de aprendizaje, observó en los lectores normales una tendencia de menor tiempo de reacción para ambas condiciones. Electrofisiológicamente reportó que en ambos grupos y condiciones se observó un complejo N1-P2; además, en el grupo de lectores normales observó un componente N400- aritmético de mayor amplitud para los resultados incongruentes en comparación con los congruentes, el cual tenía una topografía ampliamente distribuida. Este mismo componente no mostró diferencias significativas entre condiciones en el grupo con trastorno.

El tercero, tampoco publicado, es el de Altamirano (2011), en el que seleccionó 45 niños de 4o. grado con edades de 9 y 10 años y los clasificó en tres grupos: alto, medio y bajo rendimiento en matemáticas. Utilizó un paradigma de sumas, restas y multiplicaciones con soluciones correctas, incorrectas cercanas e incorrectas lejanas. Los resultados conductuales evidenciaron que el grupo de bajo rendimiento obtuvo menor número de

respuestas correctas y mayor tiempo de respuesta, comparado con el grupo de medio y alto rendimiento; el grupo de bajo rendimiento tuvo peor desempeño ante resultados correctos que ante los incorrectos cercanos y lejanos; aunque no hubo diferencia significativa, se observó tendencia de mejor desempeño en resultados incorrectos lejanos, en todos los grupos; en los tres grupos se evidenció menor tiempo de respuesta en los resultados correctos que en los incorrectos; en la multiplicación hubo mayor tiempo de respuesta que en la suma y en la resta, para todos los grupos. Electrofisiológicamente observó que, ante resultados congruentes, en comparación con los incongruentes, se generó un componente P300 de mayor amplitud para los grupos de alto y medio rendimiento en comparación con el de bajo rendimiento. El efecto de la incongruencia aritmética se detectó mucho antes de la típica N400, tuvo su máxima amplitud cerca de los 330ms en regiones fronto-centrales en el grupo de alto rendimiento en matemáticas; por su latencia y distribución esta deflexión negativa parece corresponder a la familia de la N200. Finalmente, un componente tipo P600 de mayor amplitud ante resultados incorrectos con respecto de los correctos, no se pudieron demostrar diferencias entre los grupos en este componente, este componente podría considerarse como un reflejo de la reevaluación del error. La autora afirma que los niños con dificultades en el aprendizaje de las matemáticas presentan alteraciones significativas en el almacenamiento y recuperación de los hechos aritméticos.

III. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

Es importante profundizar en el estudio del procesamiento aritmético de niños con discalculia, porque esto podría derivar en alternativas de tratamiento que contribuyan a resarcir sus dificultades en matemáticas. Aunque se han realizado estudios que evalúan el desempeño cognitivo de niños con discalculia, mediante pruebas cognitivas y midiendo su eficiencia durante tareas aritméticas, pocos son los estudios que adicionalmente exploran sus patrones electrofisiológicos. Este trabajo explora, utilizando la técnica de PRE, los correlatos eléctrico-cerebrales, que tienen lugar en el momento de resolver una tarea de verificación de sumas.

Preguntas de investigación

1. ¿Qué diferencias en el procesamiento aritmético existen entre niños con discalculia (DIS) y niños con buen desempeño académico (BDA), utilizando PRE durante una tarea de verificación de sumas?
2. ¿Qué diferencias en el índice de memoria de trabajo existen entre niños con DIS y niños con BDA?
3. ¿Existe relación entre los patrones de PRE durante una tarea de verificación de sumas de niños con DIS y el índice de memoria de trabajo de éstos?

Objetivos generales

1. Comparar el procesamiento aritmético entre niños con discalculia y niños con buen desempeño académico, utilizando PRE durante una tarea de verificación de sumas.
2. Comparar el índice de memoria de trabajo entre niños con discalculia y niños con buen desempeño académico
3. Explorar la relación, en caso de que exista, entre los patrones de PRE durante una tarea de verificación de sumas de niños con discalculia y la memoria de trabajo de éstos.

Hipótesis

Durante la tarea de verificación de sumas, los niños con DIS, comparados con los niños BDA, tendrán conductualmente:

H1: menor porcentaje de aciertos.

H2: mayor tiempo de respuesta.

En los PRE durante la tarea de verificación de sumas, los niños con DIS, comparados con los niños con los niños con BDA, exhibirán:

H3: Un efecto N400-aritmético de menor amplitud.

H4: Un efecto N400-aritmético de mayor latencia.

H5: Un efecto LPC de menor amplitud.

H6: Un efecto LPC de mayor latencia.

H7: Los niños con DIS tendrán un índice de memoria de trabajo más bajo que los niños con BDA.

IV. MÉTODO

4.1 Participantes

Participaron 44 niños de entre 9 y 11 años de edad cronológica, de escuelas primarias públicas y privadas de Querétaro, diestros, sin deficiencia cognitiva ($IQ < 70$ de acuerdo con la Escala de Inteligencia Wechsler para Niños Versión IV, WISC-IV). Todos los participantes tenían agudeza visual normal o corregida a normal, y no presentaban antecedentes de trastorno neurológico o psiquiátrico (diferentes a la discalculia, en el caso del grupo DIS) o alteraciones socio-afectivas severas. Las mamás de los participantes contaban con, al menos, la primaria terminada y sus familias tenían un ingreso económico mensual igual o mayor que el salario mínimo vigente per cápita (Harmony et al., 1990).

Los participantes se clasificaron en dos grupos de acuerdo con sus puntajes obtenidos en las subpruebas de aritmética de la Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI) (Matute et al., 2005, en donde el punto de corte fue el percentil ≤ 9 en al menos una de las tareas aritméticas involucradas (conteo, manejo numérico y cálculo) para conformar el grupo DIS, y percentil ≥ 37 en las mismas tareas para el grupo BDA, el promedio de percentiles por grupo aparece en la tabla.

En la tabla 1 se muestra que, en promedio, los niños con buen desempeño académico tuvieron puntajes superiores a 90 en todos los índices del WISC-IV. Los niños con discalculia mostraban puntuaciones significativamente más bajas en todos los índices de la WISC-IV en comparación con aquellos que tenían buen desempeño académico, excepto en el índice de velocidad de procesamiento.

Con intención de garantizar que los niños seleccionados hubieran realizado correctamente la tarea de sumas, previamente se excluyeron de ambos grupos a los niños que obtuvieron menos del 58% de aciertos en la tarea. En la tabla 2 se puede ver que como criterio de exclusión fue que los PRE de todos los participantes incluidos debían tener al menos 20 ventanas sin artefactos en cada condición. Se eliminaron de la investigación a quienes no asistieron a todas las evaluaciones y a los que por voluntad desistieron de participar. El grupo DIS lo conformaron 22 niños (11 varones) y el grupo BDA 22 (8 varones). Los grupos no difirieron en edad o ingreso económico per cápita.

Tabla 1. Características de los grupos BDA y DIS en las variables demográficas, desempeño aritmético y cociente de inteligencia.

	Media \pm D.E.		t(42)	Valor-p
	BDA	DIS		
n	22 (14 mujeres)	22 (11 mujeres)		
Edad (años)	9.41 \pm 1.182	9.77 \pm 0.813	-1.189	0.241
Ingreso económico per cápita	2421 \pm 1188.81	1983 \pm 1209.76	1.211	0.233
Subescalas aritméticas de la ENI				
Conteo	65.27 \pm 15.03	24.55 \pm 23.86	6.772	< 0.001
Manejo numérico	59.73 \pm 23.03	13.91 \pm 17.68	7.400	< 0.001
Cálculo	68.18 \pm 20.99	20.91 \pm 26.08	6.622	< 0.001
Índices del WISC-IV				
Coficiente intelectual	105.95 \pm 10.86	89.55 \pm 10.82	5.017	< 0.001
Índice de comprensión verbal	102.41 \pm 20.69	86.23 \pm 21.62	2.536	0.015
Índice de razonamiento conceptual	100.59 \pm 18.71	85.68 \pm 20.83	2.947	0.017
Índice de memoria de trabajo	104.23 \pm 11.48	89.36 \pm 13.85	3.875	< 0.001
Índice de velocidad de procesamiento	97.95 \pm 20.71	91.68 \pm 14.32	1.168	0.249
Tareas del WISC-IV				
Semejanzas	10.77 \pm 2.72	8.59 \pm 4.22	2.035	0.048
Vocabulario	11.64 \pm 2.82	8.55 \pm 2.24	4.024	< 0.001
Comprensión	10.82 \pm 3.11	8.09 \pm 2.87	3.019	0.004
Diseño de cubos	10.86 \pm 2.76	8.68 \pm 2.62	2.684	0.010
Conceptos con dibujos	10.59 \pm 2.70	8.86 \pm 2.66	2.137	0.038
Matrices	10.45 \pm 2.28	8.41 \pm 1.91	3.217	0.002
Retención de dígitos	10.73 \pm 2.12	7.68 \pm 2.41	4.442	< 0.001
Secuencia de números y letras	11.23 \pm 2.20	8.14 \pm 2.73	4.133	< 0.001
Aritmética	14.00 \pm 3.14	9.75 \pm 2.86	4.417	< 0.001
Claves	10.23 \pm 2.56	8.64 \pm 1.94	2.322	0.025
Búsqueda de símbolos	10.41 \pm 2.21	9.27 \pm 2.18	1.711	0.094

Tabla 2. Criterios de inclusión, exclusión y eliminación de los grupos BDA y DIS

	BDA	DIS
Inclusión	<ul style="list-style-type: none"> ✓ De 8 a 11 años de edad ✓ Diestros ✓ Alumnos de escuelas públicas y privadas ✓ Escolaridad materna de almenos primaria concluida ✓ Ingreso económico mensual igual o mayor que el salario mínimo vigente. ✓ Cartas de consentimiento informado firmada ✓ Sin deficiencia intelectual ✓ Percentiles ≥ 37 en las subpruebas de la ENI del dominio aritmético (conteo, manejo numérico y cálculo), así como en las subpruebas de los dominios de lectura y escritura. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ De 8 a 11 años de edad ✓ Diestros ✓ Alumnos de escuelas públicas y privadas ✓ Escolaridad materna de almenos primaria concluida ✓ Ingreso económico mensual igual o mayor que el salario mínimo vigente. ✓ Cartas de consentimiento informado firmada ✓ Sin deficiencia intelectual ✓ Percentiles ≤ 9 en almenos una subprueba de la ENI (conteo, manejo numérico y cálculo).
Exclusión	<ul style="list-style-type: none"> - Trastornos neurológicos - Trastornos psiquiátricos - Factores adversos socio-afectivos - Menos del 58% de aciertos en tarea de verificación de sumas - Menos de 20 ventanas de los PRE sin artefacto en alguna condición de la tarea 	<ul style="list-style-type: none"> - Trastornos neurológicos - Trastornos psiquiátricos diferentes a Discalculia - Factores adversos socio-afectivos - Menos del 58% de aciertos en tarea de verificación de sumas - Menos de 20 ventanas de los PRE sin artefacto en alguna condición de la tarea.
Eliminación	<ul style="list-style-type: none"> X Inasistencia a la evaluación X Salida voluntaria 	<ul style="list-style-type: none"> X Inasistencia a la evaluación X Salida voluntaria

4.2 Instrumentos de evaluación y experimentación

Entrevista parental semiestructurada

Cuestionario semi-estructurado para indagar sobre factores pre, peri y posnatales, desempeño académico y características escolares, comportamiento, características socio-emocionales, actividades de la vida diaria, dinámica familiar e ingreso económico familiar.

Entrevista escolar

Es un cuestionario dirigido al profesor del curso escolar para explorar el desempeño académico, comportamiento y relaciones sociales del niño dentro de la escuela.

Quinta versión de la escala de inteligencia de Wechsler para niños (por sus siglas en inglés WISC-IV, Wechsler Intelligence Scale for Children, fifth edition) (Wechsler, 2007)

Prueba que permite evaluar las habilidades cognitivas en niños desde 6 años hasta 16 años 11 meses. A partir de ésta se obtiene una medida del funcionamiento intelectual general, también denominado Coeficiente Intelectual Total (CIT) y cuatro puntuaciones índices: Índice de Comprensión Verbal (ICV), Índice de Razonamiento Perceptual (IRP), Índice de Memoria de Trabajo (IMT), Índice de Velocidad de Procesamiento (IVP). Se utilizó para medir el desempeño intelectual general y descartar deficiencia intelectual.

Subescalas de aritmética (conteo, manejo numérico y cálculo) de la ENI (Matute et al., 2005)

Se emplearon las subescalas de conteo, manejo numérico y cálculo. Incluye tareas específicas del procesamiento numérico: conteo, manejo numérico, lectura de números, comparación de números, ordenamiento de cantidades, cálculo en serie directa, cálculo inverso, cálculo mental, cálculo escrito y problemas aritméticos. Su estandarización incluye normas mexicanas. Es aplicable a población infantil de habla hispana con edades que van de los 5 a los 16 años.

Prueba de variables de atención (por sus siglas en inglés TOVA, Test of Variables of Attention) (Greenberg et al., 2000)

Es una prueba de ejecución continua aplicada por medio de una computadora, con una duración aproximada de 22 minutos. Durante su aplicación se presentan dos tipos de estímulo: estímulo blanco, al que el sujeto tiene que responder apretando un botón, y estímulo no-blanco, al cual no debe responder. En la primera mitad de la prueba el estímulo blanco es frecuente y en la segunda mitad es infrecuente. Evalúa los tiempos de respuesta, los errores por omisión de respuesta y los errores por comisión de ésta. Se empleó para descartar en los participantes Trastorno por Déficit de Atención.

Inventario internacional neuropsiquiátrico para niños y adolescentes (por sus siglas en inglés MINI-Kid, International Neuropsychiatric Interview for children and adolescents) (Sheedan et al., 2000)

En su versión para niños y adolescentes, consiste en un cuestionario de exploración psiquiátrica. Sirvió para descartar en los participantes algún trastorno neuropsiquiátrico (por ejemplo, trastorno por déficit de atención, depresión, trastorno de ansiedad o trastorno oposicionista desafiante).

Evaluación neuropsiquiatra

Se efectuó por médico especialista en el área, para descartar algún trastorno psiquiátrico.

Formato de consentimiento de participación en la investigación

Se utilizó un formato de consentimiento informado y uno de asentimiento para el niño. En este formato se describe su participación en el experimento y se informa sobre la confidencialidad de los datos obtenidos durante el estudio.

