



Facultad de Estudios Superiores
IZTACALA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Programa de Maestría y Doctorado en Psicología
Facultad de Estudios Superiores Iztacala
Residencia en Neuropsicología Clínica

“RELACIÓN ENTRE LA VISOESPACIALIDAD, LA MEMORIA DE TRABAJO, LA
CONCIENCIA FONOLÓGICA Y LAS HABILIDADES MATEMÁTICAS EN ESCOLARES
DE 8 A 10 AÑOS”

TESIS

Para optar por el grado de:
Maestra en Psicología

PRESENTA:

Psic. Ariana Doménica Aldaz López

TUTOR PRINCIPAL

Dr. Mario Arturo Rodríguez Camacho (FES-I UNAM)

MIEMBROS DEL COMITÉ

Dr. Carlos Alberto Serrano Juárez (FES-I UNAM)
Dra. Olga Yaneth Rodríguez Agudelo (INNN)
Dra. Dulce María Belén Prieto Corona (FES-I UNAM)
Dra. Julieta Moreno Villagómez (FES-I UNAM)

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, diciembre 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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

Me encuentro profundamente agradecido por la oportunidad de agradecer a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de este trabajo. Este logro no habría sido posible sin el apoyo de cada uno de ustedes. En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Mario Arturo Rodríguez Camacho, mi tutor. Su orientación, paciencia y conocimiento han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Gracias, Dr. Rodríguez, por ser un mentor excepcional y un guía en este viaje académico. También deseo extender mi agradecimiento a mis sinodales, quienes con sus valiosas observaciones y críticas constructivas enriquecieron mi trabajo. A la Universidad Nacional Autónoma de México, FES Iztacala, que ha sido mi hogar académico durante estos años. Agradezco a esta prestigiosa institución por brindarme la oportunidad de estudiar y desarrollarme académicamente. Mi gratitud se extiende a mis maestros, cuyas enseñanzas han sido fundamentales en este camino. A mi querida hermana, a quien admiro por su constante superación y apoyo incondicional, te agradezco por ser un ejemplo de perseverancia. A mis padres, no puedo expresar con palabras cuánto significan para mí, su apoyo, amor y confianza han sido mi mayor fortaleza a lo largo de esta travesía. Por último, deseo agradecer al Centro Escolar Ecuador por brindarme la oportunidad de colaborar con estudiantes y contribuir al desarrollo de futuras generaciones.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento. Este logro no es solo mío, sino el resultado del esfuerzo conjunto de individuos excepcionales.

Resumen

Introducción: La competencia matemática incluye utilizar conceptos, procedimientos, y herramientas para describir, explicar y predecir fenómenos. Se ha reportado que dentro de los procesos cognitivos las habilidades visoespaciales (HV), la conciencia fonológica (CF) y la memoria de trabajo (MT) son importantes en el desarrollo de las habilidades aritméticas (HA), aunque se desconoce el peso relativo de cada uno. Esta investigación busca identificar la relación entre los puntajes obtenidos en pruebas de HA y algunos componentes de las HV, la CF y la MT. **Método:** Se realizó un muestreo por conveniencia de 35 participantes (16 niñas y 19 niños), de entre 8 y 10 años, a quienes se aplicaron los siguientes **Instrumentos:** Batería Neuropsicológica para la Evaluación de los Trastornos del Aprendizaje (BANETA), Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI-2), Método de Evaluación de la Percepción Visual de Frostig (DTVP-2), NEUROPSI: Atención y Memoria. Los datos se analizaron con correlaciones y regresiones jerárquicas. **Resultados:** Se encontraron correlaciones positivas moderadas entre las pruebas de HA y las de percepción y lenguaje espacial. También para la MT visoespacial, pero no para la MT verbal. Para la CF, se encontraron correlaciones con la prueba de deletreo. Las regresiones jerárquicas mostraron a la percepción espacial y al lenguaje espacial como variables predictoras de varias pruebas aritméticas. **Discusión:** Todas las tareas aritméticas se correlacionaron con la percepción espacial, especialmente las operaciones aritméticas dictadas, lo que sugiere que las HA requieren de una representación espacial adecuada. El lenguaje espacial también mostró correlaciones positivas con las pruebas que hacían uso del lenguaje, como la denominación escrita de números. La MT visoespacial se correlacionó principalmente con las operaciones aritméticas dictadas e impresas, y el deletreo con la denominación escrita de números y las operaciones aritméticas dictadas. **Conclusión.** La relación de las HV, de MT y de CF con las HA en niños de 8 a 10 años, concuerda con los reportes de la literatura sobre el tema. La percepción espacial y el lenguaje espacial fueron las variables predictoras significativas más importantes del desempeño en las HA exploradas, seguidas de la MT visoespacial y la CF, sugiriendo la importancia de las habilidades espaciales, pero también de las verbales en el desempeño de las HA en este grupo de edad.

Palabras Clave. Habilidades matemáticas, visoespacialidad, memoria de trabajo, conciencia fonológica, niños escolares

Índice de Contenidos

Introducción	VII
CAPÍTULO I: Habilidades Visoespaciales, Memoria de Trabajo y Conciencia Fonológica.	8
1.1 Desarrollo de las habilidades visoespaciales _____	8
1.2 Influencia del Sexo y de la Lateralidad Sobre la Visoespacialidad. _____	10
1.3 La Toma de Perspectiva Visoespacial _____	11
1.4 Factores que Pueden Afectar a la Visoespacialidad _____	11
1.5 Lenguaje Espacial _____	12
1.6 Percepción Espacial _____	13
1.7 Rotación Mental _____	15
1.8 Integración Visual _____	16
1.9 La Memoria Visual y la Memoria Espacial _____	16
1.10 La Memoria de Trabajo (MT) _____	18
1.10.1 Modelo Multicomponente de la MT	19
1.11 Conciencia Fonológica _____	23
CAPÍTULO II: Habilidades Matemáticas	25
2.1 Desarrollo Temprano de las Habilidades Matemáticas _____	25
2.2 Áreas Cerebrales que se han Relacionado con las Habilidades Matemáticas _____	25
2.3 Procesamiento Cognitivo en el Desarrollo Matemático _____	27
2.4 Modelo de Cuatro Pasos para la Adquisición del Concepto de Número. _____	28
2.5 Habilidades Matemáticas y su Relación con Otras Habilidades _____	29
2.5.1 Matemáticas, Lectura y Funciones Ejecutivas.....	29
2.5.2 Matemáticas y Lenguaje	30
2.6 Lenguaje Matemático y Habilidades Numéricas _____	30
2.6.1 Lenguaje Matemático y Habilidades Aritméticas Tempranas.....	31
CAPÍTULO III: Investigaciones sobre la Visoespacialidad, la Memoria de Trabajo, la Conciencia Fonológica y su Influencia en las Habilidades Matemáticas	33
3.1 La Visoespacialidad y la Ejecución Matemática. _____	33
3.1.1. Lenguaje Espacial y Ejecución Matemática.....	35
3.1.2. Percepción Espacial y Ejecución Matemática	38
3.1.3. Rotación Mental y Ejecución Matemática	41
3.1.4. Integración Visual y Ejecución Matemática	42
3.1.5. Piaget, las matemáticas y la visoespacialidad.....	43
3.2. Memoria de Trabajo y Ejecución Matemática _____	44

3.3. Conciencia Fonológica y Ejecución Matemática _____	46
3.4. Otras habilidades que han sido relacionadas con el desempeño matemático. _	49
Justificación	50
Planteamiento del Problema	51
Pregunta de Investigación _____	51
Objetivo General _____	51
Objetivos Específicos _____	51
Hipótesis _____	51
CAPÍTULO IV: MÉTODOS	52
4.1 Metodología _____	52
4.1.1 Diseño.....	52
4.1.2 Criterios de Inclusión y Exclusión	52
4.2 Muestra _____	52
4.3 Planteamientos Éticos _____	53
4.4 Procedimiento _____	55
4.5 Instrumentos y Validez _____	53
4.5.1 Instrumento para evaluar habilidades matemáticas	53
4.5.2 Instrumentos para evaluar Visoespacialidad, Memoria de Trabajo y Conciencia Fonológica.	53
4.6 Definición Conceptual y Operacional de las Variables _____	56
4.7 Análisis de Datos _____	58
CAPÍTULO V: Resultados	59
5.1 Estadísticos Descriptivos _____	59
5.2 Pruebas de Normalidad _____	61
5.3 Resultados de las Correlaciones _____	62
5.4 Resultados de las Regresiones Jerárquicas _____	65
Discusión	67
Limitaciones.....	75
Conclusiones	76
Referencias	77
Anexos.....	91

Índice de Figuras

Figura 1.	13
Figura 2.	20
Figura 3.	26
Figura 4.	29
Figura 5.	40

Índice de Tablas

Tabla 1.	56
Tabla 2.	59
Tabla 3.	59
Tabla 4.	61
Tabla 5.	62
Tabla 6.	63
Tabla 7.	64
Tabla 8.	97
Tabla 9.	98
Tabla 10.	99
Tabla 11.	100
Tabla 12.	101
Tabla 13.	102
Tabla 14.	103
Tabla 15.	104

Introducción

De acuerdo con el Programa Internacional para la Evaluación de Estudiantes (PISA), la competencia matemática “es la capacidad del individuo para formular, emplear e interpretar las matemáticas en distintos contextos. Incluye razonar matemáticamente y utilizar conceptos, procedimientos, herramientas y hechos matemáticos para describir, explicar y predecir fenómenos” (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2016). La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) a través de su programa PISA, realiza cada tres años una prueba para evaluar el conocimiento en áreas de lectura, matemáticas y ciencia; según su informe del 2015, todos los participantes de países latinoamericanos (Colombia, México, Chile, Perú, Uruguay, Costa Rica) obtuvieron un puntaje menor al promedio (OCDE, 2016); el informe más reciente señala que los puntajes en Latinoamérica se mantienen estables y no ha habido mejora en cuanto al rendimiento (OCDE, 2018). En contraste, en el caso de Ecuador, se observó un rendimiento en matemáticas y ciencias superior al promedio regional, mejorando su rendimiento desde las pruebas de 2013; pero manteniendo falencias en otras áreas como la lectura (UNESCO, 2021).

Tomando en cuenta lo anterior, se vuelve importante conocer cuáles son las variables que influyen en el desempeño matemático, de manera que se puedan generar e implementar modelos educativos que permitan mejorar el desempeño matemático.

Las habilidades visoespaciales son una de las variables que resultan importantes para la adquisición de un buen desempeño matemático. Se supone que los números al ser de naturaleza espacial requieren de dicho procesamiento para poder comprenderse; por lo tanto, un adecuado desarrollo de las habilidades visoespaciales beneficia el rendimiento matemático debido a que apoyan la visualización de los problemas matemáticos; otras variables son la memoria de trabajo (MT) y la conciencia fonológica (CF), de las que se reporta que también están involucradas en el procesamiento matemático, al ayudar a manipular información, además de apoyar la verbalización de los problemas matemáticos, mantener la información relevante en memoria mientras se hace la operación y se da el resultado (Cornu et al., 2018).

Todos los elementos mencionados, resultan de especial relevancia para lograr un mejor entendimiento de los procesos cognitivos que subyacen a un buen desempeño matemático; de esta manera, en un futuro podrían diseñarse mejores métodos de enseñanza y de intervención que permitan a los niños una mejor comprensión de las matemáticas.

CAPÍTULO I: Habilidades Visoespaciales, Memoria de Trabajo y Conciencia Fonológica.