Electroencefalógrafo

Se empleó para el registro y obtención de los PREs:

- Un equipo MEDICID™ IV (Neuronic SA; Ciudad de México, México) y un sistema de registro y análisis Track Walker v5.0 con montaje monopolar referenciado a ambos lóbulos auriculares (A1 y A2) cortocircuitados por hardware, con ancho de banda en los amplificadores de 0.5 a 50 Hz., frecuencia de muestreo de 200 Hz. (período de muestreo de 5 ms) e impedancia por debajo de 5 KΩ.
- Gorra elástica (Electro-Cap™ International, Inc.; Ohio, USA) con 19 electrodos (canales) de Ag/AgCl colocados de acuerdo con el Sistema Internacional 10-20.
- Dos electrodos del mismo material (uno colocado sobre la frente inmediatamente arriba de la ceja y otro en canto ocular externo) para registro simultáneo de electro-oculograma (EOG).

Computadora de estimulación con software Mind-Tracer 2.0

Una computadora de estimulación sincronizada con el sistema de registro MEDICID IV, en la cual está instalado el programa Mind-Tracer versión 2.0, utilizado para el diseño y presentación de la tarea experimental de verificación aritmética.

Tarea de verificación aritmética

Constó de 162 sumas con dos operandos de un dígito y sus respectivas soluciones, los dígitos fueron números arábigos y estaban separados por el signo "+". Cada suma combinó dos números entre 1 y 9, resultando 81 combinaciones. Las soluciones se diseñaron bajo dos condiciones: una con solución correcta ($2+2=4$) que se denominó condición congruente y la otra con solución incorrecta ($2+2=6$) que se llamó condición incongruente, obteniendo en total 81 sumas con solución correcta y 81 con solución incorrecta. La solución incorrecta se construyó adicionando (41 sumas) o sustrayendo (40 sumas) 2 unidades al resultado correcto. La proporción de operaciones congruentes e incongruentes fue 50/50.

Cada suma con su solución fue un ensayo, todos los ensayos se diseñaron con el software Mind-Tracer 2.0 (Neuronic Mexicana, S.A.; Mexico City, Mexico) y se presentaron de forma aleatoria en un monitor de computadora. En la figura 2 puede verse que el tiempo de presentación por ensayo fue de 5 segundos, en total la tarea duró 800 ms (13.5 minutos) divididos en 4 bloques con tres descansos intermedios de 1 minuto.

Los estímulos y temporalidad de cada ensayo son:

- Estímulo de alerta. Flecha blanca (dirigida a la derecha) en el centro de una pantalla negra, durante 200 ms.
- Intervalo pre-estímulo contexto. Pantalla negra durante 300 ms.
- Estímulo contexto. Suma de dos operandos incluyendo el signo “+” en color blanco, en el centro de una pantalla negra, durante 1500 ms.
- Intervalo pre-estímulo diana. Pantalla negra durante 1500 ms.
- Estímulo diana. Solución de la suma en color blanco en el centro de pantalla negra, durante 1000 ms (sincronizada a la época de análisis de EEG para obtener PRE).
- Estímulo post-estímulo diana. Pantalla negra durante 500 ms.

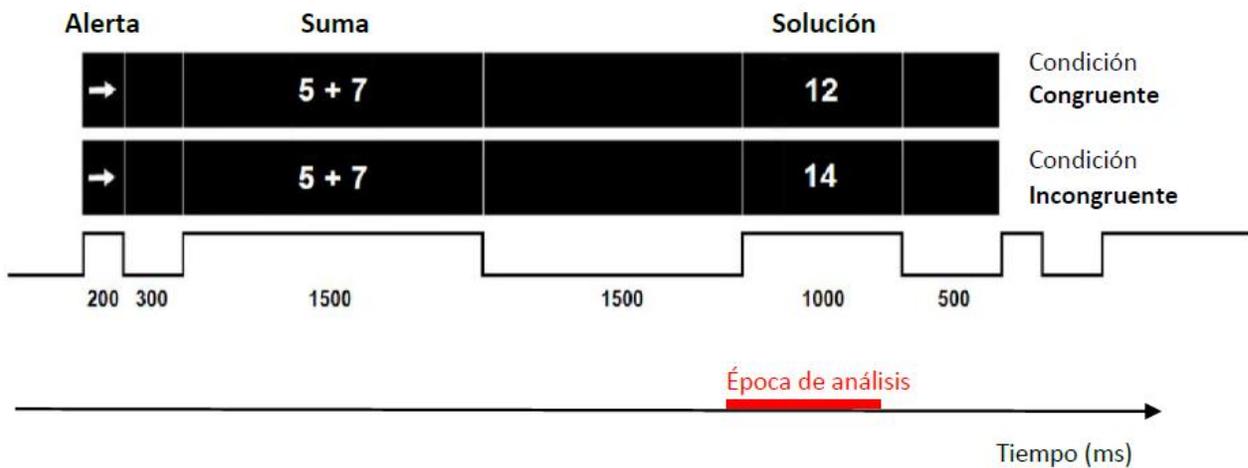


Figura 2. Representación de un ensayo tarea de verificación aritmética. Diagrama de flujo de la presentación de estímulos durante los ensayos individuales (modificado de Cárdenas et al., 2021).

4.3 Procedimiento

Reclutamiento de participantes

Impartición de pláticas informativas sobre las características del proyecto a padres de familia, maestros y directivos de escuelas públicas y privadas del estado de Querétaro.

Selección y evaluación de participantes

Realización de entrevista a padres de familia, entrevista escolar al profesor del curso escolar; obtención de los cuatro índices neuropsicológicos del WISC-IV, aplicación de las subpruebas de aritmética (conteo, manejo numérico y cálculo) de la ENI, TOVA, Mini-Kid y evaluación neuropediátrica.

Asignación de grupos

Los niños con percentiles ≤ 9 en al menos una de las subpruebas aritméticas de conteo, manejo numérico y cálculo de la ENI, se asignaron al grupo DIS. Los niños con percentiles ≥ 37 en las tres subpruebas aritméticas de la ENI se asignaron al grupo BDA.

Registro de PRE

Se registró el electroencefalograma (EEG) durante la ejecución de la tarea de sumas, en el equipo Medicid-IV sincronizado a una computadora de estimulación la cual mostraba los ensayos. En una cámara de registro sonoamortiguada, Faradizada y tenuemente iluminada, el participante se sentó cómodamente a 70 cm del monitor de la computadora de estimulación para observar las sumas. A todos los niños se les indicó relajarse y mantener la mirada en el centro de la pantalla evitando parpadear en la medida de lo posible, se les informó que en caso de parpadear podían hacerlo justo antes del estímulo de advertencia (flecha).

Se les proporcionó un *mouse* solicitando sostenerlo con ambas manos y colocando los pulgares sobre cada botón, se instruyó oprimir, en el momento que aparecía la solución de la suma, el botón derecho (o izquierdo) si la solución de la suma era correcta (condición congruente) y el botón contrario si era incorrecta (condición incongruente), procurando hacerlo de la manera más rápida y precisa posible. Para contrabalancear la mano de respuesta, se solicitó a la mitad de los participantes oprimir el botón derecho para la solución correcta y a la otra mitad el botón izquierdo. El experimento inició con un entrenamiento de 16 estímulos para familiarizar y retroalimentar al niño con la tarea. Una vez familiarizados, se aplicó la tarea.

Obtención y edición de PRE

Mediante inspección visual se seleccionaron épocas (segmentos de EEG) de 1000 ms (correspondientes a la solución de la suma o estímulo diana) de cada sujeto en cada condición experimental a las que el niño respondió correctamente. Las épocas consistieron en un período de línea base que comenzó a los 200 ms previos al estímulo diana y finalizó a los 800 ms después del inicio de este mismo estímulo. La corrección de la línea de base se realizó utilizando el período pre-estímulo de 200 ms.

Se rechazaron las épocas que, por inspección visual, mostraban actividad eléctrica mayor a 100 microvoltios, parpadeo, movimiento ocular y/o bloqueo del amplificador durante más de 50 ms en cualquier sitio de electrodo. Las épocas promediadas incluyeron sólo aquellas en las que el niño respondió correctamente. Sólo se incluyó a los participantes con un mínimo de 20 épocas libres de artefacto. El número de épocas de EEG por condición fue

aproximadamente igual para cada sujeto. En promedio el grupo DIS tuvo 33 y en el grupo BDA tuvo 39 épocas libres de artefacto para cada condición.

Para la obtención de los PRE individuales, se promediaron las épocas de EEG sincronizadas con la solución congruente en los que la respuesta del niño fue correcta y, por separado, las épocas de EEG sincronizadas con la solución incongruente en los que la respuesta del niño fue correcta. Para la obtención de la onda diferencia individual, se restó el promedio de épocas congruentes del promedio de épocas incongruentes, en cada niño. Posteriormente se realizó un promedio grupal de cada condición, obteniendo así 4 grandes promedios: BDA-congruente, BDA-incongruente, DIS-congruente y DIS-incongruente. También se promedió grupalmente la onda diferencia, obteniendo dos grandes promedios de ésta, una para cada grupo: OdBDA y OdDIS.

4.4 Escenario de evaluación y de experimento

Algunas pruebas se aplicaron en las escuelas primarias, cuando estas ofrecían para aplicarlas un lugar similar al del laboratorio, independiente y silencioso; el resto de las pruebas y el registro de PRE se realizaron en el laboratorio de Psicofisiología del Instituto de Neurobiología de la UNAM, *campus* Juriquilla.

4.5 Estándares éticos durante el estudio

Esta investigación se llevó a cabo siguiendo los principios éticos de la Declaración de Helsinki. El Comité de Bioética del Instituto de Neurobiología de la Universidad Nacional Autónoma de México aprobó el protocolo experimental (INEU / SA / CB / 145). Los niños dieron el asentimiento y sus padres dieron su consentimiento informado por escrito para participar en este estudio y se les garantizó la confidencialidad en los datos obtenidos durante el mismo.

V. ANÁLISIS DE DATOS

Los análisis estadísticos de los datos conductuales se efectuaron con el programa estadístico SPSS v. 20. (IBM Statistic 20, IBM Corp., Chicago Illinois, USA) y los análisis de datos electrofisiológicos se realizaron con el programa eLORETA (exact low-resolution brain electromagnetic tomography) (Pascual-Marqui et al., 2011).

5.1 Análisis de datos conductuales

Para el porcentaje de aciertos (respuestas correctas del niño) y el tiempo de respuesta se realizó un ANOVA de medidas repetidas de dos vías, donde el factor entre-sujetos fue el grupo (BDA/DIS) y el factor intra-sujetos fue la condición (congruente/incongruente). Debido a que los porcentajes no se distribuyen de forma normal, éstos fueron transformados $\text{ARCSIN} \sqrt{[(\%/100)]}$ (Zar, 2010). La prueba de significancia mínima (LSD) fue usada para las comparaciones por pares *post hoc*.

5.2 Análisis de datos electrofisiológicos de los PRE

Considerando que la presencia de múltiples comparaciones y de variables dependientes genera alta probabilidad de incrementar el error tipo I (Luck, 2014) en nuestro estudio, se decidió utilizar la prueba no paramétrica de permutaciones (Galán et al., 1998). El análisis de amplitud de los PRE se realizó con esta prueba usando el programa estadístico incluido en el programa eLORETA. Se llevaron a cabo 5000 permutaciones, la significancia global para la prueba estadística (nivel de valor “p” significativo considerando todos los electrodos) se reporta como T max y su valor “p” extremo. Dado que esta prueba estadística está basada en una distribución de probabilidad empírica, los valores “p” extremos se corrigen mediante comparaciones múltiples.

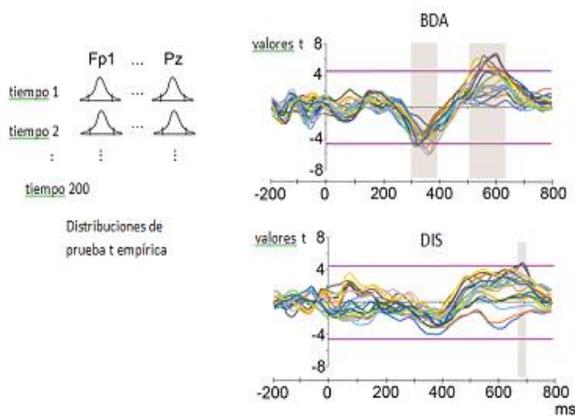
Para determinar cada época en la que se presentara un efecto (diferencias significativas entre condición congruente e incongruente) a lo largo de la ventana de análisis (-200 ms a 800 ms), se realizó una prueba no paramétrica de permutaciones considerando todos los electrodos y todos los puntos en el tiempo, esto es apreciable en la figura 3A. En cada grupo de niños se definió la ventana del tiempo de N400-aritmético y LPC, en caso de existir diferencia significativa entre condiciones.

El siguiente paso, ilustrado en la figura 3B, fue explorar la topografía de los efectos N400-aritmético y LPC, comparando las condiciones en cada grupo y cada ventana de tiempo obtenida en el paso anterior, considerando todos los sitios de electrodos.

Utilizando el eLORETA, se compararon las ondas diferencia de los PRE (incongruente menos congruente) del grupo DBA y del DIS, esto puede observarse en la figura 3A. Se realizaron 5000 permutaciones. Los valores t significativos de los electrodos se representan en mapas de color (sólo los valores t con $p < 0,05$).

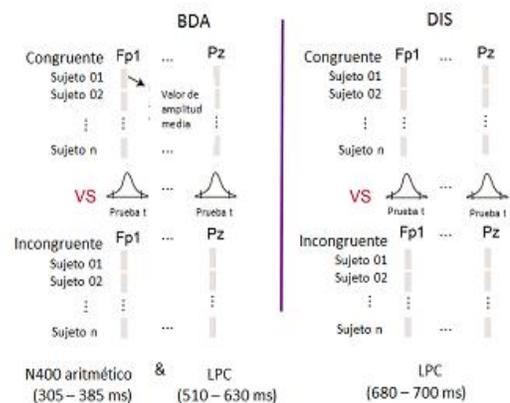
Adicionalmente, con el eLORETA, se realizaron tres análisis de correlación en el grupo DIS entre cada onda diferencia y el índice de MT en todos los sitios de electrodos, las correlaciones de pueden observar en la figura 3D. Se realizaron cinco mil permutaciones. La significancia para la prueba estadística se reporta como r max y su valor p extremo. Las correlaciones significativas específicas (valor r) sobre los sitios de los electrodos se representan en mapas de color (sólo valores r con $p < 0,05$). Todos los resultados estadísticos para los PRE se reportan tomando en consideración los 19 electrodos.