Al hablar de conocimiento espacial, hacemos referencia a un término amplio que incluye habilidades perceptuales no verbales que generalmente tienen una naturaleza visual y requieren de la memoria y de la manipulación espacial; frecuentemente las habilidades espaciales no se separan de las constructivas, es decir, de aquella capacidad que permite integrar elementos dentro de un todo organizado. Aunque en las primeras etapas de la vida, ya se pueden observar indicios de procesamiento visoespacial es importante la maduración cerebral y de las estructuras anatómicas implicadas, las cuales van a estar estrechamente relacionadas con la capacidad del niño y posterior adulto para percibir el mundo que los rodea. Existen diferencias en estas capacidades visoespaciales que, según algunos estudios, van a depender de la lateralidad, el sexo, la educación y otros factores ambientales y sociales. Por otra parte, también se han desarrollado modelos cognitivos que tratan de explicar los diferentes procesos implicados en la toma de perspectiva visual tanto propia como de terceras personas.

1.1 Desarrollo de las habilidades visoespaciales

En las primeras etapas de la vida, los bebés desarrollan gradualmente su capacidad de alerta y empiezan a orientar su atención a los cambios del mundo visual. Tanto la alerta como la orientación y la atención son funciones que se encuentran entre las habilidades básicas necesarias para el funcionamiento cotidiano (Kooiker et al., 2019, pp. 71–72). La atención muestra un proceso de desarrollo a lo largo de la vida; durante la infancia, la atención está dirigida a las características más llamativas del entorno y es hasta los 2 a 3 años que el sujeto toma control del direccionamiento de la atención (Haan & Johnson, 2003, p. 73). Para explicar el comportamiento visual y la atención en los infantes, el modelo de Johnson (1990) propone que el desarrollo de las diferentes capas de la corteza visual primaria es el responsable del comportamiento visual y de la atención visual. La atención visual se vuelve relevante porque esta requiere procesar e integrar aspectos de bajo nivel de información visual, lo que a su vez es un requisito previo para un buen rendimiento en otros ámbitos, como en las tareas visomotoras o las de percepción visual (Kooiker et al., 2019, pp. 71–72). Tradicionalmente, las primeras etapas de la orientación de la atención y el procesamiento de la información visoespacial se evalúan con paradigmas de mirada preferente. En estos paradigmas, la información visual se muestra como estímulos

“objetivo” que difieren del fondo. Las características de estas respuestas pueden dar una indicación de la calidad en la orientación y en el procesamiento de la atención visoespacial, tanto en términos de rendimiento como en términos de eficacia (Teller, 1979, pp. 135–136).

Es importante hablar también de la maduración cerebral, base fundamental para el desarrollo del conocimiento espacial. Este conocimiento espacial hace referencia a un término amplio que incluye habilidades perceptuales no verbales que generalmente tienen una naturaleza visual y requieren de la memoria y de la manipulación espacial, como se ha mencionado, esto incluye también la orientación, que involucra entender la disposición de los elementos siguiendo un patrón de estímulos visuales (McGee, 1979, p. 897). A medida que la maduración cerebral avanza, el niño va adquiriendo habilidades visoespaciales más complejas, algunos de estos aprendizajes son puramente visoespaciales e involucran estructuras del hemisferio derecho; otros son dimensiones de la visoespacialidad de tipo verbal, mediados por el lenguaje, lo que supondría una mayor maduración del hemisferio izquierdo (Rosselli et al., 2010).

Rosselli (2015), menciona que para hablar del desarrollo de las habilidades visoespaciales y visoconstruccionales es importante tener en cuenta a los dos subsistemas corticales del sistema visual. Uno de ellos es denominado el sistema del “qué” (ventral) y otro el sistema del “dónde” (dorsal). Durante el primer año de vida, los niños perciben un objeto en su espacio visual, lo cual les permite seguirlo con la mirada y alcanzarlo con la mano, por lo tanto, la habilidad para navegar por el espacio tendría sus bases en la interacción entre el sistema visual y el motor. En un inicio, el niño realiza un análisis espacial del todo y se hipotetiza que no llegaría a comprender que ese “todo” está hecho de partes. No es hasta los 6 y 7 años que logra un análisis espacial exitoso, es decir empieza a realizar un análisis de los elementos de forma independiente, proceso que se ha relacionado con la especialización al hemisferio derecho. En un inicio, ambos hemisferios trabajarían en conjunto y, a medida que las tareas espaciales mejoran, progresivamente están bajo el control del hemisferio derecho. De esta manera, cuando se realizan tareas de tipo construccional se activarían los sistemas visuales dorsal y ventral; además, debido a que son tareas que requieren de un gran componente espacial, la participación del sistema dorsal, en especial del hemisferio derecho, sería mayor.

Se puede definir a la atención visoespacial como la capacidad para atender y procesar estímulos del espacio circundante (Posner & Petersen, 1990), pudiéndose distinguir dos marcos de referencia: egocéntrico o allocéntrico. Cuando se habla de representación visoespacial egocéntrica se hace referencia a la capacidad de planificación

del movimiento, junto con el control motor necesario para interactuar con los objetos, mientras que la representación aloctrica permite determinar las referencias espaciales en el entorno. La interacción entre estas dos hace posible el procesamiento espacial (Ickx et al., 2017).

1.2 Influencia del Sexo y de la Lateralidad Sobre la Visoespacialidad.

En una serie de tareas gráficas, se trataron de identificar las características típicas de la relación espacial de acuerdo con diferencias individuales, antes de la adquisición de la alfabetización. Los resultados mostraron una influencia significativa del sexo en la “complementariedad gráfica”, entendida como la habilidad para completar las formas, aunque existan elementos faltantes. Las niñas presentaron una complementariedad equilibrada, mientras que los niños presentaron una complementariedad lateralizada. Además, parece que a las niñas les resultó más fácil realizar dibujos que a los niños, quienes eran más propensos a omitir elementos. Esta observación puede ser el reflejo de un fenómeno del desarrollo. A los 7 años, las niñas presentan un desarrollo cognitivo y psicomotor más temprano y, alrededor del séptimo y octavo año, los niños serán capaces de integrar la totalidad del objeto percibido y tener en cuenta características espaciales, además de crear producciones gráficas idénticas a lo percibido (Hamaoui et al., 2021). No obstante, en ambos sexos, cuando se usan estrategias espaciales la actividad cerebral se concentra en el lóbulo parietal; se ha encontrado que la actividad parietal es bilateral en el caso de las mujeres y está más lateralizada hacia el hemisferio derecho en el caso de los hombres, esto puede implicar que existan posibles diferencias en cuanto a estrategias exploratorias; se sabe que la corteza parietal derecha está asociada con un procesamiento visual global y la izquierda con uno local; por lo tanto, los hombres harían un rastreo visual general para emitir una respuesta o un juicio y las mujeres realizarían tanto un rastreo localizado como global (Cela-Conde et al., 2009, p. 3851).

También, se ha reportado que la lateralidad influye significativamente en el punto de partida de la producción gráfica y en la orientación de los trazos. La mayoría de los diestros muestran una fuerte preferencia por un punto de origen izquierdo y un eje de progresión de izquierda a derecha, mientras que los zurdos prefieren un punto de origen derecho y un eje de progresión de derecha a izquierda (Hamaoui et al., 2021).

1.3 La Toma de Perspectiva Visoespacial

En condiciones normales, vemos un entorno desde nuestra propia perspectiva visoespacial (egocéntrica), donde nuestra experiencia multimodal del espacio se centra en nuestro propio cuerpo. Por otro lado, la toma de perspectiva visoespacial (TPV) es la capacidad de imaginar la visión de una escena desde otra perspectiva, a veces en tercera persona (Gunia et al., 2021).

La observación de las capacidades de TPV en los seres humanos fue iniciada por Piaget utilizando un modelo de construcción de tres montañas y un muñeco. Durante el experimento, se pedía a los niños que respondieran si el muñeco podía o no ver determinados objetos, a veces ocultos tras las capas de montañas (posteriormente denominado TPV de nivel 1), o cómo se vería la escena de las montañas desde la perspectiva del muñeco (posteriormente denominado TPV de nivel 2). Los resultados indicaron que antes de los 9-10 años, es difícil que los niños superaran sus sesgos visoespaciales egocéntricos y emitieran juicios desde perspectiva de otro. Posteriormente, Flavell diferenció el nivel 1 de TPV (seguimiento de la perspectiva) del nivel 2 de TPV y caracterizó el primero como la estimación de lo que es visible y lo que está ocluido para los demás, y la segunda como la comprensión de que los demás pueden ver las mismas cosas que nosotros, pero de forma diferente. El seguimiento de la perspectiva se desarrolla a la edad de 2 años. Por el contrario, el TPV de nivel 2 comienza a los 4-5 años. La toma de perspectiva espacial se refiere a la capacidad de estimar correctamente una relación espacial (real o imaginaria) entre la persona y un objeto, mientras que la toma de perspectiva visual nos permite estimar cómo ve un objeto otra persona (Gunia et al., 2021).

1.4 Factores que Pueden Afectar a la Visoespacialidad

Debe considerarse también que el daño cerebral es un importante factor de riesgo de disfunción visual, atencional y de retraso en el procesamiento visoespacial. Dada la vulnerabilidad de las redes cerebrales distribuidas que subyacen al desarrollo visual en la etapa perinatal, se espera que las disfunciones visoespaciales sean más frecuentes en los niños prematuros con factores de riesgo de daño neurológico (Kooiker et al., 2019).

Los nacimientos prematuros, son aquellos que se producen antes de las 37 semanas, y su frecuencia se calcula entre el 8 y el 11%. Los prematuros presentan un mayor riesgo de resultados adversos en el neurodesarrollo, incluyendo problemas cognitivos y de comportamiento. Algunos estudios revelan que podrían mostrar habilidades visomotoras disminuidas, lo que podría afectar potencialmente a cualquier tarea que

requiera una sincronización de los movimientos de motricidad fina mano-ojo (Fernández-Baizan et al., 2021).

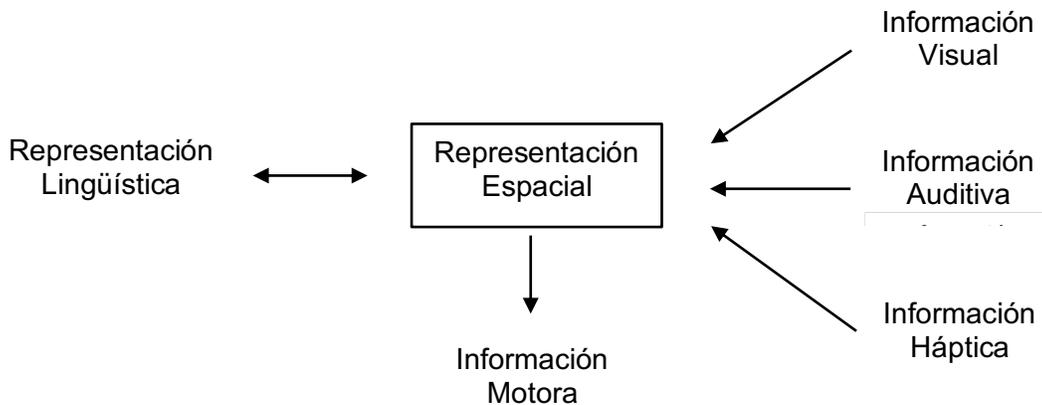
1.5 Lenguaje Espacial

La capacidad de reconocer objetos, buscarlos y navegar por el espacio es fundamental para el conocimiento espacial en todas las especies, incluyendo a los humanos. Sin embargo, lo que nos distingue de otras especies es nuestra habilidad para utilizar estas representaciones, y comunicar nuestra experiencia espacial mediante el lenguaje, hablando acerca de lo que son las cosas y dónde se encuentran. Es evidente que el lenguaje y la comprensión espacial están estrechamente relacionados (Landau & Jackendoff, 1993, p. 217) .