A Definición de las ventanas de análisis

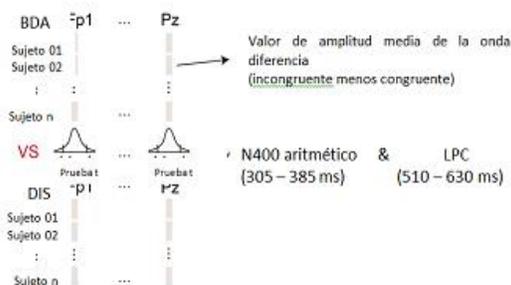


B Exploración topográfica de los efectos en los PRE

Comparaciones incongruente vs. congruente



C Comparación entre grupos de la onda diferencia de los PRE



D Análisis de correlaciones

(índice de memoria de trabajo, efecto)

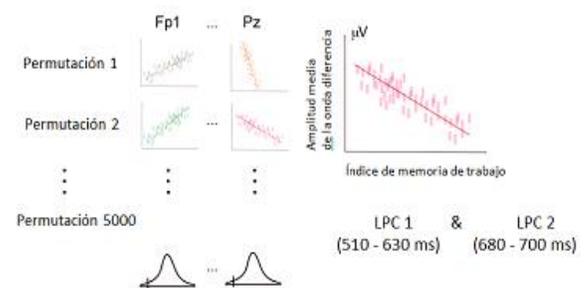


Figura 3. Realización de análisis estadísticos de datos PRE mediante pruebas de permutación no paramétricas. (A) Definición de las ventanas de tiempo analizadas, i.e., donde se evidenciaron diferencias significativas entre condiciones (efectos) incongruentes y congruentes; comparación entre condiciones utilizando múltiples pruebas t, que se muestran en cada momento en los sitios de los electrodos (líneas de color en el eje de coordenadas). Las líneas

horizontales magenta representan el umbral de los valores t para $p = 0.05$, y los recuadros sombreados grises representan las ventanas de tiempo analizadas donde se encontraron diferencias significativas. Las líneas de color en el eje de coordenadas representan valores t en diferentes electrodos. (B) Exploración de la topografía de los efectos PRE (incongruente menos congruente) obtenido de (A); las pruebas t se calcularon utilizando los valores de amplitud media en cada condición para cada ventana de tiempo analizada (N400 y LPC en el grupo BDA y LPC en el grupo DIS) en todos los electrodos. (C) Comparación de la onda diferencia de los PRE entre los grupos BDA y DIS. Se utilizaron los valores de amplitud media de las ondas diferencia para calcular las pruebas t. (D) Análisis de correlaciones entre el índice de memoria de trabajo y las ondas diferencia de los PRE para el grupo DIS, para cada electrodo y cada ventana de tiempo (modificado de Cárdenas et al., 2021).

VI. RESULTADOS

6.1 Resultados conductuales de los PRE

Los resultados conductuales se muestran en la figura 4. En 4A y 4B es posible apreciar que tanto en el porcentaje de aciertos (respuestas correctas del niño) como en el tiempo de respuesta, el grupo DIS obtuvo más valores atípicos que el grupo BDA.

En la figura 4C se observa que el grupo BDA obtuvo significativamente mayor porcentaje de aciertos que el grupo DIS ($F_{(1,42)} = 27.39$, $p < 0.0001$, $\eta_p^2 = 0.395$). Se evidenció un significativamente mayor porcentaje de aciertos en la condición incongruente que en la condición congruente ($F_{(1,42)} = 8.67$, $p < 0.0005$, $\eta_p^2 = 0.171$), el cual fue independiente del grupo. No hubo interacción significativa de Grupo por Condición ($F < 1$).

En cuanto al tiempo de respuesta, visible en la figura 4D, se encontró que, independientemente del grupo, los niños respondían significativamente más rápido a la condición congruente que a la condición incongruente ($F_{(1,42)} = 131.922$, $p < 0.0001$, $\eta_p^2 = 0.759$), sin diferencia significativa entre grupos ($F < 1$). No se observó interacción significativa de Grupo por Condición ($F_{(1,42)} = 1.114$, $p = 0.297$, $\eta_p^2 = 0.026$). Esto podría deberse al amplio rango de edad de los participantes, ya que en estas edades aún se está desarrollando la automatización de la solución de problemas aritméticos. Una forma de probar esto fue explorar si existía una relación de asociación entre la edad y los tiempos de respuesta, de manera que se realizó un análisis de correlación de Spearman en cada grupo. Se observó que en el grupo BDA había correlaciones significativas negativas entre la edad y los tiempos de respuesta para condiciones congruentes ($r = -0.57$, $p = 0.006$) e incongruentes ($r = -0.60$, $p = 0.003$), pero en el grupo DIS no se observaron correlaciones significativas para ninguna condición (congruente: $r = -0.29$, $p = 0.195$; incongruente: $r = -0.22$, $p = 0.337$).

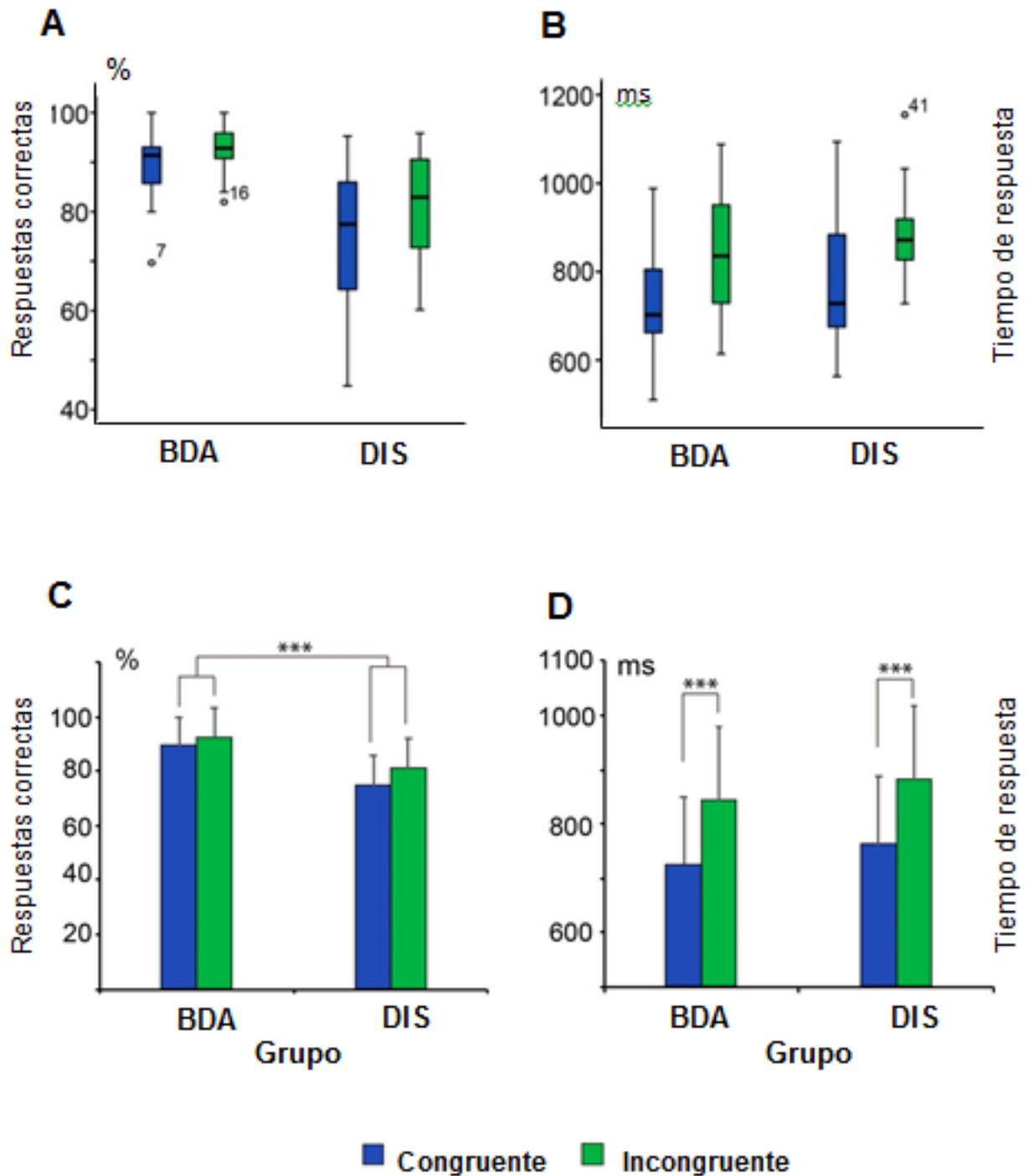


Figura 4. **Resultados conductuales de los grupos BDA y DIS en ambas condiciones de la tarea de verificación aritmética.** Caja y bigotes de (A) de respuestas correctas y (B) tiempo de respuesta, gráfico de barras de (C) promedio de respuestas correctas y (D) promedio de tiempo de respuesta. Las barras de error representan la desviación estándar. El grupo DIS mostró un porcentaje más bajo de respuestas correctas que el grupo BDA *** $p < 0,0001$ (modificado de Cárdenas et al., 2021).

6.2 Resultados electrofisiológicos de los PRE

6.2.1 Caracterización de los efectos PRE en los grupos

Los resultados estadísticos muestran que en el grupo BDA hubo diferencias significativas entre condiciones a partir de los 305 ms hasta los 385 ms y de los 510 ms a los 630 ms ($T_{max} = -3.387$, extreme $p = 0.0004$). Las figuras 5A y 5B muestran la topografía de las diferencias significativas en la primera ventana que corresponde al efecto N400-aritmético y en la segunda ventana que corresponde al efecto LPC, en términos de latencia y de polaridad (positiva y negativa respectivamente). El efecto LPC evocado por el grupo BDA fue llamado efecto LPC-1. En este grupo, la distribución topográfica de ambos efectos coincide con los reportados en previos estudios en adultos jóvenes. El efecto N400-aritmético fue localizado en la línea media frontal (Megías & Macizo, 2016; Prieto-Corona et al., 2010) y en el área centro-parietal izquierda (Avancini, et al., 2014, 2015; Dickson & Federmeier, 2017). El efecto LPC se observó en la región centro-parieto-temporal principalmente en el hemisferio derecho (Avancini, et al., 2015; Dickson & Federmeier, 2017; Jasinsky & Coch, 2012; Niedeggen & Rösler, 1999). En contraste, en la figura 5C puede observarse que el grupo DIS sólo evocó una diferencia significativa entre condiciones entre los 680 y 700 ms ($T_{max} = 4.84$, extreme $p = 0.021$) que puede corresponder a un efecto LPC retardado (al cual se le llamó LPC-2).

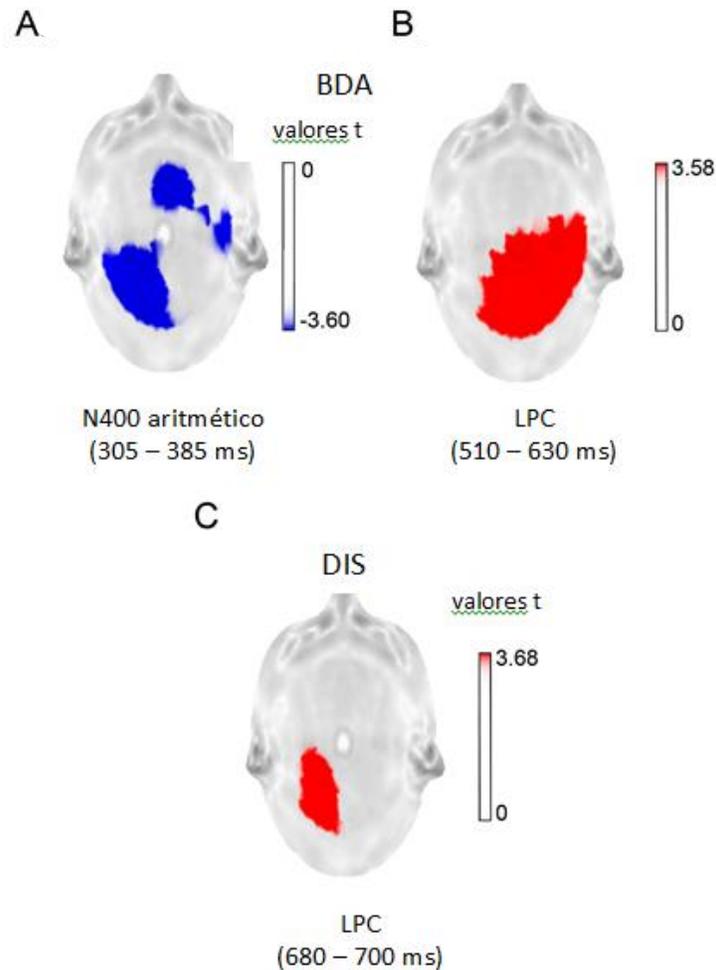


Figura 5. **Mapas estadísticos de los efectos aritméticos N400 y LPC en ambos grupos.** Arriba: Grupo BDA. (A) Diferencias entre condiciones de 305 a 385 ms (efecto N400-aritmético). (B) Diferencias entre condiciones a 510 a 630 ms (efecto LPC). Abajo: grupo DIS. (C) Diferencias entre condiciones a 680 a 700 ms (efecto LPC). Los colores azul y rojo representan los valores t que estaban por encima del umbral de significancia ($p < 0.001$). En el grupo BDA, el efecto N400-aritmético se observó en P3, O1, T4, T5, Fz y Pz, y el efecto LPC se observó en C4, P4, O1, O2, T4, T6, Cz y Pz, mientras que en el grupo DIS, el efecto LPC se observó en P3 y O1. $p < 0.001$ (modificado de Cárdenas et al., 2021).

En la figura 6 se observan los grandes promedios de los PRE en los electrodos T3 y C3 en ambas condiciones de la tarea en ambos grupos. En estos electrodos se ilustra claramente que el efecto N400-aritmético en el grupo DIS no se asocia a la falta de respuesta cerebral, porque puede observarse que los componentes N400-aritmético para cada condición por separado tienen grandes amplitudes.

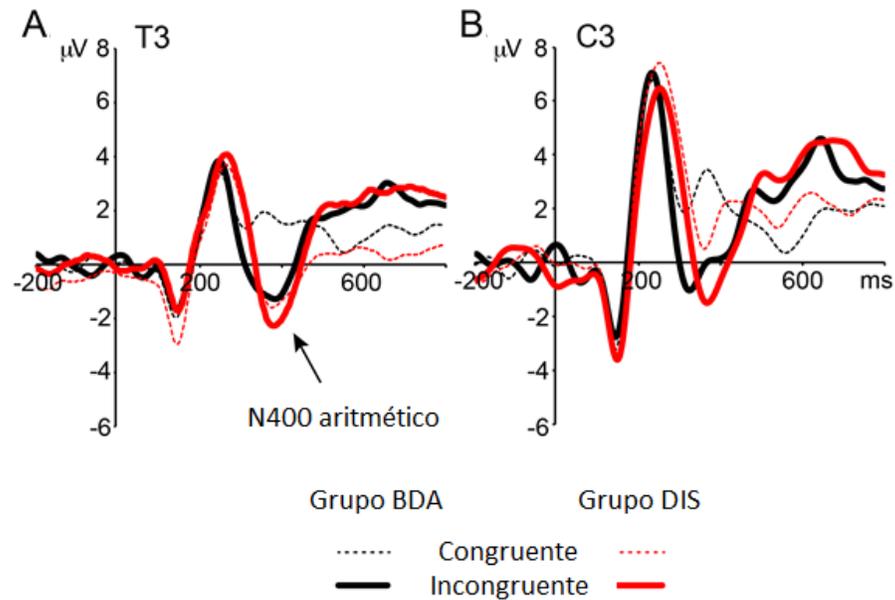


Figura 6. **Grandes promedios de los PRE.** (A) Electrodo T3. (B) Electrodo C3. Las respuestas del grupo BDA a las condiciones congruente e incongruente están representadas por líneas negras discontinuas y continuas, respectivamente, mientras que las respuestas del grupo DIS a las condiciones congruente e incongruente están representadas por líneas rojas discontinuas y continuas, respectivamente. La negatividad se representa hacia abajo (modificado de Cárdenas et al., 2021).

6.2.2 Comparación de las ondas diferencia de los PRE entre los grupos

Considerando como hipótesis nula la ausencia de diferencia entre las ondas diferencia de los grupos, es decir la ausencia de diferencia entre los efectos de los grupos (dado que cada onda diferencia representa el efecto), una vez que se determinaron las ventanas de análisis para los efectos N400-aritmético y LPC, y que se obtuvieron las ondas diferencia (promedio de amplitud de la condición incongruente menos el promedio de amplitud de la condición congruente) para cada grupo, se realizaron tres análisis de muestras independientes (en todos los electrodos) para comparar la onda diferencia de BDA vs DIS en cada ventana de tiempo identificada (305-385, 510-630 y 680-700 ms). El grupo BDA mostró una amplitud significativamente mayor que el grupo DIS, tanto del efecto N400-aritmético en T5 ($T \text{ max} = -3.58$, extreme $p = 0.007$) como del efecto LPC-1 en Fp2 (global $T \text{ max} = 3.02$, extreme $p = 0.032$). En la ventana de LPC-2 (ventana 680-700) no hubo diferencias significativas entre grupos ($T \text{ max} = 1.46$, extreme $p = 0.45$). La figura 7 muestra el mapa estadístico de los efectos N400-aritmético y LPC comparando ambos grupos.

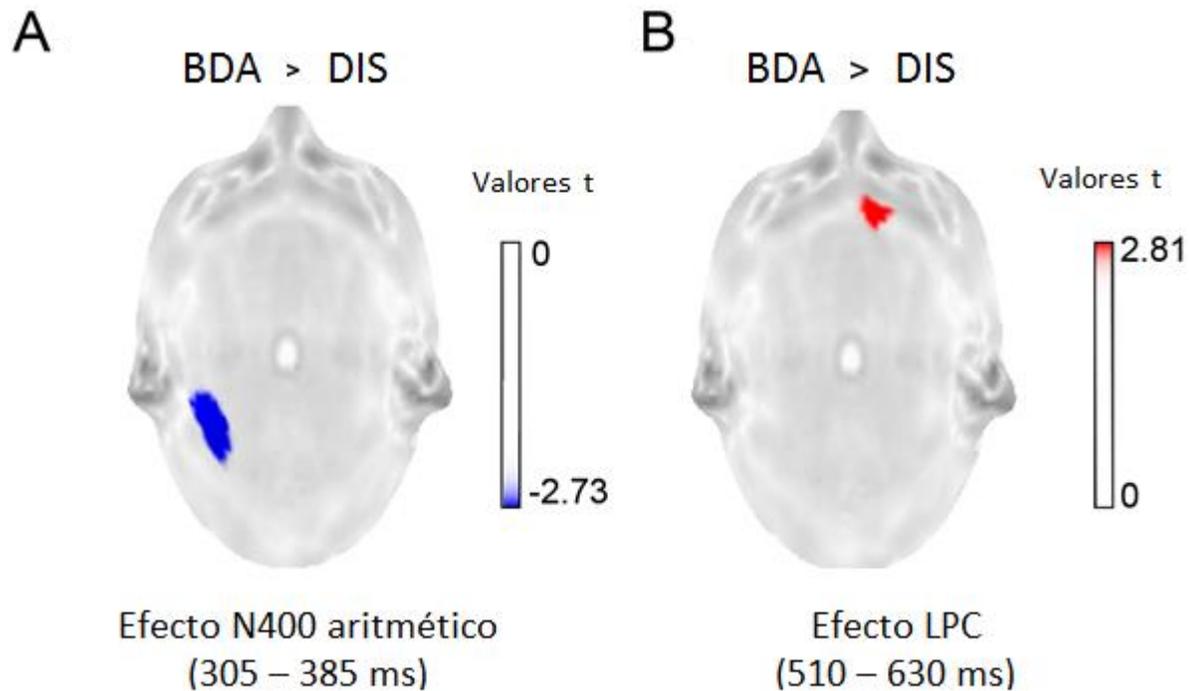


Figura 7. **Diferencias entre grupos en los efectos N400-aritmético y LPC.** (A) Mapa estadístico de la comparación entre grupos basado en la diferencia entre condiciones (incongruente menos congruente) para N400-aritmético (305–385 ms) en T5. (B) Mapa estadístico de la comparación entre grupos basado en la diferencia entre condiciones (incongruente menos congruente) para LPC (510-630 ms) en Fp2. Las áreas azules y rojas representan diferencias significativas entre los grupos (valores de t con $p < 0.05$) (modificado de Cárdenas et al., 2021).

6.2.3 Heterogeneidad del grupo DIS

Considerando que los PRE representan el procesamiento cerebral subyacente al desempeño de una tarea, que la discalculia es un trastorno muy heterogéneo (Kaufmann et al., 2013) y que los resultados conductuales de los PRE del grupo DIS mostraron más valores atípicos (outliers) que el grupo BDA, se decidió realizar un gráfico para observar la dispersión de los datos electrofisiológicos de los PRE tanto en N400-aritmético como en LPC, de ambos grupos en cada electrodo. Encontramos, como puede constatare en la figura 8, que hubo más dispersión en el grupo DIS que en el grupo BDA.

Teniendo en cuenta que la heterogeneidad que caracteriza el desempeño conductual en la discalculia (Kaufmann et al., 2013) probablemente también se refleje en los PRE (ya que los PRE corresponden al procesamiento cerebral que subyace al desempeño conductual) y que se ha propuesto que una fuente de esta heterogeneidad es la memoria de trabajo (Andersson y Lyxell, 2007; Geary, 1993) a continuación se muestra un análisis exploratorio

sobre cómo la memoria de trabajo afecta al patrón de los PRE en el grupo de niños con discalculia.

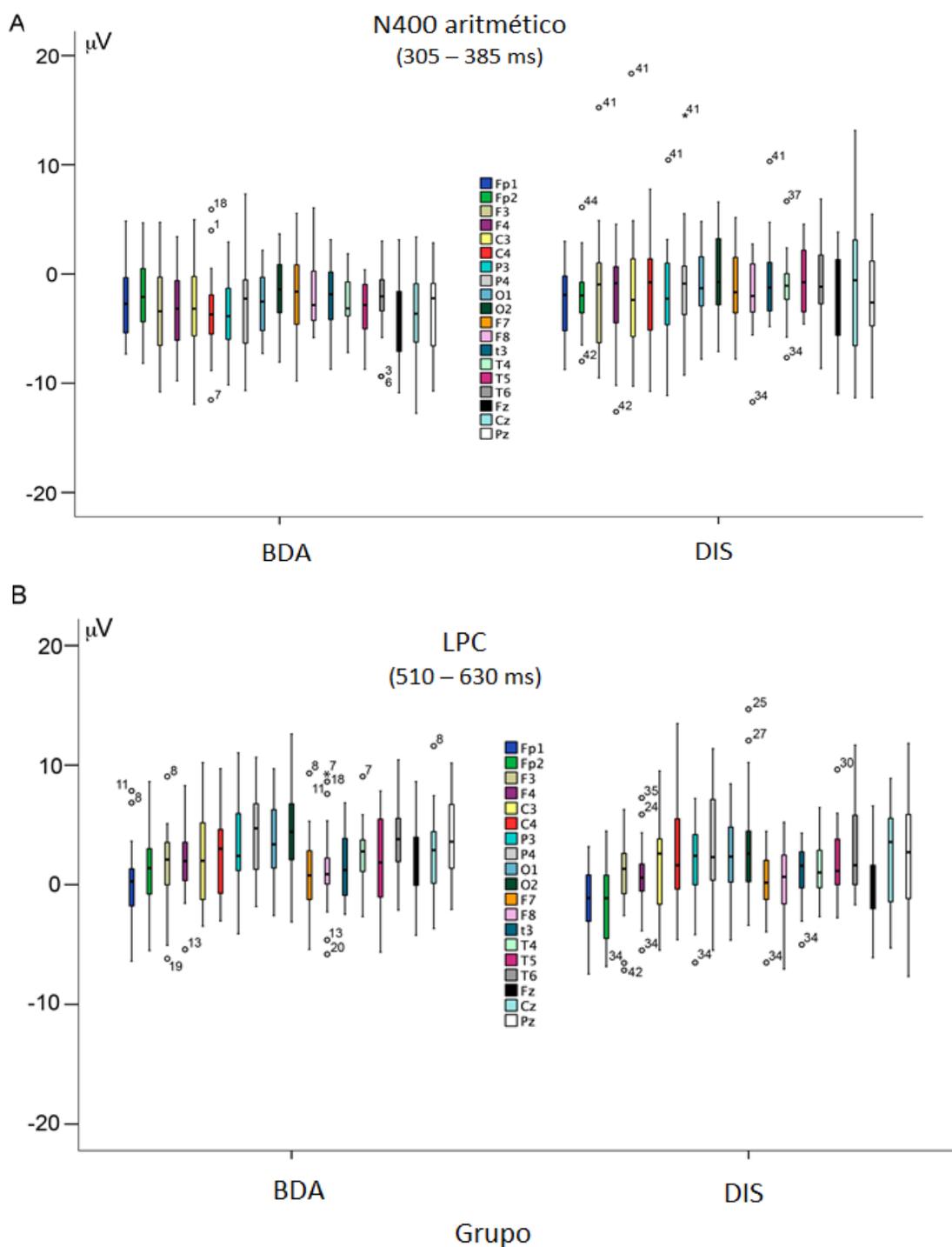


Figura 8. **Variabilidad de los efectos N400-aritmético y LPC.** (A) Gráficos de caja y bigotes de ambos grupos de niños (BDA y DIS) utilizando los valores de amplitud del efecto N400-aritmético (305–385 ms). (B) Gráficos de caja y bigotes de ambos grupos de niños utilizando los valores de amplitud del efecto LPC (510-630 ms) (modificado de Cárdenas et al., 2021).

6.2.4 Relación entre el índice de memoria de trabajo y la amplitud de los PRE en el grupo con discalculia

Con base en la puntuación del índice de la MT de los niños con discalculia, se conformaron dos subgrupos: uno integrado por 13 niños (6 mujeres) con índice de MT dentro del rango promedio (índice ≥ 85) y otro integrado por 9 niños (4 mujeres) con índice de MT inferior al promedio (índice < 85). Se obtuvo la onda diferencia promedio de los PRE de los niños con índice de MT dentro del rango promedio, de los de los niños con índice de MT inferior al promedio y de los niños con BDA. En la figura 9, se observa que los niños con discalculia e índice de MT inferior al promedio mostraron un patrón de PRE atípico, caracterizado por un pico N200, un pico N400-aritmético y dos picos LPC (lo cual es no es típico para esta tarea); en cambio los niños con discalculia e índice de MT dentro del rango promedio mostraron un patrón de PRE similar al de los niños con buen desempeño académico.