Es importante definir lo que se entiende por "representación espacial" y "lenguaje de objetos y lugares". La representación espacial se refiere a un nivel de representación mental dedicado a codificar las propiedades geométricas de los objetos en el mundo y las relaciones espaciales entre ellos. Dado que la información espacial puede provenir de diferentes sentidos como la visión, el oído y el tacto, esta representación debe ser heteromodal o amodal, lo que significa que no se trata exclusivamente de una representación visual, háptica o auditiva, sino más bien de una representación espacial. La Figura 1 muestra una representación de los *inputs* y *outputs* espaciales (Landau & Jackendoff, 1993, p. 217). Por otra parte, el lenguaje espacial puede definirse como la "manera de representar objetos y ubicaciones mediante descripciones verbales con respecto a múltiples sistemas de coordenadas o marcos de referencia" (Binder et al., 2009). Este está diferenciado en ocho categorías: 1) dimensión espacial (ej. Tamaño); 2) formas (ej. Redondo); 3) localización y dirección (para describir su posición); 4) orientación (ej. Girar a la izquierda); 5) cantidad (ej. Todo, porción); 6) deícticos (ej. Aquí, allá); 7) características espaciales y propiedades (ej. Lado, curva); 8) patrones (ej. Incremento, decremento, siguiente, después) (Cannon et al., 2007).

Figura 1

Esquema de los inputs y outputs de las representaciones espaciales.



Nota. Estas representaciones espaciales deben ser traducibles a una forma específica del sistema motor que se utiliza para iniciar y guiar el comportamiento, lo que nos permite tocar lo que vemos, mirar lo que oímos y evitar obstáculos mientras navegamos por el espacio. Figura adaptada de Landau y Jackendoff (1993) en "What" and "where" in spatial language and spatial cognition, (p. 218). *Behavioral and Brain Sciences*, 16(2).

La representación del espacio a través del lenguaje simbólico es de gran importancia para los seres humanos, ya que proporciona un formato natural para expresar conceptos y relaciones que no son inherentemente espaciales. Por ejemplo, lingüistas como Ray Jackendoff han demostrado que nuestro vocabulario espacial puede extenderse fácilmente a conceptos temporales. Palabras como "delante" y "detrás" tienen un significado principalmente espacial, pero también se pueden utilizar para expresar significados temporales, como adelantado o retrasado. Además, las representaciones espaciales proporcionan una forma natural de resolver problemas, incluso aquellos que no son intrínsecamente espaciales. Parece ser que las personas encuentran natural resolver problemas no espaciales mediante la conversión del contenido informativo del problema en un formato espacial, como por ejemplo cuando hacemos uso de mapas y pretendemos llegar a un lugar en específico (Ramachandran, 2002, p. 409).

1.6 Percepción Espacial

Durante el siglo XIX, Alemania vivió una época de gran auge en la fisiología y la psicología sensoriales. En este contexto, Helmholtz y Hering propusieron teorías precisas y empíricas sobre el color y la percepción espacial. En cuanto a la percepción espacial, Helmholtz afirmó que toda capacidad de localización espacial se deriva de la experiencia,

mientras que Hering sostuvo que el sistema visual tiene mecanismos innatos para localizar sensaciones. Casi todos los principales teóricos de la época aceptaron la idea de que la percepción se basa en sensaciones puntuales no espaciales que varían solo en calidad e intensidad. Actualmente, aunque hay nuevas técnicas disponibles para investigar cómo influyen los procesos cerebrales en la percepción, todavía queda por descubrir completamente cómo se genera la conciencia durante este proceso (Hatfield, 2001, p. 11204).

Gran parte de nuestro conocimiento sobre la base neural de la percepción espacial se ha obtenido a través de la observación de pacientes que sufren déficits espaciales después de una lesión cerebral. Estos déficits incluyen una amplia gama de problemas perceptuales y motores, como la dificultad para localizar estímulos visuales, auditivos o táctiles, la incapacidad para determinar la orientación de las líneas visuales o táctiles; como puede verse, el comportamiento espacial implica muchos tipos de habilidades y, como era de esperar, varias regiones del cerebro están implicadas en la percepción y el desempeño espacial. En términos generales, se cree que el lóbulo parietal está implicado en la percepción espacial y la representación del espacio extrapersonal inmediato, mientras que las cortezas temporal y parahipocampal están más involucradas en la memoria topográfica y la navegación. Por su parte, el lóbulo frontal recibe información de la corteza parietal y temporal y es responsable de generar acciones (Colby, 2001, p. 11206).

Cuando una persona percibe un objeto, lo hace desde sus múltiples características espaciales, como tamaño, forma y localización; por supuesto, todo visto desde la perspectiva de la persona (Green & Schellenberg, 2018). La percepción espacial es importante cuando se realizan tareas de localización, aunque también puede estar mediada por la planificación, puesto que la persona va a requerir de una estrategia o de un cambio de estrategia al momento de elegir su respuesta; la teoría de la codificación de eventos propone dos supuestos: el primero menciona que las acciones son planificadas en función de los efectos futuros y el segundo afirma que la percepción espacial y la planificación van a compartir recursos neurales comunes; por lo cual, los mapeos perceptivos estarían menos sesgados de cara a una respuesta de localización más precisa (Scott & Günther, 2004).

En el caso de los niños, estos adquieren la habilidad de percepción espacial poco después del nacimiento y comienzan a moverse y explorar su entorno. Sin embargo, el aprendizaje geográfico real comienza un poco más tarde cuando el niño empieza a buscar activamente en su entorno. Entre los 12 y 18 meses de edad, los niños pueden encontrar objetos ocultos a la vista, y de los 18 meses a 2 años, pueden manejar desplazamientos

invisibles de objetos. A medida que crecen, adquieren la capacidad de realizar búsquedas más complejas, pero la mayoría de los estudios se han limitado a la escala de una habitación o un poco más grande (Hatfield, 2001).

La cognición espacial se divide en dos niveles generales: micro o mesoespacial, que implica relaciones espaciales entre objetos a una escala perceptible directamente (Cohen, 1985), y macro o geográfica, que implica representaciones a gran escala de objetos que no se perciben de inmediato juntos en el mundo real, como leer un mapa para navegar por una ciudad. Aunque la percepción espacial en niños ha sido estudiada, se necesita más investigación para comprender completamente el proceso de la percepción en la conciencia (Hatfield, 2001).

1.7 Rotación Mental

La rotación mental es un proceso que implica imaginar la rotación de una imagen visual desde una orientación a otra, y se considera necesario cuando se requiere acceder a información sobre la dirección o la simetría de un objeto (Cooper & Shepard, 1973). Se sabe desde hace tiempo, que la capacidad de reconocer un estímulo como ya visto previamente puede ser afectada al rotar el estímulo a una nueva vista o al voltearlo para crear una imagen reflejada. Shepard y Metzler propusieron que, para determinar si dos estímulos visibles eran iguales o diferentes, se requería una transformación mental del estímulo rotado a la vista de un estándar. Esta transformación mental se denominó rotación mental y se piensa que refleja una transformación holística a través del ángulo más corto entre los dos estímulos. Se cree que el tiempo necesario para realizar esta transformación es proporcional a la distancia angular, lo que sugiere que la rotación mental funciona a una velocidad constante (Searle & Hamm, 2017, p. 1).

Se ha sugerido que la corteza parietal derecha está principalmente involucrada en la rotación mental, pero un estudio investigó la neuroanatomía funcional y las asimetrías hemisféricas asociadas a esta tarea. Los participantes realizaron dos tareas diferentes y se evaluaron las regiones cerebrales involucradas en la rotación mental utilizando imágenes de resonancia magnética funcional (IRMf). Los resultados mostraron que la tarea de paridad provocó aumentos en la activación de las corrientes visuales dorsales y ventrales, así como en las áreas premotoras, el giro frontal inferior y la ínsula anterior. Solo un subconjunto de estas áreas, incluyendo la parte posterior del surco intraparietal dorsal, las regiones premotoras de orden superior y la ínsula anterior, mostraron una mayor activación en función de la orientación del estímulo. Además, la tarea de paridad provocó una mayor

activación en el surco intraparietal ventral derecho que en el izquierdo, pero no hubo diferencias hemisféricas en la activación dependiente de la orientación. Estos resultados sugieren que ninguno de los dos hemisferios es dominante para la rotación mental en sí misma, y que esta tarea está respaldada por una red frontoparietal bilateral, en lugar de regiones restringidas al parietal posterior (Milivojevic et al., 2009).

1.8 Integración Visual

Cuando observamos una escena conocida, nuestro cerebro forma rápidamente una impresión completa de los objetos reconocibles organizados en un espacio coherente. Esta percepción inmediata es difícil de separarse en sensaciones más elementales y parece requerir un tipo de actividad perceptual diferente. Sin embargo, la evidencia fisiológica sugiere que la escena visual es analizada tempranamente por grupos especializados de receptores que responden selectivamente a características como orientación, color, frecuencia espacial o movimiento y que mapean estas características en diferentes áreas del cerebro (Treisman & Gelade, 1980). Es ampliamente aceptado que el cerebro procesa la información sensorial a través de un sistema jerárquico distribuido, aunque no se conoce con certeza la organización previa de estas jerarquías.

En el sistema visual, las diferentes características de la información sensorial (color, textura, forma y movimiento), se procesan por separado y en paralelo en estas jerarquías. En algún punto de la jerarquía visual, las representaciones separadas de las características visuales de un estímulo deben combinarse para formar una percepción unificada del mundo visual, si bien la forma en que el cerebro resuelve este "problema de unión" sigue siendo objeto de controversia (Tovée, 2013). Se cree que la escena visual se descompone en dimensiones separadas en una etapa temprana del proceso de percepción, incluyendo el color, la orientación, la frecuencia espacial, el brillo y la dirección del movimiento. Para integrar correctamente estas características en una representación visual coherente, la atención focal procesa las ubicaciones de los estímulos en serie. La atención focal actúa como un "pegamento" que une las características separadas de un objeto en una sola entidad perceptual. Después de que se registra correctamente, el objeto compuesto se percibe y almacena como una entidad única (Treisman & Gelade, 1980).

1.9 La Memoria Visual y la Memoria Espacial

La memoria visual y la memoria espacial a menudo se consideran por separado. Estos dos aspectos de la memoria visoespacial corresponden a diferentes tipos de tareas

(por ejemplo, la tarea de patrones visuales para la memoria visual y los bloques de Corsi para la memoria espacial) y se han interpretado como dos componentes distintos de un sistema de memoria de trabajo específico. Una vez observada la similitud entre la memoria visual y la espacial en términos de procesos funcionales, una posible extensión de la misma idea es cuestionar si existe una distinción absoluta entre la memoria visoespacial y otros sistemas de memoria. Un argumento a favor de una estrecha relación entre dichos sistemas es que, algunas estrategias de la memoria a corto plazo visoespacial aprovechan la memoria episódica, la memoria semántica y la memoria verbal (Gonthier, 2021).

En el caso de la memoria a corto plazo verbal, otro argumento proviene de la observación de que las estrategias visoespaciales están implicadas en la memorización de materiales verbales, al igual que la verbal contribuye a la memoria a corto plazo y a la memoria de trabajo visoespacial (Gonthier, 2021).

Por su parte, la memoria de trabajo visoespacial se basa directamente en la percepción visual o en la generación de una imagen visual previamente almacenada, y supervisa el mantenimiento y la manipulación visoespacial de estas imágenes. Las primeras evidencias de la memoria de trabajo visoespacial surgen en torno a los 6 meses de edad, cuando los niños son capaces de detectar cambios en la posición de elementos mostrados previamente y anticipar la posición de los estímulos vistos anteriormente. Por lo tanto, la memoria visoespacial, que codifica y recupera información visual y espacial, muestra un desarrollo en los primeros años (Fernández-Baizan et al., 2021).

El estudio de Vuontela et al. (2003) examinó los efectos de la edad y el género en la memoria de trabajo audioespacial y visoespacial en una muestra de niños normales en edad escolar. En general, encontraron que a mayor edad había mayor precisión y rapidez en las tareas de memoria. Los niños tenían tiempos de reacción más cortos, eran menos precisos y presentaban más errores de comisión que las niñas. Estas diferencias de género eran más evidentes en el grupo de edad más joven (6-8 años) y eran casi insignificantes en el grupo de mayor edad (11-13 años). Las tareas visuales se realizaban más rápido y con mayor precisión que las tareas auditivas correspondientes (Vuontela et al., 2003, p. 75,76).

Los niños de 9 a 10 años fueron capaces de realizar tareas auditivas con mayor precisión, pero con más lentitud que los niños más pequeños. Esto indica que los niños de 9 a 10 años son más capaces de manejar tareas que requieren funciones ejecutivas y capacidad de memoria. Por otro lado, los niños más pequeños realizan las tareas auditivas más rápidamente, pero con menor precisión que los niños de 9 a 10 años, lo que podría indicar que los niños más pequeños son más impulsivos en su comportamiento debido a un

mayor grado de inmadurez en sus sistemas de control cognitivo (Vuontela et al., 2003). Los niños de 4 a 7 años expresan fallas tanto mnemónicas como ejecutivas, mientras que los de 8 años parecen mostrar funciones ejecutivas en uso, pero carecen de integridad funcional (Luciana & Nelson, 1998). Estos hallazgos están en línea con la idea de que el control cognitivo (capacidad de inhibir información irrelevante y respuestas inapropiadas), se desarrolla gradualmente durante la infancia. Varios estudios han mostrado que los niños son más susceptibles a la interferencia y tienen menos capacidad para inhibir respuestas inapropiadas que los adultos. Se sugiere que la memoria, la atención y la inhibición forman parte de un constructo único con una base neural subyacente común. En el rendimiento de la memoria de trabajo, estos procesos no son fácilmente separables entre sí, ya que tanto la memoria como la atención están entrelazadas y también parecen involucrar procesos inhibitorios (Casey et al., 2000).

1.10 La Memoria de Trabajo (MT)

En las últimas décadas, el estudio de la MT ha recibido especial atención a pesar de existir desacuerdos en cuanto a si este tipo de memoria constituye un sistema con sus propios procesos cognitivos o, si es un subconjunto de representaciones de la memoria a largo plazo que se encuentra en interacción con otras funciones psicológicas. No obstante, parece existir un acuerdo para definirla como “La capacidad que permite el almacenamiento temporal y la manipulación de información que se supone necesaria para una amplia gama de actividades cognitivas complejas” (Baddeley, 2003a).

Asumir un concepto teórico para la memoria operativa o de trabajo, significa asumir la existencia de un sistema de capacidad limitada que almacena información de manera temporal y que sirve como puente entre la percepción, la memoria a largo plazo y el acto. Aun así, existen numerosas aproximaciones al concepto de memoria operativa, cada una diferente de la otra, pero que pueden brindar información complementaria. Una de estas aproximaciones enfatiza su rol en el control atencional y, otras, tratan de explicar su función a través de modelos creados originalmente para explicar los procesos de la memoria a largo plazo (Baddeley, 2003b, p. 829).

Por su parte, Jodar et al. (2013) señalan que la MT es un tipo de memoria explícita que se encarga de mantener y manipular información reciente permitiendo que, después de haber recuperado información de la memoria a largo plazo, la conducta pueda dirigirse a un objetivo concreto. Por lo tanto, debido a que constituye un sistema de control cognitivo

y de procesamiento ejecutivo es de vital importancia para los procesos cognitivos complejos como la planificación o el razonamiento.

Para fines del presente estudio, se considera a la MT como una modalidad de la memoria a corto plazo que permite almacenar información por un corto periodo de tiempo, a la vez que manipula dicha información para que tengan lugar otros procesos cognitivos más complejos. De igual manera, se tomará el modelo multicomponente de Baddeley y Hitch (2000) para explicar los elementos que componen a la MT.

1.10.1 Modelo Multicomponente de la MT

El modelo multicomponente es entendido -en un inicio- como un sistema de tres componentes controlado por un factor atencional que se encuentra en el ejecutivo central. El ejecutivo central posee dos sistemas subsidiarios: el bucle fonológico y la agenda visuoespacial; estos son almacenes activos de información que pueden combinar información proveniente del sistema sensorial y del ejecutivo central, **dicho modelo se presenta en la Figura 2** (Baddeley, 2000, p. 418).

Bucle Fonológico. Es uno de los componentes más simples de la memoria de trabajo, pero el más desarrollado. Se encarga de almacenar información basada en el lenguaje, procesa los datos provenientes del lenguaje hablado y su capacidad de retención de información es de un segundo y medio o dos aproximadamente. Constituido por dos componentes: el almacén fonológico y el proceso de control articulatorio. Ambos tienen la capacidad de retener información. Por un lado, el almacén fonológico lo hace basándose en el lenguaje y el proceso de control articulatorio en el habla interna. A pesar de que estos sistemas de almacenamiento sean de corta duración, si el material es sometido a repetición, puede mantenerse en la memoria de manera indefinida (Baddeley, 1998, pp. 60–63).

Agenda Visuoespacial. Este sistema se encarga de crear y manipular imágenes de tipo visual y espacial que provienen de la información que se obtiene de la percepción visual y de las imágenes mentales (Baddeley, 1998, p. 92). En el 2003, Baddeley expone que “este subsistema de la memoria de trabajo tiene la función de la integración espacial, de la información visual y cinestésica, representación unificada que puede ser temporalmente almacenada y manipulada” (López, 2011, p. 34). La agenda visuoespacial permite que la persona guarde imágenes del mundo circundante como el color, la forma o el tamaño de los objetos, personas y lugares (López, 2011, p. 34).

Ejecutivo Central. Es el encargado de seleccionar la información verbal, visual y espacial, además mantiene y alterna la atención de la memoria de trabajo de acuerdo con

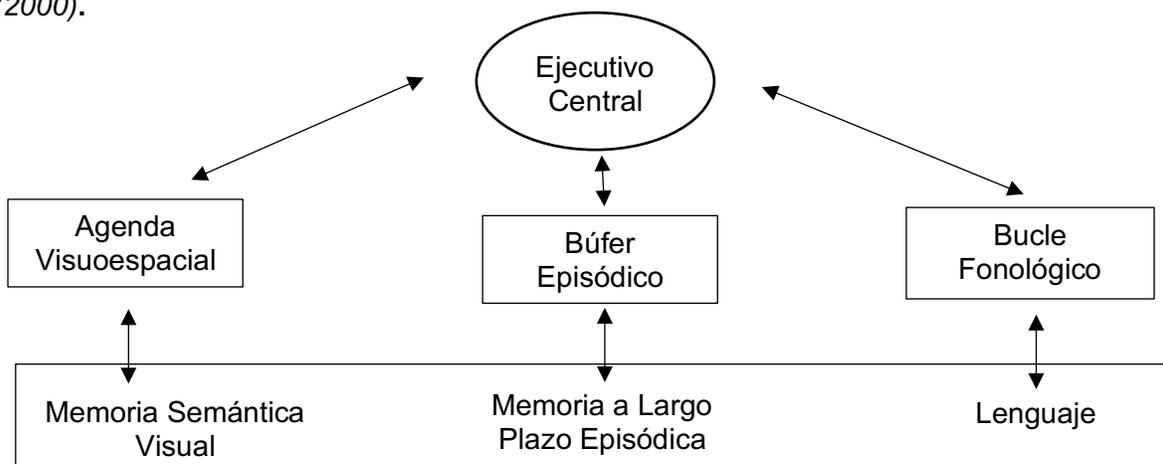
los requerimientos cognitivos del sujeto. Este sistema ha sido poco estudiado, pero se sabe que también se encarga de planificar y de coordinar actividades (López, 2011, p. 36). El ejecutivo central es capaz de tomar información previamente almacenada, volverla consciente, reflexionar sobre ella, manipularla y modificarla si es necesario (Baddeley, 2000, p. 421).

Baddeley en 1996, especifica cuatro funciones del ejecutivo central: 1) La coordinación de dos tareas independientes (almacenamiento y procesamiento de información; 2) cambio de tareas, estrategias de recuperación de las operaciones; 3) atender selectivamente a la información específica e inhibir información irrelevante; 4) la activación y recuperación de información de la memoria a largo plazo (Baddeley, 1996).

Búfer Episódico. Sistema de almacenamiento de capacidad limitada, capaz de integrar información proveniente de varias fuentes, y es controlado por el ejecutivo central. La información es agrupada en unidades episódicas de información, que pueden ser episodios sensoriales, espaciales, personales y representaciones cognitivas (Baddeley, 2000, p. 421). La información almacenada por el búfer episódico es de corta duración y puede accederse a ella a través de la conciencia. En un inicio se pensaba que era un subsistema activo que estaba en capacidad de procesar información, pero las investigaciones de Baddeley sugirieron que es un subsistema de almacenamiento pasivo (Baddeley, 2010, p. R138).

Figura 2.

Representación del modelo multicomponente de la memoria de trabajo por Baddeley (2000).



Nota. Adaptado por Baddeley (2000) en "The episodic buffer: a new component of working memory?", (p. 421). Trends in Cognitive Sciences, 4 (11).

Desarrollo de la MT: Durante la infancia, la memoria de trabajo está estrechamente asociada a una serie de capacidades, como el desarrollo del lenguaje, la formación de la memoria a largo plazo, el desempeño matemático y la adquisición de la lectura. Por ello, la memoria de trabajo es un excelente predictor del desarrollo académico en la infancia, ya que ayuda a los niños a procesar tareas complejas, actualizar y mantener los objetivos de la tarea, recordar y seguir instrucciones (Buttelmann et al., 2020).

Subitización: La enumeración exacta (capacidad de informar acerca de la cantidad exacta que hay en un grupo de elementos), comprende dos procesos: la subitización, que se refiere a la capacidad de enumerar rápida y precisamente cantidades pequeñas, y el conteo, que es propenso a errores y más lento, pero sobrepasa la capacidad de subitización. En niños pequeños, la subitización abarca de 1 a 3 elementos y, por lo general, en los adultos de 4 a 5 elementos (Starkey & McCandliss, 2021). Este proceso se ha relacionado con la memoria de trabajo visoespacial. Desde que Kaufman et al. acuñaron este término en 1949, para referirse a la aprehensión rápida y precisa de un conjunto pequeño de elementos (de 1 a 4), los investigadores se han centrado en identificar los procesos cognitivos que subyacen a esta capacidad. Una hipótesis propone que la subitización refleja un procedimiento de estimación utilizado tanto para cantidades pequeñas como grandes (Formoso et al., 2017).

De acuerdo con esto, la variabilidad de la estimación es baja cuando se trata de 1, 2, 3 o 4 objetos, lo que podría explicar el fenómeno de subitización. Al mismo tiempo, a partir de 5 elementos la estimación se volvería demasiado imprecisa para generar una respuesta fiable (Formoso et al., 2017).