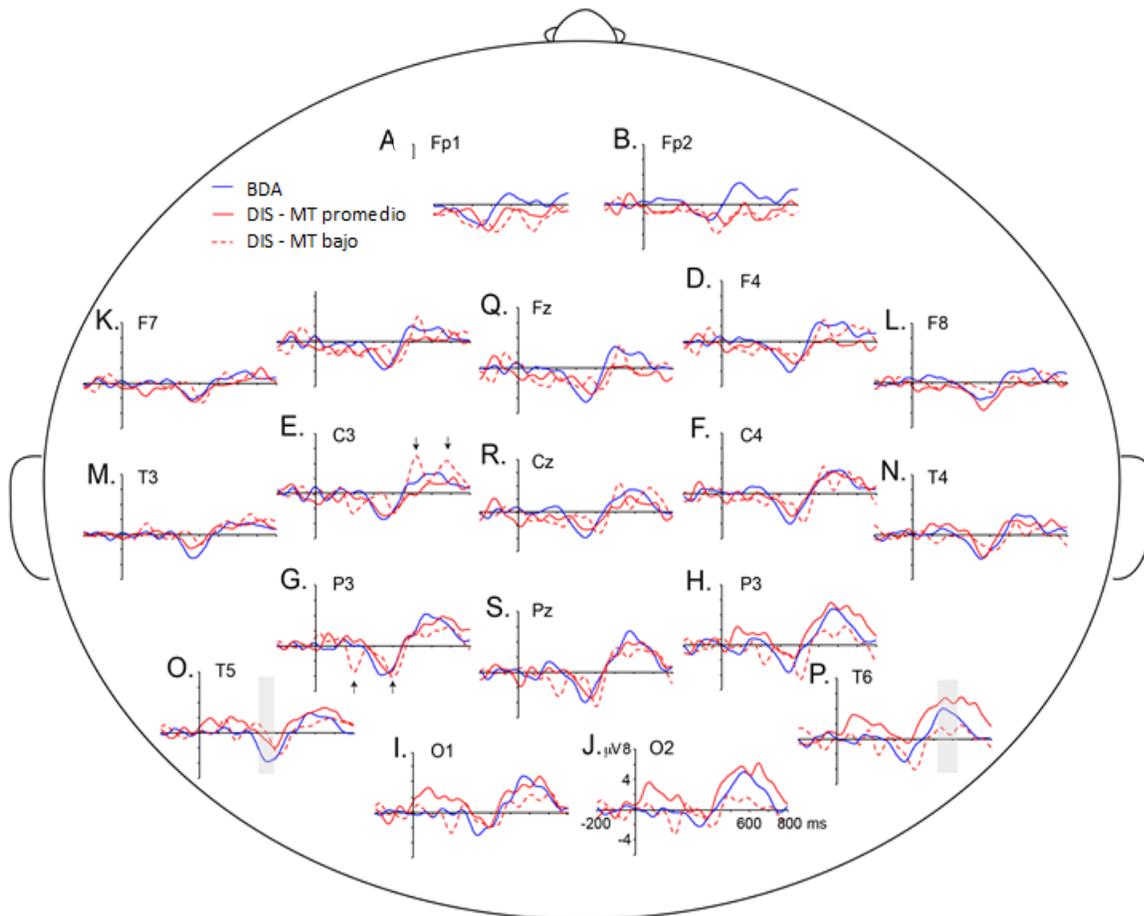


Figura 9. **Grandes promedios de las ondas diferencia** (i.e., condición incongruente menos congruente). Las líneas continuas azules representan los PRE del grupo BDA. Las líneas continuas rojas representan los PRE del grupo DIS con puntajes del índice de MT dentro del rango promedio y las líneas punteadas rojas representan los del subgrupo DIS con

puntajes de MT inferiores al promedio. Positivo hacia arriba. Los efectos N400-aritmético y LPC del grupo BDA están marcados con cuadros de sombra gris (en T5 y T6 respectivamente). Las flechas negras indican dos picos negativos (195 ms y 405 ms) y dos picos positivos (525 ms y 685 ms) en P3 y C3, respectivamente, en el subgrupo DIS con índice de MT inferior al promedio, pero tales efectos se pueden observar en otros electrodos. Cada letra representa un electrodo: (A) Fp1. (B) Fp2. (C) F3. (D) F4. (E) C3. (F) C4. (G) P3. (H) P4. (I) O1. (J) O2. (K) F7. (L) F8. (M) T3. (N) T4. (O) T5. (P) T6. (Q) Fz. (R) Cz. (S) Pz (modificado de Cárdenas et al., 2021).

Para los niños con discalculia, se realizaron análisis de correlaciones entre las puntuaciones del índice de MT y los valores de amplitud de la onda diferencia en todos los electrodos y en cada ventana de los PRE. En la ventana N400, no se encontró ninguna correlación significativa entre el índice de MT y la onda diferencia del efecto N400-aritmético. Sin embargo, en ambas ventanas LPC, se encontraron correlaciones positivas significativas entre el índice de MT y las ondas diferencia del efecto LPC. En la ventana de tiempo LPC-1, un mayor índice de MT se correlacionó con una mayor amplitud del efecto de LPC sobre O2 y T6 (r max = 0,68, p extremo = 0,0056); en la ventana de tiempo de LPC-2, un mayor índice de MT se correlacionó con una mayor amplitud del efecto LPC sobre T6 (r max = 0,61, p extrema = 0,0178). La figura 10 muestra un mapa estadístico con las correlaciones entre el índice de MT y los efectos LPC.

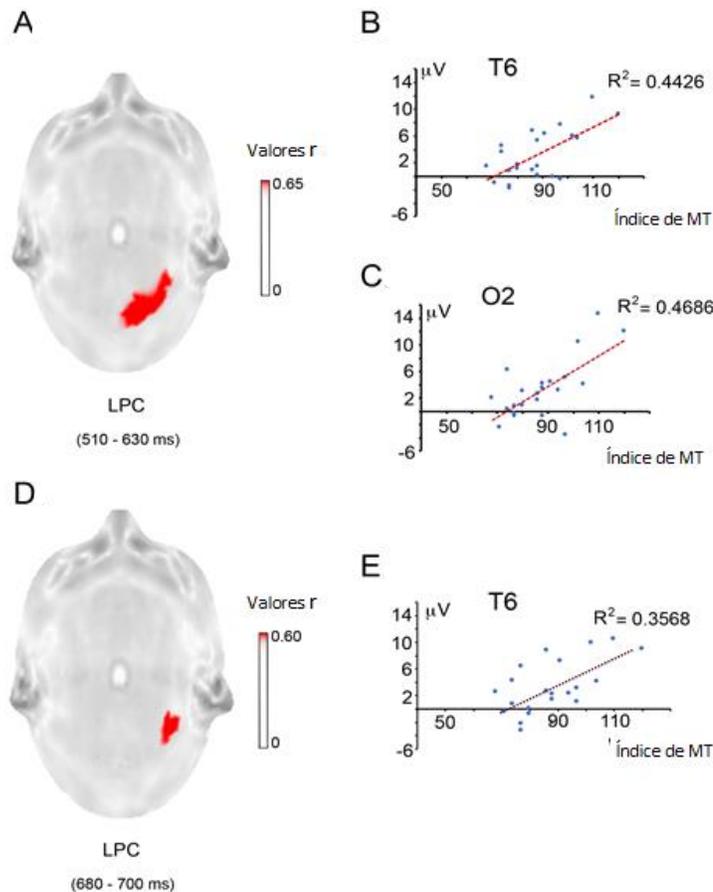


Figura 10. **Relación entre la memoria de trabajo y el efecto LPC en el grupo DIS.** (A) Mapa estadístico de las correlaciones entre el índice de MT y la diferencia de amplitud de los PRE entre las condiciones (incongruente menos congruente) de 510 a 630 ms (efecto LPC) a través de los electrodos. La mancha roja representa los valores r significativos ($p < 0.05$) sobre los electrodos T6 y O2. (B) Línea de regresión ascendente que muestra que los valores más altos del índice de memoria de trabajo (eje X) están asociados con mayor efecto LPC en el electrodo T6 (eje Y). (C) Línea de regresión ascendente que muestra que los valores más altos del índice de memoria de trabajo (eje X) están asociados con un mayor efecto LPC en el electrodo O2 (eje Y). (D) Mapa estadístico de las correlaciones entre el índice de MT y el efecto LPC (680-700 ms) a través de los electrodos. La mancha roja representa los valores r significativos ($p < 0.05$) sobre el electrodo T6. (E) Línea de regresión ascendente que muestra que los valores más altos del índice de memoria de trabajo (eje X) están asociados con mayor efecto LPC en el electrodo T6 (eje Y) (modificado de Cárdenas et al., 2021).

VII. DISCUSIÓN

El primer objetivo de este estudio fue comparar el procesamiento de verificación aritmética en niños con discalculia con el de niños con buen desempeño académico durante una tarea de verificación de sumas utilizando PRE. Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que explora las diferencias electroencefalográficas en este tipo de tarea entre estas dos poblaciones. Esperábamos un peor desempeño conductual (menor porcentaje de respuestas correctas o tiempos de respuesta más largos) en los niños con discalculia que en los niños con buen desempeño académico. En cuanto a los patrones de PRE, planteamos la hipótesis de que los niños con discalculia mostrarían latencias más largas y menores efectos N400-aritmético y LPC que los niños con buen desempeño académico. Adicionalmente, proyectamos explorar una posible correlación entre la memoria de trabajo y los efectos N400-aritmético y LPC.

7.1 Diferencias conductuales entre los grupos DIS y BDA

Nuestros resultados conductuales confirmaron parcialmente nuestra hipótesis. Observamos un porcentaje significativamente menor de respuestas correctas en el grupo DIS que en el grupo BDA. Este resultado corrobora los hallazgos de otros estudios (Castro & Reigosa, 2001; Geary, 1993; Geary et al., 1992; 1999; Landerl et al., 2004). El bajo desempeño de los niños con discalculia se ha explicado por el uso de estrategias procedimentales para resolver problemas (contar, contar todos y descomponer), que son más propensos a errores, en lugar de las estrategias de recuperación de la memoria a largo plazo que se utilizan cuando los niños enfrentan problemas de suma de un dígito (Geary, 2004). Sin embargo, en el presente estudio, las estrategias utilizadas no se registraron sistemáticamente para cada niño. Esto constituye una limitación del estudio porque no nos permite probar que las diferencias observadas sean consecuencia del tipo de estrategia utilizada.

Por otro lado, no hubo diferencia significativa entre los grupos con respecto a los tiempos de respuesta; una explicación de esto podría ser que la dispersión de los datos en ambos grupos, principalmente en el grupo DIS, fue muy alta, para corroborarlo vea la figura 4. Como era de esperar, en el grupo BDA, cuanto más edad tenían los niños, menores eran sus tiempos de respuesta, tal vez porque la automatización de los hechos aritméticos probados aquí aún se está desarrollando en este rango de edad. Curiosamente, los niños con discalculia no mostraron esta asociación del desempeño con la edad, probablemente porque, independientemente de la maduración, los niños con discalculia tienen problemas en el proceso de automatización.

7.2 Diferencias de PRE entre los grupos DIS y BDA

7.2.1 Efecto N400

Sólo el grupo BDA exhibió el efecto N400-aritmético (la amplitud de la condición incongruente fue mayor que la de la condición congruente). Este efecto se observó distribuido en las regiones temporo-parieto-occipital izquierda y fronto-temporal derecha y alcanzó su punto máximo antes de los 400 ms. La distribución de este efecto coincide con la reportada por Prieto-Corona et al. (2010), quienes compararon a niños con adultos jóvenes, y con la encontrada por Dong et al. (2007), quienes compararon a niños más pequeños con niños mayores durante la realización de tareas de verificación aritmética. El efecto N400 se observa en el grupo BDA en dos regiones. La región frontal coincide con la topografía observada en un estudio en adultos jóvenes (Megías & Macizo, 2016) y la localización posterior izquierda coincide con las encontradas por Avancini et al. (2014, 2015) y por Dickson y Federmeier (2017). Este efecto más distribuido en niños se corresponde con el observado por Prieto-Corona et al. (2010), quienes interpretaron que, para realizar la misma tarea aritmética, los niños involucran más regiones corticales en comparación con los adultos.

Hay pocos estudios en niños, y la mayoría de ellos utilizó diferentes operaciones aritméticas, que activan diferentes regiones del cerebro (Zhou et al., 2011). Otra diferencia con estos estudios es que para obtener los PRE en este estudio se promediaron las épocas de EEG sincronizadas con el inicio de los estímulos diana (solución de la suma), mientras que casi todos los estudios previos obtienen los PRE promediando las épocas sincronizadas con el estímulo contexto (suma) (Le Van Beek et al., 2014; Xuan et al., 2007). Sólo el estudio de Xuan et al. (2007) reúne las mismas características que el nuestro; en éste se observó el efecto N400 en el vértex, que no se corresponde con lo que encontramos. Una explicación con respecto a la diferencia en topografía de PRE entre Xuan et al. (2007) y el presente estudio podría ser el uso de estadísticas no paramétricas en nuestro estudio ya que no se usan comúnmente. Picton et al. (2000) propuso que es mejor el uso de estadística no paramétrica que el análisis paramétrico porque no hace suposiciones sobre la distribución de los datos y es especialmente útil en el análisis de distribuciones de cuero cabelludo multicanal. Además, Megías y Macizo (2016), al analizar sus datos de PRE mediante análisis estadístico paramétrico y no paramétrico, encontraron que los resultados obtenidos con ambos métodos fueron similares; aún más, las permutaciones no paramétricas parecían ser más sensibles a las diferencias.

Se ha observado un efecto posterior izquierdo más fuerte relacionado con la distancia (Avancini et al., 2014), lo cual coincide con los estudios que indican que esta área está

asociada con el código verbal, según el modelo de triple código (Dehaen & Cohen, 1995). En nuestro estudio, el grupo BDA mostró un mayor efecto N400 que el grupo DIS, precisamente en la zona temporal posterior izquierda.

Por el contrario, los niños con discalculia no mostraron un efecto N400-aritmético significativo y cuando se compararon sus PRE con los de los niños controles, hubo diferencias significativas sobre la región temporal posterior izquierda. Este hallazgo concuerda con estudios que reportaron un mayor efecto N400-aritmético en adolescentes control que en adolescentes con discalculia (Soltész et al., 2007) o en adultos con altas habilidades aritméticas en comparación con adultos con bajas habilidades aritméticas (Núñez-Peña & Suárez-Pellicioni, 2012).

La ausencia de un efecto N400 significativo en los niños con discalculia podría explicarse como una falla en el procesamiento de resultados congruentes, o bien, en el procesamiento de facilitación para reconocer como congruente o incongruente la solución de la suma. Parece que cualquier resultado presentado (solución congruente o incongruente) se detecta como un conflicto o desajuste con lo almacenado en el léxico aritmético. En la figura 6 se puede observar que en ambas condiciones hay una deflexión negativa prominente. De esta forma, parece que esta etapa de procesamiento no les conduce a respuestas correctas, y tienen que afrontar el problema y realizar el cálculo aritmético. El hecho de que las diferencias entre grupos estén en la región temporal izquierda podría deberse a que el aprendizaje de problemas simples de suma puede resultar en una mayor activación del proceso fonológico, como se describió para los problemas de multiplicación (Zhou et al., 2009). Dado que el efecto N400 podría reflejar la detección de un conflicto entre la respuesta esperada y la presentada, se puede activar la selección de la estrategia de verificación de plausibilidad, lo que se refleja en la ocurrencia de un efecto LPC.

Dado que estamos utilizando una tarea de verificación aritmética para evocar los PRE, es importante determinar qué procesos podrían manifestarse en ella. De los cuatro procesos involucrados en la tarea de verificación aritmética propuestos por Avancini et al. (2015), dos de ellos fueron controlados en nuestra tarea: 1) el número de estímulos congruentes fue igual al número de estímulos incongruentes y por tanto, el proceso de la violación de las expectativas estratégicas no debió manifestarse en los efectos del PRE; y 2) se utilizaron precisamente los mismos estímulos para ambas condiciones, por lo que las características físicas de los estímulos visuales no deben haber producido efecto en los PRE. Los otros dos efectos (el efecto de magnitud y la violación de las restricciones semánticas de los operandos cuando se muestra un estímulo incongruente) intervinieron durante la ejecución de la tarea, por lo que probablemente el efecto priming y el efecto de magnitud podrían haber estado mezclados.