Se cree que la capacidad de los niños para enumerar rápidamente un conjunto finito de elementos sin necesidad de contar cada elemento individual es un aspecto básico de la cognición numérica, que surge antes de las representaciones numéricas simbólicas, como los números arábigos o los nombres de números. No obstante, el comportamiento asociado a esta capacidad parece variar dependiendo de la cantidad de elementos presentes. Los sujetos pueden estimar fácilmente el número de objetos que conforman un conjunto, sin embargo, la precisión con la que lo hacen depende del tamaño del conjunto. Parece que pocos objetos se identifican rápidamente sin esfuerzo y sin errores, mientras que determinar cuántos elementos constituyen un conjunto más grande es significativamente más lento y propenso a errores. Se ha sugerido que la subitización se basa en un sistema de indexación visual encargado de la individuación simultánea de los objetos que también utiliza la MT visoespacial (Formoso et al., 2017).

La educación formal podría desempeñar un papel importante; recientemente se informó que el aumento en la capacidad de MT en niños de primer grado estaba fuertemente asociado con el tiempo que pasaban en la escuela, inclusive después de tomar en cuenta la edad cronológica. Sin embargo, el conocimiento de este aumento en la capacidad de MT relacionado con la edad se basa casi por completo en datos transversales. Poco se sabe sobre su crecimiento longitudinal (Nicolaou et al., 2018).

Para abordar estas lagunas de la investigación, se realizó un estudio longitudinal en población escolar de niños de primer grado (de 6 a 7 años) con medidas repetidas de MT verbal y visoespacial, dos años después. Los hallazgos mostraron una marcada inestabilidad en las puntuaciones brutas y estandarizadas de la memoria de trabajo en los primeros años escolares, aunque la media de las puntuaciones estándar para las tres medidas parecía estable a lo largo de este período de 2 años. Sin embargo, se reportó una marcada variabilidad interindividual, con aumento en el rendimiento de los niños que en el primer grado mostraban puntuaciones bajas de memoria de trabajo. Estos resultados sugieren que el desarrollo de la MT muestra una mejora en el rendimiento entre los grados 1 y 3 de la escuela primaria (Nicolaou et al., 2018).

También debe tomarse en cuenta la fuerte relación concurrente entre las habilidades lingüísticas emergentes y la capacidad de memoria verbal a corto plazo. Archibald y Gathercole (2006), describieron que la capacidad de la memoria a corto plazo visoespacial no correlacionaba significativamente con las puntuaciones de vocabulario en 45 niños de 4 a 12 años. Además, las habilidades visoespaciales y la MT estaban más fuertemente relacionadas en el grupo más joven que en los dos grupos de mayor edad. Estos investigadores sugirieron que, en tareas de memoria a corto plazo visoespacial, los niños más pequeños recurren a los recursos ejecutivos generales en comparación con los niños mayores (Stokes et al., 2017).

Las puntuaciones más altas de memoria a corto plazo visoespacial y verbal se asociaron con puntuaciones más altas en la denominación de imágenes y en la comprensión de nombres. El rendimiento en ambas tareas podría haber sido influenciado por las propiedades visuales de los estímulos, implicando habilidades de reconocimiento de objetos visuales o de inteligencia general (Stokes et al., 2017).

Para resumir este apartado, de acuerdo con el modelo de Baddeley (1998), la MT tendría tres componentes: a) MT visoespacial (agenda visoespacial), b) MT verbal (bucle fonológico) y c) el ejecutivo central. Estudios previos han mostrado que los diferentes componentes de la MT juegan un papel importante en los logros académicos durante el

desarrollo. La MT de tipo visuoespacial ha mostrado ser un fuerte predictor del desempeño matemático en niños de 7 a 9 años, mientras que los otros dos componentes no (Soltanlou et al., 2019).

1.11 Conciencia Fonológica

La conciencia fonológica se refiere a la capacidad de ser consciente de los sonidos que forman las palabras habladas, y se puede observar a través de habilidades como la identificación de rimas, la identificación de sonidos iniciales y el conteo de fonemas en las palabras habladas. Algunos niños pueden tener dificultades para desarrollar estas habilidades porque las palabras habladas no tienen segmentos reconocibles que correspondan directamente a los fonemas. En el lenguaje escrito, las letras generalmente representan fonemas, y para aprender las relaciones entre letras y fonemas, los niños deben ser conscientes de los fonemas que están presentes en las palabras habladas (Stahl & Murray, 1994).

La habilidad metalingüística permite a los niños pensar en el lenguaje como un objeto de pensamiento separado del significado de las palabras. La conciencia fonológica es una habilidad metalingüística que permite al niño analizar la estructura sonora del lenguaje hablado. Esta habilidad también se conoce como sensibilidad fonológica y se clasifica como un tipo de procesamiento fonológico, junto con la memoria fonológica y la denominación serial rápida. La conciencia fonológica se manifiesta en una variedad de habilidades, desde la atención y juicio sobre la estructura sonora general del lenguaje, hasta la habilidad de aislar y manipular fonemas individuales, conocida como conciencia fonémica. Esta última habilidad se ha relacionado causalmente con la habilidad temprana de decodificación de palabras (Schuele & Boudreau, 2008).

La conciencia fonológica es diferente de la fonética, ya que las tareas de conciencia fonológica no implican la escritura y solo se necesitan estímulos hablados. Por otro lado, la fonética implica trabajar con símbolos impresos, como letras, que representan los sonidos del lenguaje oral. El acceso a la fonética surge de la adquisición del principio alfabético. La competencia en la conciencia fonológica puede mostrarse con la comprensión de las correspondencias entre sonido y símbolo, mientras que la competencia en fonética requiere conocimiento fonológico (Schuele & Boudreau, 2008).

A lo largo del escrito, se ha realizado un breve análisis sobre el desarrollo cognitivo de tres procesos que influyen en el desarrollo de las habilidades matemáticas: habilidades visoespaciales, memoria de trabajo y conciencia fonológica. En dicho desarrollo deben

tenerse en cuenta factores como la edad, el género, la lateralidad, la escolaridad, así como otros que pueden influir en que un niño no haya alcanzado los hitos en la maduración cerebral y cognitiva, como las complicaciones pre y post natales o problemas genéticos. Después de realizar un breve análisis acerca del desarrollo cognitivo y la maduración cerebral, consideraremos el tema de la adquisición de las habilidades matemáticas.

CAPÍTULO II: Habilidades Matemáticas

2.1 Desarrollo Temprano de las Habilidades Matemáticas

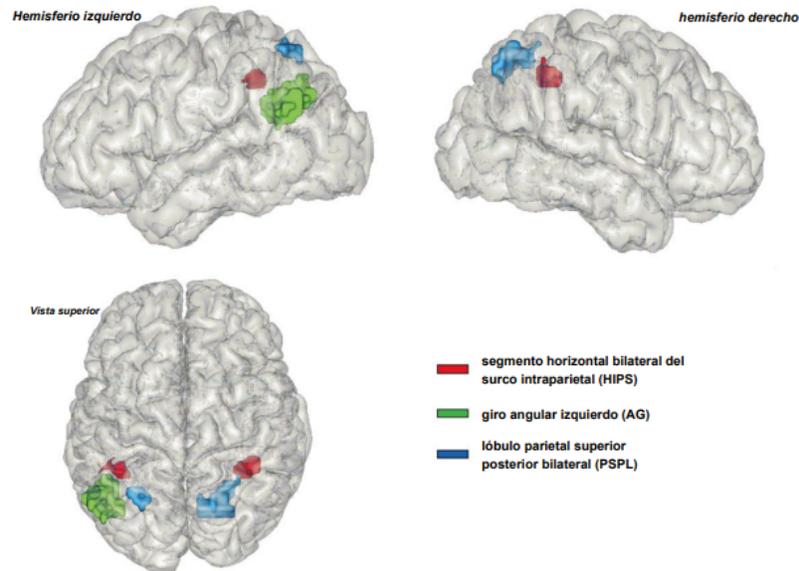
Púrpura et al. (2017) proponen un modelo que describe el desarrollo de las habilidades matemáticas tempranas que se puede entender en tres fases que se superponen. En primera instancia, los niños aprenden a reconocer las cantidades sin contarlas (subitizar), a comparar entre cantidades pequeñas y a contar verbalmente de forma secuencial; en segundo lugar, los niños empiezan a contar en secuencia, de uno en uno, y también hacen asociaciones entre la representación arábica de los números y las palabras numéricas. En un tercer momento, los niños combinan palabras y cantidades numéricas nuevas sin la necesidad de usar objetos, como en el caso de los problemas matemáticos escritos. Todas estas habilidades, junto con habilidades basadas en símbolos, como nombrar y comparar números, asociar cantidades con números y ordenarlos, sientan las bases para la adquisición de habilidades más complejas como la suma de números arábigos (p. 13).

2.2 Áreas Cerebrales que se han Relacionado con las Habilidades Matemáticas

Se han descrito diversas áreas cerebrales implicadas en el procesamiento matemático. Dehaene et al. (2003a) describieron tres circuitos parietales implicados en el procesamiento numérico: 1) el segmento horizontal del surco intraparietal, el cual se activa con la manipulación numérica de las cantidades, al comparar números con letras, al realizar sumas exactas vs aproximadas y con la subitización; 2) el giro angular izquierdo junto con otras áreas perisilvianas del hemisferio izquierdo, que contribuye al procesamiento de los números a través del lenguaje, y a la detección de fonemas; 3) el lóbulo parietal superior posterior bilateral que está activo durante las tareas que requieren de la manipulación del número, para comparaciones, para aproximaciones y conteo; de igual manera, está involucrado en una variedad de tareas visoespaciales como: orientar la atención, la rotación mental, la memoria de trabajo espacial; posiblemente también apoya la selección de la ubicación de los números en la recta numérica mental. En la Figura 4 se representan gráficamente las áreas cerebrales propuestas por Dehaene et al. (2003a, pp. 490–501).

Figura 3.

Representación de las tres áreas parietales implicadas en el procesamiento matemático.



Nota. Adaptado de Dehaene et al. (2003a) en “Three Parietal Circuits for Number Processing”. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3–6), 494.

Específicamente, la recta numérica mental se ha relacionada con el surco intraparietal, puesto que las investigaciones con imágenes cerebrales funcionales han detectado que, mientras resuelven tareas aritméticas simples, los adultos muestran mayor actividad neuronal en zonas parietales y prefrontales (von Aster & Shalev, 2007). Un estudio demostró que, en adultos, el lóbulo parietal derecho es necesario para el procesamiento de magnitudes, encontrando una relación causal al interrumpir las señales del surco intraparietal en participantes sanos, los resultados mostraron que estos individuos tenían el mismo patrón de respuesta que adultos con discalculia (Cohen Kadosh et al., 2007, pp. 691–692).

Los niños muestran una activación similar a la de los adultos, sin embargo, se observó menor actividad del surco intraparietal, así como mayor actividad en las regiones frontales, específicamente en el giro cingulado anterior, relacionado con la atención y la memoria de trabajo. Por lo tanto, con la edad se presenta un aumento en la activación del surco intraparietal, reflejando un procesamiento más eficiente de la aritmética, disminuyendo el uso de otras áreas de apoyo en el lóbulo frontal como el anteriormente mencionado giro cingulado anterior (Kucian et al., 2008, p. 469).