7.2.2 Efecto LPC

El efecto LPC se mostró en ambos grupos, pero con diferentes latencias y topografía. El grupo DIS mostró un efecto LPC retardado de menor duración. Considerando que el efecto LPC está modulado por la expectativa o plausibilidad de la solución y que los niños con discalculia tenían menores habilidades aritméticas, esperábamos un efecto LPC menor en el grupo DIS que en el grupo BDA. Nuestros resultados apoyaron esta hipótesis porque se observó una amplitud significativamente menor del efecto LPC en el grupo DIS en la región frontopolar derecha. Como otros autores (Iguchi & Hashimoto, 2000; Núñez-Peña et al., 2011; Núñez-Peña & Honrubia-Serrano, 2004; Núñez-Peña & Suárez-Pellicioni, 2012; 2015; Szűcs & Soltész, 2010), encontramos que el efecto LPC es mayor en individuos con mejor desempeño. Esta diferencia se ubicó en la región frontal derecha. Justamente en esta región, Meiri et al. (2012), utilizando espectroscopía funcional de infrarrojo cercano, observaron una activación durante las adiciones simples, y se cree que es responsable del procesamiento aritmético holístico (Dehaene et al., 2003; El Yagoubi et al., 2003). Por tanto, este resultado sugiere que los niños del grupo BDA realizan una mayor reevaluación de lo incorrecto cuando el resultado propuesto es incongruente que cuando es congruente, mientras que los niños con discalculia, quizás por falta de seguridad en sus conocimientos aritméticos, reevalúan casi todos los resultados sin distinción entre las condiciones congruentes e incongruentes.

En la figura 5C se aprecia que también hubo diferencias en la topografía entre los grupos: mientras que el grupo BDA mostró el efecto LPC en el área posterior derecha esperada, el grupo DIS exhibió este efecto en la región posterior izquierda. La lateralización derecha del efecto LPC en niños con buen desempeño académico es consistente con un papel más deliberativo y prolongado del hemisferio derecho durante la evaluación de la solución de la suma, que se ha encontrado en adultos en una tarea de verificación de multiplicación (Dickson & Federmeier, 2017). Según estos autores, después de un período inicial de evaluación de la respuesta proporcionada, el hemisferio izquierdo la clasifica como correcta o incorrecta y ya no realiza evaluaciones de seguimiento, mientras que el hemisferio derecho realiza una evaluación deliberada de características adicionales del estímulo, quizás utilizando habilidades espaciales, para hacer una evaluación que sea menos categórica. En este sentido, es posible que los niños con discalculia busquen intencionalmente la respuesta correcta en la memoria de largo plazo (hemisferio izquierdo) y no encuentren la respuesta, lo que eventualmente los lleve a realizar el cálculo aritmético. Aunque la topografía registrada del cuero cabelludo no necesariamente indica la ubicación de los generadores, las diferentes topografías indican que los generadores deben ser distintos (Nunez & Srinivasan, 2006). Quizás nuestros resultados sugieran que la lateralización izquierda del efecto LPC observado en niños con discalculia es un fenómeno compensatorio para obtener la respuesta correcta.

7.3 Heterogeneidad dentro del grupo DIS

En contraste con nuestras expectativas, encontramos escasas diferencias entre grupos en los efectos aritméticos N400 y LPC. La heterogeneidad en el comportamiento de los niños y el patrón de PRE, que fue más evidente en el grupo DIS, podría explicar esto. La heterogeneidad dentro de este grupo podría estar asociada con sus déficits de MT. Para explicar las funciones cerebrales atípicas que se reflejan como trastornos neurobiológicos del procesamiento cognitivo (Silver et al., 2008) que subyacen a los trastornos del aprendizaje, existen dos hipótesis principales (Landerl et al., 2009). Además de la hipótesis de dominio específico, que se refiere a habilidades específicamente relacionadas con las competencias matemáticas, la hipótesis del déficit común postula que ciertos patrones de procesamiento son comunes a todos los niños con trastornos del aprendizaje. Apoyando esta hipótesis, Swanson (1987) propuso que los niños con trastornos del aprendizaje experimentan fallas en los mecanismos de funcionamiento ejecutivo, lo que también apunta a los déficits de MT como problemas esenciales (Berninger, 2008; Swanson, 2015; Swanson & Siegel, 2001). En niños con discapacidades matemáticas, se ha informado con frecuencia que la MT juega un papel esencial en el dominio aritmético (Swanson, 2015). En nuestro estudio, una vez que los niños habían realizado la operación de suma, tenían que mantener el resultado en la MT hasta que aparecía la solución de la suma (1500 ms después) para realizar el proceso de verificación de respuesta y finalmente dar una respuesta. Por lo tanto, la tarea de verificación aritmética que usamos es particularmente eficiente para resaltar problemas de MT.

7.4 Memoria de trabajo y discalculia

Consistente con nuestra hipótesis 7, los niños del grupo DIS tuvieron un índice de MT más bajo que los niños del grupo BDA. Este hallazgo concuerda con estudios previos donde la MT tuvo un papel predictivo en el aprendizaje de la aritmética (Meyer et al., 2010) y con Mammarella et al. (2017), quienes reportaron que los niños con discalculia mostraban puntuaciones bajas en MT. Considerando que un efecto N400-aritmético refleja una facilitación para el estímulo diana (i.e., solución de la suma que coincide con la respuesta correcta), la ausencia de este efecto en los niños con discalculia es consistente con el hecho de que estos niños tienen una alteración en la MT. Mantener la información de la adición en MT, como es probable que hagan los niños con un buen desempeño académico, conduce a facilitar el reconocimiento o el rechazo del resultado propuesto.

Sin embargo, el grupo DIS no fue homogéneo con respecto al índice de MT medido. Por lo tanto, al explorar la relación entre la MT y su posible efecto sobre el procesamiento aritmético en el grupo DIS, no fue sorprendente encontrar que los niños con puntuaciones

más altas del índice de MT tuvieran un mayor efecto LPC en la región posterior derecha. Esta región coincide con la topografía de LPC observada en estudios previos (Niedeggen & Rösler, 1999; Núñez-Peña & Escera, 2007; Núñez-Peña & Honrubia-Serrano, 2004) y en nuestros participantes control.

La relación entre la MT y el efecto LPC se dilucidó en el presente estudio y contribuye a comprender la discalculia en los niños. Para explorar el efecto de la MT en niños con discalculia, los niños del grupo DIS se clasificaron en dos grupos (uno con puntuaciones índice de MT dentro del rango promedio y otro con puntuaciones índice de MT inferiores al promedio). La inspección visual de los patrones de PRE de estos dos grupos mostró que los niños con discalculia e índice de MT dentro del rango promedio tenían un patrón de PRE similar al de los niños con BDA, mientras que los niños con discalculia y un índice de MT inferior al promedio mostraron un patrón atípico, el cual se puede ver en la figura 9. La inspección visual de los PRE sugiere que este patrón atípico consistente en dos picos negativos (a 195 ms y 405 ms) sobre las regiones parietooccipital y centro-parieto-temporal y dos picos positivos (a 525 ms y 685 ms) sobre las regiones parietales. Estas dos negatividades podrían corresponder a los efectos N200 y N400-aritmético, mientras que estas dos positividades pueden corresponder a dos efectos LPC. Una posible interpretación es que los niños con discalculia y déficit de MT evocaron un efecto N200 porque requerían recursos atencionales adicionales (Xuan et al., 2007). Sin embargo, el N200 mostrado por estos niños tenía una topografía posterior; por lo tanto, esto podría ser un reflejo de que para ellos es relevante iniciar un fuerte mecanismo de control inhibitorio (Schmajuk et al., 2006) antes de emparejar el resultado de la suma con el estímulo presentado, lo que produce un efecto N400-aritmético. Después, probablemente reevaluaron dos veces el error aritmético (Núñez-Peña & Suárez-Pellicioni, 2012).

Cabe destacar que la interpretación anterior está basada únicamente en la inspección visual de los patrones de PRE en los dos subgrupos del grupo DIS. Idealmente, habría sido muy interesante comparar estadísticamente el procesamiento en niños con discalculia y déficit de MT con el procesamiento en los niños con discalculia sin déficit de MT utilizando una tarea de verificación aritmética. Sin embargo, los tamaños de las muestras son demasiado pequeños para comparar estadísticamente estos subgrupos. Esto podría realizarse en futuras investigaciones porque podría arrojar información valiosa para dilucidar si la discalculia produce el patrón de PRE atípico o si el patrón atípico observado en los PRE es característico de los niños que, además de discalculia, tienen déficit de MT. Una tercera posibilidad es que este patrón de PRE atípico sea una consecuencia exclusiva de los déficits de MT.

VIII. CONCLUSIONES

Los niños con discalculia no mostraron el efecto N400-aritmético que tenían los niños con buen desempeño académico en una tarea de verificación aritmética; sin embargo, ambos grupos mostraron un efecto LPC. La gran heterogeneidad dentro del grupo de niños con discalculia pudo afectar la manifestación de un efecto de LPC robusto en estos niños; sin embargo, cuanto mayor era el déficit de MT, menor era el efecto LPC en la región posterior derecha. En niños con discalculia y déficit de MT, se hizo evidente un patrón de PRE atípico (es decir, N200, N400 y dos efectos de LPC). Por lo tanto, los estudios que examinan la discalculia deberían explorar el déficit de MT, ya que todo el grupo de niños con discalculia parece contener al menos dos subpoblaciones que difieren en su procesamiento de cálculo.

IX. REFERENCIAS

- Altamirano, M. 2011. Relación de hechos aritméticos y la memoria de trabajo en niños con dificultades en la recuperación de hechos aritméticos y la memoria de Trabajo en niños con dificultades en el aprendizaje de las matemáticas. Estudio de PREs. (Tesis inédita de Maestría). *Universidad de Guadalajara. Guadalajara*
- American Psychiatric Association. 2013. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: DSM-5*. 5th ed. Washington, D.C: American Psychiatric Association
- Andersson U, Lyxell B. 2007. Working Memory deficits in children with mathematical difficulties: a general or specific deficit?. *Journal of Experimental Child Psychology* 96:197-228 DOI:10.1016/j.jecp.2006.10.001
- Antell SE, Keating D. 1983. Perception of numerical invariance in neonates. *Child Development* 54(3):695-701
- Ashcraft M. 1992. Cognitive arithmetic. A review of data theory. *Cognition* 44:75-106
- Ashcraft M, Battaglia J. 1978. Cognitive arithmetic: Evidence for retrieval and decision processes in mental addition. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory* 4:527-538
- Attout L, Majerus S. 2014. Working memory deficits in developmental dyscalculia: The importance of serial order. *Child Neuropsychology* 21:432-450 DOI:10.1080/09297049.2014.922170
- Avancini C, Galfano G, Szűcs D. 2014. Dissociation between arithmetic relatedness and distance effects is modulated by task properties: an ERP study comparing explicit vs. implicit arithmetic processing. *Biological Psychology* 103:305-16 DOI:10.1016/j.biopsycho.2014.10.003
- Avancini C, Soltész F, Szűcs D. 2015. Separating stages of arithmetic verification: An ERP study with a novel paradigm. *Neuropsychologia* 75:322–329 DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2015.06.016
- Backhoff EE. 2016. ¿Avanza o retrocede la educación básica?. *El Universal*. Recuperado 17 de octubre de 2020 (<https://www.eluniversal.com.mx/entrada-de-opinion/articulo/eduardo-backhoff-escudero/nacion/2016/06/12/avanza-o-retrocede-la>)
- Baddeley AD. 2006. Working memory: an overview. In: Pickering SJ, ed. *Working Memory and Education*. Burlington, MA: Academic Press, 517-552
- Badian N. 1983. Dyscalculia and non-verbal disorders of learning. En Myklebust ed. *Progress in learning disabilities*. 5:235-264
- Bernal J, Rodríguez M, Prieto B, Romero H. 2011. Potenciales relacionados con Eventos (PRE): aspectos básicos y conceptuales. En Silva-Pereyra J. *Métodos en Neurociencias Cognoscitivas*. Manual Moderno. México
- Berninger V. 2008. Defining and differentiating dysgraphia, dyslexia, and language. Learning disability within a working memory model. In: Mody M, Silliman E, eds. *Brain, behavior, and learning in language and reading disorders*. New York: The Guilford Press, 103-134

- Camos V. 2018. Do Not Forget Memory to Understand Mathematical Cognition. In: Henik A, Fias W, eds. Heterogeneity of Function in Numerical Cognition. London: Academic Press 433-447. DOI: 10.1016/B978-0-12-811529-9.00020-0
- Campbell JI, Fugelsang J. 2001. Strategy choice for arithmetic verification: Effects of numerical surface form. *Cognition* 80:B21–B30
- Campbell JI, Hrenyk J. 2012. Operand–Operator Compatibility in Cognitive Arithmetic. *Canadian Journal of Experimental Psychology* 66(2):137–143
- Campbell JI, Xue Q. 2001. Cognitive arithmetic across cultures. *Journal of Experimental Psychology: General* 130:299-315 DOI:10.1037/0096-3445.130.2.299
- Castro DE, Reigosa-Crespo V. 2001. Calibrando la línea numérica mental. Evidencias desde el desarrollo típico y atípico. *Revista de Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias* 11:17-31
- Cipora K, Nuerk HC. 2013. Is the SNARC effect related to the level of mathematics? No systematic relationship observed despite more power, more repetitions, and more direct assessment of arithmetic skill. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 66:1974-1991 DOI:10.1080/17470218.2013.772215
- Compromiso Social. 2018. Los Resultados de 6° de primaria PLANEA 2018. Compromiso Social por la Calidad y la Equidad de la Educación. Recuperado 17 de octubre de 2020 (<https://compromisoporlaeducacion.mx/los-resultados-de-6-de-primaria-planea-2018/>)
- Dantzing T. en Padrón V. 2002. EL sentido Numérico: Cómo la mente crea las matemáticas, en Stanislas Dehaene. *Boletín de Asociación Matemática Venezolana* 9(1):97-103
- Dehaene S. 1992. Varieties of numerical abilities. *Cognition*. 44:1-42
- Dehaene S. 2000. Cerebral Bases of number processing and calculation. en: Gazzaniga MS. *The new cognitive neuroscience*. Cambridge, Massachusetts. London, England
- Dehaene S, Bossini S, Giraux P. 1993. The mental representation of parity and numerical magnitude. *Journal of Experimental Psychology General* 122:371– 396
- Dehaene S, Cohen L. 1995. Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition* 1:83–120
- Dehaene S, Cohen L. 1997. Cerebral pathways for calculation: double dissociation between rote verbal and quantitative knowledge of arithmetic. *Cortex* 33:219–250 DOI:10.1016/s0010-9452(08)70002-9
- Dehaene S, Molko N, Cohen L, Wilson A. 2004. Arithmetic and the Brain. *Current Opinion in Neurobiology* 14:218-224
- Dehaene S, Piazza M, Pinel P, Cohen L. 2003. Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology* 20:487–506 DOI:10.1080/02643290244000239
- De Smedt B, Janssen R, Bouwens K, Verschaffel L, Boets B, Ghesquière P. 2009. Working memory and individual differences in mathematics achievement: a longitudinal study from first grade to second grade. *Journal of Experimental Child Psychology* 103:186-201 DOI:10.1016/j.jecp.2009.01.004

- DeStefano D, LeFevre JA. 2004. The role of working memory in mental arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology* 16:353–386 DOI:10.1080/09541440244000328
- Dickson DS, Federmeier KD. 2017. The language of arithmetic across the hemispheres: An event-related potential investigation. *Brain Research* 1662:46–56 DOI:10.1016/j.brainres.2017.02.019
- Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM. 2017, febrero, 23. ¿Dificultades con los números? Podría ser discalculia, un trastorno de aprendizaje más frecuente en niñas que en niños. *El Universal*. Recuperado de <https://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/ciencia/2017/02/23/dificultades-con-los-numeros>
- Donchin E, Coles MG. 1997. Context updating and the P300. *Behavioral and Brain Sciences* 11:357-374 DOI:10.1017/S0140525X98230950
- Dong X, Wang SH, Yang YL, Ren YL, Meng P, Yang YX. 2007. [Event-related potentials in Chinese characters semantic priming and arithmetic tasks: comparative study between healthy children and children with cognitive disorder]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 87(40):2825-2828..
- El Yagoubi R, Lemaire P, Besson M. 2003. Different brain mechanisms mediate two strategies in arithmetic: Evidence from Event-Related brain Potentials. *Neuropsychology* 41:855-862 DOI:10.1016/S0028-3932(02)00180-X
- Fennema E, Carpenter TP, Jacobs VR, Franke ML, Levi LW. 1998. A longitudinal study of gender differences in young children's mathematical thinking. *Educational Researcher* 27:6-11 DOI:10.3102/0013189X027005006
- Flombaum J, Junge J, Hauser M. 2005. Rhesus monkeys spontaneously compute addition operations over large numbers. *Cognition* 97(3):15-325
- Foley AE, Vasilyeva M, Laski EV. 2017. Children's use of decomposition strategies mediates the visuospatial memory and arithmetic accuracy relation. *The British Journal of Developmental Psychology* 35:303-309 DOI:10.1111/bjdp.12166
- Forbes. 2013. 55% de los estudiantes mexicanos, sin competencias en matemáticas. *Forbes México*. Recuperado 17 de noviembre de 2020 (<https://www.forbes.com.mx/55-de-los-estudiantes-mexicanos-sin-competencias-en-matematicas/>)
- Fuchs LS, Compton DL, Fuchs D, Paulsen K, Bryant JD, Hamlett CL. 2005. The prevention, identification, and cognitive determinants of math difficulty. *Journal of Educational Psychology* 97:493-513 DOI:10.1037/0022-0663.97.3.493
- Galán L, Biscay R, Rodríguez JL, Pérez-Abalo MC, Rodríguez R. 1998. Testing topographic differences between event related brain potentials by using non-parametric combinations of permutation tests. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 102:240-247 DOI:10.1016/s0013-4694(96)95155-3
- Gallistel C, Gelman R. 1992. Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition* 44:43-74
- Gashaj V, Oberer N, Mast FW, Roebers CM. 2019. Individual differences in basic numerical skills: the role of executive functions and motor skills. *Journal of Experimental Child Psychology* 182:187-195 DOI: 10.1016/j.jecp.2019.01.021

- Geary DC. 1993. Mathematical disabilities: cognitive, neuropsychological, and genetic components. *Psychological Bulletin* 114:345–362 DOI:10.1037/0033-2909.114.2.345
- Geary DC. 2004. Mathematics and learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities* 37:4–15 DOI:10.1177/00222194040370010201
- Geary DC. 2017. La Discalculia en Edad Temprana. *Enciclopedia sobre el Desarrollo de la Primera Infancia*. EE.UU Disponible en <http://www.encyclopedia-infantes.com/documents/GearyESPxp.pdf>
- Geary DC, Bow-Thomas CC, Yao Y. 1992. Counting knowledge and skill in cognitive addition: A comparison of normal and mathematically disabled children. *Journal of Experimental Child Psychology* 54:372–391 DOI:10.1016/0022-0965(92)90026-3
- Geary D, Hoard M. 2001. Numerical and arithmetical deficits in learning-disabled children: Relation to dyscalculia and dyslexia. *Aphasiology* 15(7):635-647
- Geary DC, Hoard MK, Hamson CO. 1999. Numerical and arithmetical cognition: Patterns of functions and deficits in children at risk for a mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology* 74:213-239 DOI:10.1006/jecp.1999.2515
- Geary DC, Wiley JG. 1991. Cognitive addition: Strategy choice and speed-of-processing differences in young and elderly adults. *Psychology and Aging* 6:474 DOI:10.1037/0882-7974.6.3.474
- Greenberg L, Kindschi R, Corman M. 2000. *Test Of Variables Of Attention. Guide. Universal Attention Disorder*. Inc. United States of America
- Gross-Tsur V, Manor O, Shalev R. 1996. Developmental dyscalculia: Prevalence and demographic features. *Development Medicine and Child Neurology* 38(1):25-33
- Harmony T, Marosi E, Díaz de León AE, Becker J, Fernández T. 1990. Effect of sex, psychosocial disadvantages and biological risk factors on EEG maturation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 75:482-491 DOI:10.1016/0013-4694(90)90135-7
- Hinault T, Lemaire P. 2016. What does EEG tell us about arithmetic strategies? A review. *International Journal of Psychophysiology* 106:115–126 DOI:10.1016/j.ijpsycho.2016.05.006
- Hitch GJ, McAuley E. 1991. Working memory in children with specific arithmetical learning difficulties. *British Journal of Psychology* 82:375-386 DOI:10.1111/j.2044-8295.1991.tb02406.x
- Holmes J, Adams JW. 2006. Working Memory and Children's Mathematical Skills: Implications for mathematical development and mathematics curricula. *Educational Psychology* 26:339–366 DOI:10.1080/01443410500341056
- Hsu YF, Szűcs, D. 2011. Arithmetic mismatch negativity and numerical magnitude processing in number matching. *BMC Neuroscience* 12:83–88 doi.org/10.1186/1471-2202-12-83 DOI:10.1186/1471-2202-12-83
- Iguchi Y, Hashimoto I. 2000. Sequential information processing during a mental arithmetic is reflected in the time course of event-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology* 111:204-213 DOI:10.1016/S1388-2457(99)00244-8
- Imbo I, Vandierendock A. 2008. Effects of problem size, operation, and working-memory span on simple-arithmetic strategies: differences between children and adults?. *Psychological Research* 72:331-346 DOI:10.1007/s00426-007-0112-8

- Imbo I, Vandierendonck A, Rosseel Y. 2007. The influence of problem features and individual differences on strategic performance in simple arithmetic. *Memory and Cognition* 35:454-463 DOI:10.3758/bf03193285.
- Jacobovich S. 2006. Modelos actuales del procesamiento numérico. *Revista Argentina de Neuropsicología* 7:21-31
- Jasinski EC, Coch D. 2012. ERPs across arithmetic operations in a delayed answer verification task. *Psychophysiology* 49:943–958 DOI:10.1111/j.1469-8986.2012.01378.x
- Jordan N, Hanich L. 2000. Mathematical thinking in second-grade children with different forms of LD. *Journal of Learning Disabilities*. 33(6):567-578
- Jost K, Hennighausen E, Rösler F. 2004. Comparing arithmetic and semantic fact retrieval: Effects of problem size and sentence constraint on event-related brain potentials. *Psychophysiology* 41:46-59 DOI:10.1111/1469-8986.00119_41_1
- Kaufmann L, Mazzocco MM, Dowker A, Von Aster M, Göbel SM, Grabner RH, Henik A, Jordan NC, Karmiloff-Smith AD, Kucian K, Rubinsten O, Szűcs D, Shalev R, Nuerk HC. 2013. Dyscalculia from a developmental and differential perspective. *Frontiers in Psychology* 4:516. DOI: 10.3389/fpsyg.2013.00516
- Kiefer M, Dehaene, S. 1997. The time course of parietal activation in single-digit multiplication: Evidence from event-related potentials. *Mathematical Cognition* 3:1-30
- Kosc L. 1974. Developmental Dyscalculia. *Journal of Learning Disabilities* 7:164-167
- Krueger L, Hallford E. 1984. Why $2 + 2 = 5$ looks so wrong: On the odd-even rule in sum verification. *Memory and Cognition* 12:171-180
- Landerl K, Bevan A, Butterworth B. 2004. Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: a study of 8-9-year-old students. *Cognition* 93:99–125 DOI:10.1016/j.cognition.2003.11.004
- 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: 309-324 DOI:10.1016/j.jecp.2009.03.006
- LeFevre JA, Kulak AG. 1994. Individual differences in the obligatory activation of addition facts. *Memory and Cognition* 22:188-220 DOI:10.3758/bf03208890.
- LeFevre J, Sadesky G, Bisanz J. 1996. Selection of procedures in mental addition: Reassessing the problem-size effect in adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 22:216-230
- Luck SJ. 2014. *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*. Second Ed. Cambridge: MIT Press
- Mabbott DJ, Bisanz J. 2008. Computational skills, working memory, and conceptual knowledge in older children with mathematics learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities* 41:15–28 DOI:10.1177/0022219407311003
- Mammarella IC, Caviola S, Giofrè D, Szűcs D. 2017. The underlying structure of visuospatial working memory in children with mathematical learning disability. *The British Journal of Developmental Psychology* 36:220-235 DOI:10.1111/bjdp.12202

- Martínez N. 2014. Prueba ENLACE registra retroceso en nivel de español. *El Universal*. Recuperado 6 de agosto de 2014 (<https://archivo.eluniversal.com.mx/nacion-mexico/2014/enlace-retroceso-espaniol-bachillerato--1028485.html>)
- Matute E, Rosselli M, Ardila A, Ostrosky-Solís F. 2005. *Evaluación neuropsicológica infantil*. Segunda Ed. México DF: Manual Moderno. DOI:10.33588/rn.3808.2003400
- McDonald PA, Berg DH. 2018. Identifying the nature of impairments in executive functioning and working memory of children with severe difficulties in arithmetic. *Child Neuropsychology* 24:1047-1062. DOI:10.1080/09297049.2017.1377694
- McLean JF, Hitch GJ. 1999. Working Memory Impairment in Children with Specific Learning Difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology* 74, 240-260
- Megías P, Macizo P. 2016. Simple arithmetic: electrophysiological evidence of coactivation and selection of arithmetic facts. *Experimental Brain Research* 234:3305-3319 DOI:10.1007/s00221-016-4728-z980149
- Meiri H, Sela I, Neshet P, Izzetoglu M, Izzetoglu K, Onaral B, Breznitz Z. 2012. Frontal lobe role in simple arithmetic calculations: an fNIR study. *Neuroscience letters* 510: 43–47. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.12.066>
- Menon V. 2016. Working memory in children’s math learning and its disruption in dyscalculia. *Behavioral Sciences* 10:15-132. DOI:10.1016/j.cobeha.2016.05.014
- Meyer ML, Salimpoor VN, Wu SS, Geary DC, Menon V. 2010. Differential contribution of specific working memory components to mathematics achievement in 2nd and 3rd graders. *Learning and Individual Differences* 20:101–109 DOI:10.1016/j.lindif.2009.08.004
- Miranda A, Gill-Ilario M. 2001. Las Dificultades de aprendizaje en las matemáticas: Concepto, manifestaciones y procedimientos de manejo. *Revista de Neurología* 2:55-71
- Molina H. 2019. Prueba PISA 2018: México mantiene los mismos bajos niveles en aprendizaje. *El Economista*. Recuperado 17 de noviembre de 2020 (<https://www.economista.com.mx/politica/Prueba-PISA-2018-Mexico-mantiene-los-mismos-bajos-niveles-en-aprendizaje--20191203-0048.html>)
- Moreno T. 2017. SEP: seis de cada 10 alumnos, con ‘aprendizaje insuficiente. *El Universal*. Recuperado 17 de octubre de 2020 (<https://www.eluniversal.com.mx/nacion/politica/sep-seis-de-cada-10-alumnos-con-aprendizaje-insuficiente>)
- Muedano M. 2015. Resultados de Planea apuntan a niveles bajos de aprendizaje. *El Universal*. Recuperado 12 de octubre de 2020 (<https://www.eluniversal.com.mx/articulo/nacion/sociedad/2015/11/6/resultados-de-planea-apuntan-a-niveles-bajos-de-aprendizaje>)
- Niedeggen M, Rösler F. 1999. N400 Effects Reflect Activation Spread During Retrieval of Arithmetic Facts. *Psychological Science* 10:271-176 DOI:10.1111/1467-9280.00149
- Niedeggen M, Rösler F, Jost K. 1999. Processing of incongruous mental calculation problems: Evidence for an arithmetic N400 effect. *Psychophysiology* 36:307-324 DOI:10.1017/s0048577299