En el caso de la discalculia, que se define como la dificultad en la adquisición de

las matemáticas que no puede ser explicada por discapacidad intelectual, se ha observado una menor modulación del surco intraparietal derecho y del giro fusiforme izquierdo en respuesta a las demandas numéricas; estos hallazgos, implican que existiría una débil representación parietal para las cantidades numéricas, dificultades para acceder y manipular cantidades numéricas, o ambas (Price et al., 2007).

El vínculo neurológico entre las habilidades matemáticas y las espaciales se puede observar en pacientes con heminegligencia espacial, que presentan fallas para determinar el punto medio entre dos números, además de que su rendimiento disminuye como consecuencia del tamaño del intervalo de dos números y tienden a desplazarse a la izquierda, hacia intervalos más pequeños. Varios estudios han identificado áreas como el lóbulo parietal y el surco intraparietal, que desempeñan un papel importante en el procesamiento numérico y espacial. Estas áreas están implicadas en tareas que involucran estimación de magnitudes, la línea numérica mental y cálculos matemáticos (Dehaene et al., 2003b).

Además, se ha encontrado que la disfunción en el lóbulo parietal está asociada con dificultades en el procesamiento numérico y espacial, como en el caso de la discalculia del desarrollo y el síndrome de negligencia hemisférica. Los pacientes con negligencia hemisférica muestran dificultades en la percepción y creación de imágenes mentales, así como en la bisección de líneas físicas y la estimación de la posición de números en la línea numérica mental. Estos hallazgos respaldan aún más la conexión entre las habilidades espaciales y las matemáticas (Kucian et al., 2006).

En resumen, la evidencia neurocientífica respalda la idea de que las habilidades espaciales y matemáticas están relacionadas en el cerebro y dependen de circuitos similares en el lóbulo parietal. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para comprender cómo se desarrollan estas habilidades y cómo las experiencias individuales pueden influir en su desarrollo, por ello se ha sugerido la importancia del entrenamiento espacial en niños pequeños (Verdine et al., 2017, p. 30).

2.3 Procesamiento Cognitivo en el Desarrollo Matemático

Se cree que existe una arquitectura neuronal sobre la que se construyen habilidades numéricas, siendo la recta numérica mental el núcleo de este sentido numérico. Así, se sugiere que el desarrollo típico de la recta numérica mental puede ser crítico para el procesamiento matemático normal. De esta forma, si la recta numérica mental es una representación espacial de la numerosidad, es posible que las habilidades visoespaciales

modulen el desarrollo y la confianza en la línea numérica mental y, a su vez, influyan en la habilidad matemática, o viceversa.

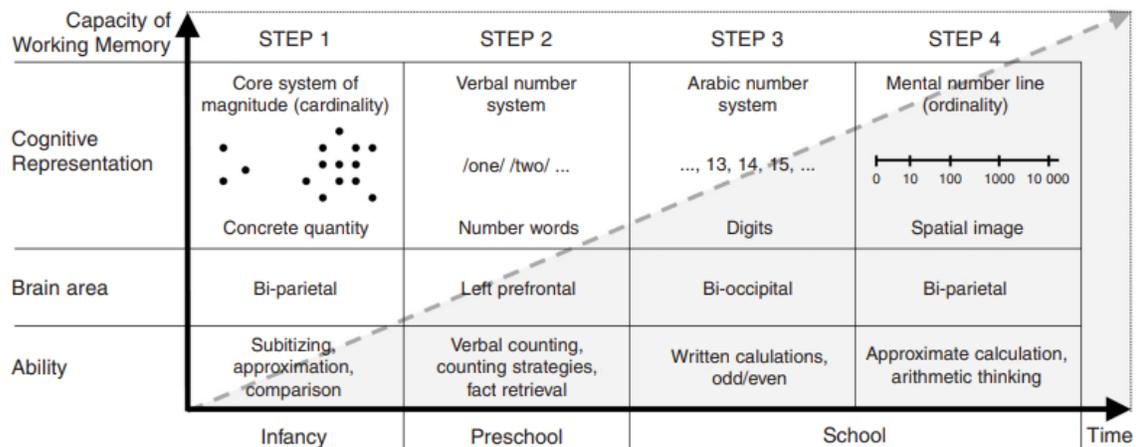
2.4 Modelo de Cuatro Pasos para la Adquisición del Concepto de Número.

Dentro de los modelos de adquisición del uso y manejo de los conceptos numéricos, von Aster y Shalev (2007) proponen uno que describe el orden de adquisición del concepto de número en cuatro pasos. En el primer paso, se postula un sistema central (innato) de aproximación al número como la subitización, y de la magnitud de la cardinalidad que proveen el componente básico para la adquisición del número. Este paso es una condición previa necesaria para el paso dos, cuando los niños aprenden a asociar un número percibido de objetos o de eventos con una representación verbal (/uno/, /dos/, /tres/, /.../). Posteriormente, en el paso 3, los niños aprenden a asociar la cantidad de objetos con su símbolo arábigo (1,2,3,4...) y su representación escrita (uno, dos, tres...). Tanto la representación verbal (paso 2) como arábigo (paso 3) son condiciones necesarias para el desarrollo de una representación abstracta del número o recta numérica mental (paso 4).

La Figura 5 representa gráficamente el modelo de los cuatro pasos, junto con las áreas cerebrales implicadas y el momento del desarrollo en el que deberían aparecer cada uno de los componentes cuando se tiene un desarrollo típico. Si el paso uno no se establece de manera adecuada, puede que el niño únicamente memorice fonológicamente el nombre del número sin que exista propiamente una asociación con el significado de la magnitud numérica. Ahora, si existen problemas en el desarrollo del lenguaje, se interrumpiría el paso dos y podría dar como resultado un retraso en el desarrollo de estrategias de conteo y almacenamiento de datos numéricos. El paso tres, suele verse interrumpido por irregularidades lingüísticas, como en el caso de niños que hablan diferentes idiomas, estas experiencias podrían tener un impacto en la construcción y automatización de la imagen espacial de los números ordenados (von Aster & Shalev, 2007).

Figura 4.

Modelo de cuatro pasos de von Aster y Shalev (2007).



Nota. Recuperado de von Aster y Shalev (2007) en "Number development and developmental dyscalculia" (p.870). *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(11).

2.5 Habilidades Matemáticas y su Relación con Otras Habilidades

2.5.1 Matemáticas, Lectura y Funciones Ejecutivas.

La lectura y las matemáticas son habilidades que los niños desarrollan a través de un proceso constante y acumulativo, donde están continuamente refinando y construyendo conocimiento sobre aprendizajes previos con el fin de adquirir material nuevo y más avanzado (Suntheimer & Wolf, 2020, p. 24). En 125 preescolares se investigaron las relaciones entre tres procesos del funcionamiento ejecutivo (inhibición de respuesta, memoria de trabajo y flexibilidad cognitiva), y los componentes individuales de las habilidades matemáticas y de lectoescritura. Los resultados sugieren que los componentes de las funciones ejecutivas pueden estar relacionados con las matemáticas y la alfabetización: la memoria de trabajo se relacionó con habilidades matemáticas más avanzadas que involucran la comparación o combinación de números; la flexibilidad cognitiva se relacionó con habilidades matemáticas más conceptuales o abstractas. En cuanto a la lectoescritura temprana, la inhibición de la respuesta y la flexibilidad cognitiva se relacionaron con el conocimiento escrito, y la memoria de trabajo se relacionó con la conciencia fonológica. Ninguno de los componentes de las funciones cognitivas mostró relación con el vocabulario (Purpura et al., 2017, pp. 29–32). Otro estudio en 143 niños entre 4 y 6 años investigó la relación de dos componentes de las funciones ejecutivas: la atención y el control inhibitorio. Los resultados mostraron que los niños con bajas

habilidades matemáticas tuvieron puntuaciones más bajas en la atención y control inhibitorio. En las correlaciones se observó que cuando las habilidades matemáticas numéricas y relacionales son menores, aumenta el número de omisiones y los tiempos de reacción son más lentos. Sin embargo, en un primer momento, cuando se realizó un Análisis de Regresión Binomial Logística se evidenció variabilidad entre los grupos (baja y alta habilidad matemática relacional y numérica) y, una vez controlado el efecto de la edad, solo los tiempos de reacción predijeron las habilidades matemáticas numéricas (Cueli et al., 2020, pp. 242–243).

2.5.2 Matemáticas y Lenguaje

Siguiendo esta línea, también se habla de que las habilidades narrativas al igual que las habilidades matemáticas, son críticas en el desarrollo y son predictoras del rendimiento académico posterior. La forma en la cual la cardinalidad, el lenguaje matemático y las habilidades narrativas se desarrollan en paralelo están descritas en el modelo teórico de Case et al. (1996), que afirma que a los 4 años, los niños están adquiriendo la capacidad de poner etiquetas verbales, contar números en secuencia o etiquetar un conjunto de objetos con palabras numéricas, y que entre los 4 y los 6 años, se desarrolla el juicio de cantidad que permite que el niño pueda comparar cantidades en función de “mayor que” y “menor que”. Dentro de la descripción de los avances de las habilidades de razonamiento en los niños, propusieron la existencia de una estructura narrativa central, paralela a la estructura numérica central, lo cual sugiere que ambas están mediadas por capacidades cognitivas que permiten representar relaciones complejas y hacer uso de la flexibilidad cognitiva para representar pensamientos bidimensionales o multidimensionales. Otro estudio se propuso conocer la asociación entre estas dos habilidades (narrativas y matemáticas) en niños de 4 a 6 años. Las correlaciones de orden cero indicaron relaciones significativas y moderadas, donde la correlación más fuerte se dio entre la cardinalidad y el lenguaje matemático (Khan et al., 2021, pp. 6, 9–11).

2.6 Lenguaje Matemático y Habilidades Numéricas

La comprensión del lenguaje matemático es fundamental para el desarrollo de habilidades numéricas. Hornburg et al. (2018) exploraron las relaciones entre el lenguaje matemático y las habilidades numéricas tempranas (cardinalidad, comparación numérica), En 124 preescolares de 3,52 a 6,03 años, a quienes se evaluó la aritmética temprana, lenguaje matemático y vocabulario expresivo. Los resultados indicaron que el lenguaje

matemático estaba significativamente relacionado con la mayoría de las habilidades numéricas, incluido el conteo verbal, la correspondencia uno a uno, la identificación de números, la cardinalidad, las comparaciones de conjuntos y/o números, el orden de números y los problemas escritos. Por otra parte, el lenguaje matemático no se relacionó significativamente ni con la subitización ni con la suma formal.

2.6.1 Lenguaje Matemático y Habilidades Aritméticas Tempranas

Las habilidades aritméticas tempranas de los niños se clasifican en tres dominios interconectados: numeración, relaciones y operaciones aritméticas (Purpura & Lonigan, 2013).

- 1) Las habilidades numéricas abarcan el entendimiento de los niños sobre las reglas y procesos de la secuencia de números, así como su habilidad para comprender la cantidad de manera flexible. Elementos específicos de estas habilidades incluyen el conteo verbal, el conteo hacia adelante y hacia atrás desde números que no sean uno, la identificación de errores de conteo, el conteo estructurado (es decir, contar un conjunto de manera uno a uno), el conocimiento de los números cardinales (es decir, entender que el último número en la secuencia de conteo indica la cantidad total), el conteo resultante (es decir, contar un conjunto sin tocarlo ni manipularlo físicamente), el conteo de un subconjunto, la subitización (es decir, identificar rápidamente el tamaño total de un conjunto sin contar), y la estimación (es decir, la capacidad para obtener una aproximación razonable del tamaño total del conjunto sin hacer un conteo completo).
- 2) Las habilidades de relaciones involucran el conocimiento de cómo dos o más elementos (conjuntos o números) están conectados o son relevantes entre sí, así como la asociación entre los números en la línea numérica mental. Las habilidades en el dominio de relaciones abarcan aspectos verbales y no verbales tanto de cantidad como de comparación numérica, además de las habilidades necesarias para la transición entre los aspectos no verbales y verbales de relaciones. Comprender las conexiones entre conjuntos de cantidades (por ejemplo, comparación de conjuntos, emparejamiento de conjuntos y secuenciación de conjuntos), entender las relaciones entre las cantidades y los numerales arábigos, conocer la relación entre numerales arábigos (por ejemplo, comparación de numerales, tamaño relativo, ordinalidad, tareas de orden numérico) y el

conocimiento de los nombres de los numerales arábigos son habilidades dentro del dominio de relaciones.

- 3) Las Operaciones Aritméticas se refieren a entender cómo se crean y deshacen conjuntos al distinguir entre conjuntos y subconjuntos. Aunque no se espera que la mayoría de preescolares resuelvan problemas aritméticos formales, como $2 + 1 = 3$, muchos ya han comenzado a adquirir un entendimiento de las reglas y operaciones de suma y resta. Esta categoría puede evaluarse de varias maneras, incluyendo la suma y resta con o sin objetos, la adición de conjuntos de dos elementos (dos conjuntos), la composición/descomposición de conjuntos y problemas aritméticos formales de nivel inicial (combinaciones de números).

Estas habilidades tempranas son distintas de la comprensión del lenguaje matemático. El lenguaje matemático es la comprensión de palabras cuantitativas como "más" y "menos" y palabras de origen espacial como "antes" y "después". Se piensa que la comprensión de estos términos es fundamental para el entendimiento y desarrollo de habilidades y conceptos numéricos más complejos (Hornburg et al., 2018).

CAPÍTULO III: Investigaciones sobre la Memoria de Trabajo, la Conciencia Fonológica y su Influencia en las Habilidades Matemáticas

3.1 La Visoespacialidad y la Ejecución Matemática.

Las habilidades espaciales, tanto intrínsecas (rotación mental, identificación de objetos en una escena, rompecabezas), como extrínsecas (toma de perspectiva visoespacial, navegación, uso de mapas) están relacionadas con el rendimiento en matemáticas, y los estudios de intervención sugieren un efecto causal de las habilidades espaciales en las matemáticas (Gilligan et al., 2017). Se han sugerido varias explicaciones para la relación observada entre las habilidades visoespaciales y las matemáticas. Una hipótesis predominante se basa en que los números al ser de naturaleza espacial requieren de dicho procesamiento para poder comprenderse adecuadamente; por lo tanto, se supone que las habilidades visoespaciales benefician el rendimiento matemático debido a que apoyan la visualización de los problemas matemáticos. Se ha reportado una relación positiva entre el rendimiento en tareas visoespaciales y la ejecución matemática en adultos, adolescentes, niños de primaria y preescolares. Incluso, se ha sugerido recientemente que el procesamiento espacial de los bebés actúa como precursor de las habilidades visoespaciales y matemáticas después de los 4 años. Por otra parte, los estudios también refieren que la MT visoespacial es importante para el rendimiento matemático durante los primeros años escolares, pero su importancia disminuye cuando se dominan diferentes habilidades y, es allí cuando la MT verbal pasa a ser más importante (Cornu et al., 2018). Se pueden distinguir tres tipos diferentes de habilidades visoespaciales:

- A) *Percepción espacial*: conocimiento o toma de conciencia del medio y sus alrededores con respecto a la persona (Linn & Petersen, 1985).
- B) *Rotación mental*: Proceso espacial complejo que evoca representaciones visoespaciales correspondientes a la rotación de los objetos tal y como se ven en el mundo físico, a través de procesos graduales de transformación. Su rendimiento varía mucho entre los individuos, independientemente del CI (Linn & Petersen, 1985).
- C) *Visualización espacial*: Habilidad de reconocer objetos tridimensionales mediante el plegado y desplegado de sus caras (Linn & Petersen, 1985).

La característica común de estas categorías es que todas ellas requieren del procesamiento mental y/o la transformación de los estímulos presentados visualmente. Además de las anteriores, las tareas de integración visual y visomotora (IVM), que requieren la coordinación entre la entrada visual y la salida motora, se han relacionado sistemáticamente con el desarrollo matemático en los niños de 5 y 6 años. Los resultados muestran que, en prescolares, las habilidades visoespaciales son predictivas de las habilidades verbales de numeración mientras que las habilidades verbales no las predicen. Esto proporciona información intrigante sobre la naturaleza espacial de habilidades que podrían ser erróneamente consideradas como principalmente verbales. Desde un punto de vista práctico, estos hallazgos son especialmente relevantes para el desarrollo de herramientas y programas de intervención temprana diseñados para fomentar las habilidades precursoras de las matemáticas en los niños (Cornu et al., 2018).

En el estudio de Reuhkala (2001) en adolescentes de 15 y 16 años, se investigó la relación entre la memoria de trabajo visoespacial, la rotación mental de objetos en tres dimensiones y las habilidades matemáticas, los resultados sugirieron que el desempeño en tareas visoespaciales y en rotación mental, está relacionado con las habilidades matemáticas y, por otra parte, los otros dos componentes de la MT (ejecutivo central y bucle fonológico), no estuvieron relacionados. Estos hallazgos pueden ser contrastados con un estudio realizado en niños con dificultades visoespaciales, que reportó que estos niños no tienen dificultades generalizadas con el cálculo o la manipulación mental de los números, pero sí en los aspectos que requieren del procesamiento visoespacial como en el cálculo escrito, sobre todo en adición y sustracción (Venneri et al., 2003, pp. 179–180).

Otro estudio en 60 niños de 6 a 8 años evaluó la relación entre las medidas individuales de la recta numérica mental y las habilidades visoespaciales. Se evaluó la capacidad de orientación espacial por medio de la subprueba de posición en el espacio del DTVP-2, se encontró una correlación moderada con los efectos de la distancia, es decir con la variabilidad del rendimiento en la tarea de comparación de magnitudes numéricas en función de la diferencia numérica entre los números que se están comparando. Estos datos sugieren que, al menos en niños de 6 a 8 años, la orientación visual-mental y la capacidad de rotación mental se relacionan con la representación de la línea numérica mental, pero no así con la percepción visual o con las habilidades visomotoras. El segundo objetivo del estudio fue evaluar la relación entre la recta numérica mental y la habilidad matemática utilizando tanto la SNARC (la asociación espacial-numérica de los códigos de respuesta, definida como el fenómeno en el que las respuestas que implican números pequeños se

realizan más rápidamente con la mano izquierda, mientras que las respuestas que involucran números grandes se realizan más rápidamente con la mano derecha (Wang et al., 2018), como los efectos de la distancia de la SNARC. Este estudio pionero establece una conexión entre la medida de la línea numérica mental, conocida como el efecto de la distancia, y las habilidades visoespaciales en niños. Examinó por primera vez cómo la habilidad matemática se vincula con los efectos individuales SNARC y de distancia, en niños de 6 a 8 años, a través de una tarea SNARC que considera la magnitud. Los resultados no mostraron una relación entre las puntuaciones matemáticas y ninguno de los indicadores de la línea numérica mental mencionados, especialmente en una franja de edad donde los efectos SNARC y de distancia son más marcados que en niños mayores. Esto sugiere que el concepto de la línea numérica mental, medido a través de los efectos SNARC y de distancia, podría no ser tan fundamental para el desarrollo de habilidades numéricas y matemáticas como se creía. Por último, la falta de correlación entre las medidas SNARC y los efectos de distancia en niños de 6 a 8 años indican que no son intercambiables como representaciones del concepto de línea numérica mental y que pueden tener trayectorias de desarrollo distintas (Gibson & Maurer, 2016, pp. 309–310).

3.1.1. Lenguaje Espacial y Ejecución Matemática

Es sorprendente la falta de investigación sobre el papel del lenguaje espacial en las matemáticas, a pesar de la correlación entre las habilidades espaciales y lingüísticas con los resultados en matemáticas. Tanto el lenguaje verbal como el escrito están relacionados con el rendimiento en matemáticas, y aspectos como el vocabulario y la conciencia fonológica, se correlacionan con las habilidades numéricas en edades tempranas (Gilligan et al., 2017). En la investigación de Conder et al. (2017) se emplearon imágenes de resonancia magnética funcional (RMf) para explorar las conexiones neuronales del lenguaje espacial. Durante el escaneo, los participantes escucharon oraciones que hablaban sobre las relaciones entre objetos, diferenciando si estas eran espaciales o no espaciales en su naturaleza (relaciones de color o tamaño). Las oraciones que se referían a relaciones espaciales generaron una activación más pronunciada en el lóbulo parietal superior y en el precúneo de ambos hemisferios, en comparación con las oraciones que describían relaciones de tamaño o color. La activación del precúneo sugiere que las oraciones espaciales desencadenan la generación de imágenes mentales con elementos espaciales, mientras que la activación del lóbulo parietal superior insinúa que las oraciones que

contienen lenguaje espacial implican la unión de dos conjuntos de información distintos: uno lingüístico y otro espacial.

Geary (2004) propuso un modelo teórico para conceptualizar el rol de los procesos cognitivos y lingüísticos en diversos ámbitos del aprendizaje matemático. De acuerdo con este modelo, el aprendizaje de las matemáticas en un campo particular requiere la comprensión de conocimientos conceptuales y habilidades procedimentales en dicho campo, respaldados por habilidades cognitivas y lingüísticas subyacentes, que abarcan el ejecutivo central, las habilidades visuoespaciales y los sistemas lingüísticos. En particular, el ejecutivo central se manifiesta como los procesos de control de atención necesarios para resolver problemas matemáticos. Por último, el procesamiento del lenguaje resulta esencial para resolver tareas matemáticas como articular palabras numéricas o contar.

Existen mecanismos a través de los cuales el lenguaje facilita el aprendizaje de las matemáticas. El discurso del alumno es esencial, ya que les permite explicar, razonar y argumentar su pensamiento matemático. El habla efectiva como herramienta de razonamiento mejora el razonamiento matemático y la resolución de problemas. Los profesores utilizan el lenguaje para describir conceptos matemáticos y explicar nuevas ideas. Además, la comprensión del vocabulario matemático específico es vital para acceder a conceptos complejos (Robertson & Graven, 2020). Estudios previos han demostrado que las habilidades lingüísticas respaldan el aprendizaje temprano de las matemáticas en los niños al facilitar su comprensión de las instrucciones de padres y maestros (De Smedt et al., 2011; Elliott & Bachman, 2018). En particular, el vocabulario receptivo, que se refiere a la capacidad de los niños para adquirir, decodificar y comprender el vocabulario, puede ser vital para diferentes áreas de habilidades matemáticas al ayudar a los niños a interactuar efectivamente y aprender de los demás. El aprendizaje temprano de las matemáticas suele ir acompañado de interacción con padres, maestros y compañeros. Un vocabulario receptivo más amplio permite a los niños comprender mejor lo que se enseña en el aula, comunicarse de manera más efectiva con maestros, padres y compañeros, y aprender diferentes tipos de conocimientos y habilidades matemáticas a partir de las experiencias de interactuar con los demás. Varios estudios han relacionado el vocabulario receptivo con la adquisición de la aritmética (Harvey & Miller, 2017; Zhang, 2016).