- Nieder A, Miller EK. 2004. A parieto-frontal network for visual numerical information in the monkey. *PNAS* 19(101)7457-7462 Recuperado de www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0402239101
- Nunez PL, Srinivasan R. 2006. *Electrical fields of the brain. The Neurophysics of EEG*. Oxford: Oxford University Press
- Núñez-Peña MI, Cortiñas M, Escera, C. 2006. Problem size effect and processing strategies in mental arithmetic. *Neuroreport* 17:357-360
- Núñez-Peña MI, Escera C. 2007. An event-related brain potential study of the arithmetic split effect. *International Journal of Psychophysiology* 64:165–173 DOI:10.1016/j.ijpsycho.2007.01.007
- Núñez-Peña MI, Gracia-Bafalluy M, Tubau E. 2011. Individual differences in arithmetic skill reflected in event-related brain potentials. *International Journal of Psychophysiology* 80:143-149 DOI:10.1016/j.ijpsycho.2011.02.017
- Núñez-Peña MI, Honrubia-Serrano ML. 2004. P600 related to rule violation in an arithmetic task. *Cognitive Brain Research* 18:130-141 DOI:10.1016/j.cogbrainres.2003.09.010
- Núñez-Peña MI, Honrubia-Serrano M, Escera C. 2004. Problem size effect in additions and subtractions: an event-related potential study. *Neuroscience Letters* 373:21-25
- Núñez-Peña MI, Suárez-Pellicioni M. 2012. Processing false solutions in additions: differences between high-and lower-skilled arithmetic problem-solvers. *Experimental Brain Research* 218:655-663 DOI:10.1007/s00221-012-3058-z
- Núñez-Peña MI, Suárez-Pellicioni M. 2015. Processing of multi-digit additions in high math-anxious individuals: psychophysiological evidence. *Frontiers in Psychology* 6:1268 DOI:10.3389/fpsyg.2015.01268
- Pascual-Marqui RD, Lehmann D, Koukkou M, Kochi K, Anderer P, Saletu B, Tanaka H, Hirata K, John ER, Prichep L, Biscay-Lirio R, Kinoshita T. 2011. Assessing interactions in the brain with exact low-resolution electromagnetic tomography. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 369:3768-3784 DOI:10.1098/rsta.2011.0081
- Pauli P, Lutzenberger W, Birbaumer N, Rickard T, Bourne L. 1996. Neurophysiological correlates of mental arithmetic. *Psychophysiology* 33:522-529
- Pauli P, Lutzenberger W, Rau H, Birbaumer N, Rickard T. 1994. Brain potentials during mental arithmetic: effects of extensive practice and problem difficulty. *Cognitive Brain Research* 2:21-29
- Peng P, Fuchs D. 2016. A Meta-Analysis of Working Memory Deficits in Children With Learning Difficulties: Is There a Difference Between Verbal Domain and Numerical Domain?. *Journal of Learning Disabilities* 49:3-20. DOI:10.1177/0022219414521667
- Picton TW, Bentin S, Berg P, Donchin E, Hillyard SA, Johnson R Jr, Miller GA, Ritter W, Ruchkin DS, Rugg MD, Taylor MJ. 2000. Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: recording standards and publication criteria. *Psychophysiology* 37:127-152 DOI: 10.1111/1469-8986.3720127
- Pineda E. 2016. México reprobado en la evaluación PISA 2015. *Educación Futura*. Recuperado 17 de noviembre de 2020 (<http://www.educacionfutura.org/mexico-reprobado-en-la-evaluacion-pisa-2015/>)

- Polich J. 2007. Updating P300: an integrative theory of p3a and P3b. *Clinical Neurophysiology* 118:2128-2148 DOI:10.1016/j.clinph.2007.04.019
- Prieto B. 2010. Potenciales Relacionados con Eventos (PRE) durante tareas de priming aritmético y semántico en niños normales y en niños con trastornos de aprendizaje. (Tesis de Doctorado). *Universidad Autónoma de México*
- Prieto-Corona, Rodríguez-Camacho M, Silva-Pereyra J, Marosi E, Fernández T, Guerrero V. 2010. Event-related potentials findings differ between children and adults during arithmetic-fact retrieval. *Neuroscience Letters* 468:220-224 DOI:10.1016/j.neulet.2009.10.094
- Rodríguez M, Prieto B, Bernal J. 2011. Potenciales relacionados con Eventos (PRE): aspectos básicos y conceptuales. En Silva-Pereyra J. *Métodos en Neurociencias Cognoscitivas*. Manual Moderno. México
- Rodríguez R. 2015. Alumnos de bachillerato con aprendizaje insuficiente: SEP. *El Universal*. Recuperado 12 de octubre de 2020 (<https://www.eluniversal.com.mx/articulo/nacion/sociedad/2015/08/4/alumnos-de-bachillerato-con-aprendizaje-insuficiente-sep>)
- Rotzer S, Loenneker T, Kucian K, Martin E, Klaver P, von Aster M. 2009. Dysfunctional neural network of spatial working memory contributes to developmental dyscalculia. *Neuropsychologia* 47:2859-2865 DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.009
- Sandrini M, Miozzo A, Cotelli M, Cappa S. 2003. The residual calculation abilities of patient with severe aphasia: evidence for a selective deficit of subtraction procedures. *Cortex* 39:85:96
- Schmajuk M, Liotti M, Busse L, Woldorff MG. 2006. Electrophysiological activity underlying inhibitory control processes in normal adults. *Neuropsychologia* 44:384–395 DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2005.06.005
- Schuchardt K, Maehler C, Hasselhorn M. 2008. Working memory deficits in children with specific learning disorders. *Journal of Learning Disabilities* 41:514-523 DOI:10.1177/0022219408317856
- Shalev RS, Manor O, Gross-Tsur V. 2005. Developmental dyscalculia: a prospective six-year follow-up. *Developmental Medicine and Child Neurology* 47:121–125 DOI:10.1017/s0012162205000216
- Sheedan D, Shytle D, Milo K, Lecrubier Y, Hergueta T, Colón-Soto M, Díaz V, Soto O. 2000. *Mini International Neuropsychiatric Interview. Para Niños y Adolescentes*. Versión en Español
- Shen I, Liu P, Chen C. 2018. Neural correlates underlying spatial and verbal working memory in children with different mathematics achievement levels: an Event-Related Potential study. *International Journal of Psychophysiology* 133: 149-158 DOI:10.1016/j.ijpsycho.2018.07.006
- Schirlin O, Houdé O. 2006. Negative priming effect after inhibition of weight/number interference in a Piaget-like task. *Cognitive Development* 22(1):124-129
- Siegler R, Jenkins E. 1989. *How children discover new strategies*. Hillsdale, Inc. Lawrence Erlbaum Associates
- Silver CH, Ruff RM, Iverson GL, Barth JT, Broshek DK, Bush SS, Koffler SP, Reynolds CR, NAN Policy and Planning Committee. 2008. Learning disabilities: the need for

- neuropsychological evaluation. *Archives of Clinical Neurophysiology* 23:217-219
DOI:10.1016/j.acn.2007.09.006
- Simms V, Clayton S, Cragg L, Gilmore C, Johnson S. 2016. Explaining the relationship between number line estimation and mathematical achievement: The role of visuomotor integration and visuospatial skills. *Journal of Experimental Child Psychology* 145:22-33 DOI:10.1016/j.jecp.2015.12.004
- Soltész F, Szűcs D. 2009. An electro-physiological temporal principal component analysis of processing stages of number comparison in developmental dyscalculia. *Cognitive Development* 24:473-485 DOI:10.1016/j.cogdev.2009.09.002
- Soltész F, Szűcs D, Dékány J, Márkus A, Csépe V. 2007. A combined event-related potential and neuropsychological investigation of developmental dyscalculia. *Neuroscience Letters* 417(2):181–186 DOI:10.1016/j.neulet.2007.02.067
- Starkey P, Cooper R. 1980. Perception of numbers by human infants. *Science* 210:1033-1035
- Swanson HL. 1987. Information processing theory and learning disabilities: a commentary and future perspective. *Journal of Learning Disabilities* 20:155-166
DOI:10.1177/002221948702000303
- Swanson HL. 2015. Intelligence, Working Memory, and Learning Disabilities. In: Papadopoulos TC, Parrila RK, and Kirby JR, eds. *Cognition, Intelligence, and Achievement*. Amsterdam: Academic Press, 175-196
- Swanson HL, Beebe-Frankenberger M. 2004. The relationship between working memory and mathematical problem solving in children at risk and not at risk for serious math difficulties. *Journal of Educational Psychology* 96:471-491 DOI:10.1037/0022-0663.96.3.471
- Swanson HL, Siegel L. 2001. Learning disabilities as a working memory deficit. *Issues in Education* 7:1-48
- Szűcs D. 2016. Subtypes and comorbidity in mathematical learning disabilities: Multidimensional study of verbal and visual memory processes is key to understanding. *Progress in Brain Research* 227:277-304 DOI:10.1016/bs.pbr.2016.04.027
- Szűcs D, Csépe V. 2005. The effect of numerical distance and stimulus probability on ERP components elicited by numerical incongruencies in mental addition. *Cognitive Brain Research* 22:289-300 DOI:10.1016/j.cogbrainres.2004.04.010
- Szűcs D, Soltész F. 2010. Event-related brain potentials to violations of arithmetic syntax represented by place value structure. *Biological Psychology* 84:354-367
DOI:10.1016/j.biopsycho.2010.04.002
- Temple C, Sherwood S. 2002. Representation and retrieval of arithmetical facts: Developmental difficulties. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 55A:733–752
- Thevenot C, Fanget M, Fayol M. 2007. Retrieval or nonretrieval strategies in mental arithmetic? An operand recognition paradigm. *Memory and Cognition* 35:1344-1352
DOI:10.3758/bf03193606
- Torresi, S. 2018. Discalculia del Desarrollo (DD). *Revista de Psicopedagogía* 35(108):348-356

- Träff U, Olsson L, Östergren R, Skagerlund K. 2020. Development of early domain-specific and domain-general cognitive precursors of high and low math achievers in grade 6. *Child Neuropsychology* 1-26 DOI:10.1080/09297049.2020.1739259
- Van Beek L, Ghesquière P, De Smedt B, Lagae L. 2014. The arithmetic problem size effect in children: an event-related potential study. *Frontiers in Human Neuroscience* 8:756 DOI:10.3389/fnhum.2014.00756
- Wechsler D. 2007. *Wechsler intelligence scale for children-WISC-IV*. México DF: Manual Moderno. DOI:10.1016/j.neuroimage.2013.12.030
- Xuan D, Wang S, Yang Y, Meng P, Xu F, Yang W, Sheng W, Yang Y. 2007. Age difference in numeral recognition and calculation: an event-related potential study. *Child Neuropsychology* 13:1-17 DOI:10.1080/09297040600760465
- Zar JH. 2010. *Biostatistical Analysis*. New York: Prentice Hall International Inc.
- Zbrodoff N, Logan G. 2005. What Everyone Finds: The Problem-Size Effect. Handbook of Mathematical Cognition. Psychology Press. New York, USA
- Zhou X, Booth JR, Lu J, Zhao H, Butterworth B, Chen C, Dong Q. 2011. Age-independent and age-dependent neural substrate for single-digit multiplication and addition arithmetic problems. *Developmental Neuropsychology* 36:338-352 DOI:10.1080/87565641.2010.549873
- Zhou X, Chen C, Dong Q, Zhang H, Zhou R. 2006. Event-related potentials of single-digit addition, subtraction, and multiplication. *Neuropsychology* 44:2500-2507
- Zhou X, Chen C, Qiao S, Chen C, Chen L, Lu N, Dong Q. 2009. Event-related potentials for simple arithmetic in Arabic digits and Chinese number words: a study of the mental representation of arithmetic facts through notation and operation effects. *Brain Research* 1302:212–224 DOI:10.1016/j.brainres.2009.09.024

X. APÉNDICES

10.1 Potada de artículo publicado



Arithmetic processing in children with dyscalculia: an event-related potential study

Sonia Y. Cárdenas¹, Juan Silva-Pereyra², Belén Prieto-Corona², Susana A. Castro-Chavira¹ and Thalía Fernández¹

¹ Departamento de Neurobiología Conductual y Cognitiva, Instituto de Neurobiología, Universidad Nacional Autónoma de México, Querétaro, México

² Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Tlalneantla, Estado de México, México

ABSTRACT

Introduction: Dyscalculia is a specific learning disorder affecting the ability to learn certain math processes, such as arithmetic data recovery. The group of children with dyscalculia is very heterogeneous, in part due to variability in their working memory (WM) deficits. To assess the brain response to arithmetic data recovery, we applied an arithmetic verification task during an event-related potential (ERP) recording. Two effects have been reported: the N400 effect (higher negative amplitude for incongruent than for congruent condition), associated with arithmetic incongruency and caused by the arithmetic priming effect, and the LPC effect (higher positive amplitude for the incongruent compared to the congruent condition), associated with a reevaluation process and modulated by the plausibility of the presented condition. This study aimed to (a) compare arithmetic processing between children with dyscalculia and children with good academic performance (GAP) using ERPs during an addition verification task and (b) explore, among children with dyscalculia, the relationship between WM and ERP effects.

Materials and Methods: EEGs of 22 children with dyscalculia (DYS group) and 22 children with GAP (GAP group) were recorded during the performance of an addition verification task. ERPs synchronized with the probe stimulus were computed separately for the congruent and incongruent probes, and included only epochs with correct answers. Mixed 2-way ANOVAs for response times and correct answers were conducted. Comparisons between groups and correlation analyses using ERP amplitude data were carried out through multivariate nonparametric permutation tests.

Results: The GAP group obtained more correct answers than the DYS group. An arithmetic N400 effect was observed in the GAP group but not in the DYS group. Both groups displayed an LPC effect. The larger the LPC amplitude was, the higher the WM index. Two subgroups were found within the DYS group: one with an average WM index and the other with a lower than average WM index. These subgroups displayed different ERPs patterns.

Discussion: The results indicated that the group of children with dyscalculia was very heterogeneous and therefore failed to show a robust LPC effect. Some of these children had WM deficits. When WM deficits were considered together with dyscalculia, an atypical ERP pattern that reflected their processing difficulties

Submitted 4 September 2019
Accepted 13 November 2020
Published 27 January 2021

Corresponding author
Thalía Fernández,
thaliafn@yahoo.com.mx

Academic editor
Genevieve McArthur

Additional Information and
Declarations can be found on
page 23

DOI 10.7717/peerj.10489

© Copyright
2021 Cárdenas et al.

Distributed under
Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

How to cite this article Cárdenas SY, Silva-Pereyra J, Prieto-Corona B, Castro-Chavira SA, Fernández T. 2021. Arithmetic processing in children with dyscalculia: an event-related potential study. PeerJ 9:e10489 DOI [10.7717/peerj.10489](https://doi.org/10.7717/peerj.10489)