El modelo de cognición numérica de von Aster y Shalev (2007), que propone que los individuos tienen un sistema innato para representar números (el sentido numérico aproximado) y adquieren un segundo sistema cognitivo para la representación de numerales simbólicos (el sistema numérico simbólico), que son la base para el desarrollo

de habilidades matemáticas complejas, fue el marco teórico del estudio realizado por Gilligan-Lee et al. (2021), cuyo objetivo fue ampliar los hallazgos anteriores al evaluar un conjunto diverso de tareas matemáticas, incluyendo el sentido numérico aproximado, habilidades numéricas simbólicas y habilidades matemáticas más complejas, junto con las habilidades de comprensión y producción del lenguaje espacial en niños de 6 a 10 años.

En relación con las habilidades matemáticas, se encontró que el lenguaje espacial explicaba una parte significativa de la varianza en el rendimiento matemático, incluso después de controlar las habilidades de pensamiento espacial. Específicamente, la producción del lenguaje espacial fue un factor importante en los resultados de matemáticas en el aula. Se observó una asociación compartida entre el lenguaje espacial y las habilidades espaciales con relación a los resultados de matemáticas, lo que sugiere una posible influencia indirecta del lenguaje espacial en las habilidades matemáticas a través de las habilidades espaciales (Gilligan-Lee et al., 2021).

Estos hallazgos sugieren que el *lenguaje espacial* puede desempeñar un papel importante en el desarrollo de habilidades cognitivas y académicas en la infancia media (6 a 12 años). Además, se plantea que la asociación entre el lenguaje espacial y las matemáticas puede estar relacionada con los fundamentos de las representaciones simbólicas y conceptuales. Según las teorías de la cognición fundamentada, existe un único sistema que fundamenta las representaciones perceptivas, conceptuales y simbólicas (Barsalou, 1999). En el caso de las matemáticas, comprender los símbolos numéricos requiere una comprensión conceptual de la cantidad, es decir, relacionar los símbolos con la cantidad que representan (Hurst et al., 2017). De manera similar, en el lenguaje espacial las etiquetas verbales se basan en representaciones conceptuales espaciales (Munnich & Landau, 2003). La tarea que más se utiliza para valorar este constructo consiste en pedir a los niños que identifiquen el término espacial que describe la posición de un objeto con respecto a otro. En cada una de estas pruebas, se muestran cuatro imágenes que representan distintas relaciones entre un objeto "objetivo" (por ejemplo, un pájaro, una manzana, un libro) y un objeto "referencia" (por ejemplo, un árbol, una mesa, una caja). En cada prueba, los niños debían señalar la imagen que representaba la relación espacial mencionada entre los objetos (debajo, antes, izquierda, detrás, arriba, encima, derecha y dentro). El análisis de regresión demostró que tanto las capacidades visoespaciales como las habilidades verbales, evaluadas a través de la percepción espacial y la conciencia fonológica, respectivamente, tuvieron un impacto único en la predicción de las habilidades numéricas verbales, considerando también la influencia de la edad, el género y el estatus

socioeconómico. Esto confirma la base espacial de las habilidades numéricas verbales. Interesantemente, al incorporar el lenguaje espacial al modelo, se anularon los efectos predictivos de las habilidades visoespaciales y verbales, cuyas influencias quedaron completamente mediadas por el lenguaje espacial. Por ende, las habilidades numéricas verbales dependen conjuntamente de procesos visoespaciales y verbales específicos que se expresan a través del lenguaje espacial. El conocimiento de los términos espaciales podría impulsar las habilidades numéricas verbales al mejorar la comprensión de las relaciones espaciales entre magnitudes numéricas en la línea numérica mental (Georges et al., 2021).

3.1.2. Percepción Espacial y Ejecución Matemática

La habilidad espacial tiene un gran impacto y es un predictor constante del rendimiento en matemáticas (Mix & Cheng, 2012). Sin embargo, en niños pequeños, de los tres componentes principales de la habilidad espacial, la percepción y la visualización espacial han recibido menos atención que la rotación mental con relación a las competencias matemáticas (Ouyang et al., 2022). La destreza perceptual visual se evalúa con regularidad en los niños, debido a que se ha comprobado que está relacionada con la disposición para el aprendizaje y el rendimiento académico en lectura, matemáticas y escritura, especialmente durante los primeros años escolares. Por ejemplo, al aprender a leer, los niños deben contar con habilidades suficientes de análisis visual para poder distinguir entre letras, como "b" y "d" o "p" y "q". De manera similar, en matemáticas, los niños deben tener la capacidad de discernir entre números, diferenciar entre signos aritméticos, descomponer problemas en componentes manejables y organizar cálculos de manera espacial (Kulp, 1999).

En el metaanálisis de Uttal et al. (2013), se investigaron los efectos del entrenamiento de las habilidades espaciales sobre el rendimiento en matemáticas, ciencia, ingeniería y tecnología. Acorde con sus resultados, el mayor impacto del entrenamiento espacial se manifestó en tareas de percepción espacial, tales como la tarea de la vara y el marco o la tarea del nivel de agua.

De igual manera Ouyang et al. (2022) investigaron la relación a lo largo del tiempo entre la percepción espacial, la visualización espacial, y tres habilidades numéricas (estimación de la línea numérica, subitización y resolución de problemas orales) en 190 preescolares. Los resultados revelaron que las habilidades de percepción y visualización

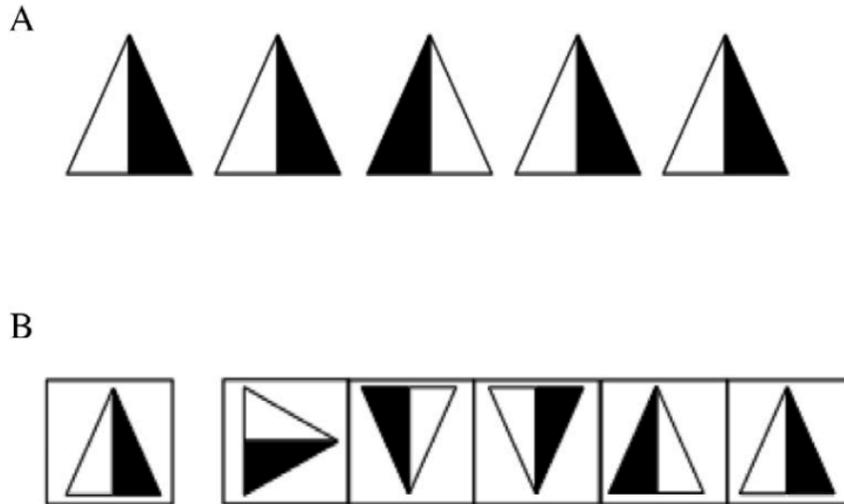
espaciales de los niños, evaluadas en el tercer año preescolar (4 a 6 años), estaban vinculadas positivamente con su capacidad para resolver problemas orales seis meses después de la primera evaluación. La percepción espacial evaluada en un inicio también tenía una relación positiva con la capacidad de subitización y las habilidades en la línea numérica.

El estudio de Cornu et al. (2018) mostró que las habilidades visoespaciales, evaluadas a través de la percepción espacial y la integración visuomotora, fueron el único factor significativo que predijo el conteo y la denominación de números en niños de 5 y 6 años. Estos resultados se obtuvieron en un modelo que también incluía habilidades verbales como el vocabulario expresivo, la conciencia fonológica y la memoria de trabajo verbal y visoespacial. Para evaluar la percepción espacial, los investigadores utilizaron una tarea que incluía dos partes. En la primera, los niños tenían que encontrar una imagen que fuera diferente (una versión girada) entre un conjunto de objetos. En la segunda parte, se les mostraba un objeto en la parte izquierda de una hoja y tenían que identificar el objeto correspondiente entre diferentes versiones similares pero giradas de ese objeto (Figura 6).

Un estudio similar a este buscó investigar en mayor profundidad los orígenes cognitivos de las habilidades numéricas verbales como base para el desarrollo matemático de los niños. Los resultados obtenidos respaldaron la importancia de las capacidades visoespaciales, especialmente la percepción espacial, y las habilidades verbales como la conciencia fonológica. Al incluir la variable del lenguaje espacial en el modelo de regresión, encontraron que eliminaba por completo los efectos predictivos de las habilidades visoespaciales y verbales. El conteo hacia adelante y hacia atrás, así como la correspondencia entre números y palabras, fueron totalmente mediadas por el lenguaje espacial. Esto sugiere que las habilidades numéricas verbales dependen tanto de los procesos visoespaciales como los verbales, que están vinculados por el lenguaje espacial (Georges et al., 2021).

Figura 5.

Tarea de percepción espacial utilizada por Cornu et al. (2018)



Nota. Recuperado de Cornu et al (2018) en "Visuo-spatial abilities are key for young children's verbal number skills" (p.611). *Journal of Experimental Child Psychology*, 166.

De igual manera, se han reportado diferencias basadas en la edad en el rendimiento espacial intrínseco (rotación mental, identificación de objetos en una escena, rompecabezas) y extrínseco (toma de perspectiva visoespacial, navegación, uso de mapas), de manera que las habilidades intrínsecas mostraron un desarrollo temprano especialmente rápido en la niñez media (6-8 años) en comparación con las habilidades extrínsecas. En cambio, estas últimas aumentaron más que las intrínsecas entre los 8 y los 10 años. Las trayectorias de las habilidades estáticas frente a las dinámicas no difirieron significativamente (Hodgkiss et al., 2021).

Otra manera de abordar esta relación ha sido considerar los posibles mecanismos que conectan a la percepción espacial y las matemáticas, y seleccionar intervenciones de entrenamiento en base a estos. Por ejemplo, si aquellos con habilidades matemáticas más desarrolladas también son mejores en la percepción espacial, entonces las intervenciones de entrenamiento que mejoren la habilidad de percepción espacial deberían conducir a un mejor rendimiento en matemáticas. Este tipo de entrenamiento podría implicar la creación de diagramas para ilustrar un problema matemático, resumir una historia o explicar un concepto científico. Una forma particularmente efectiva de entrenamiento para matemáticas podría ser la práctica en la lectura de gráficos y diagramas. Puesto que estas representaciones se basan en la representación espacial, y ya existe una relación establecida entre la interpretación de gráficos y el rendimiento en matemáticas, instruir a

los niños en la lectura de gráficos y diagramas podría tener beneficios significativos (Mix & Cheng, 2012).

3.1.3. Rotación Mental y Ejecución Matemática

El concepto de rotación mental se introdujo inicialmente a partir del hallazgo de que el tiempo requerido para identificar que dos representaciones en perspectiva muestran objetos con la misma forma tridimensional es (1) una función lineal creciente de la diferencia angular en las orientaciones retratadas de los dos objetos, y (2) no es menor para las diferencias que corresponden simplemente a una rotación rígida de uno de los dibujos bidimensionales en su propio plano de imagen que para las diferencias que corresponden a una rotación del objeto tridimensional en profundidad (Shepard & Metzler, 1971). Los modelos de procesos cognitivos respaldados por investigaciones empíricas han revelado que la rotación mental en realidad comprende múltiples subcomponentes no evidentes. La conducta se ajusta mejor a un modelo que implica la realización de transformaciones pequeñas, sucesivas y variables en lugar de una única rotación, y la evidencia empírica sugiere que las personas tienden a rotar solo una parte del objeto en lugar de todas las partes que lo componen (Provost & Heathcote, 2015).

Gunderson et al. (2012), realizaron dos estudios longitudinales que sugirieron una relación significativa entre la habilidad espacial (visualización espacial, rotación mental) el conocimiento de la recta numérica y la habilidad de cálculo simbólico aproximado en niños. En el primer estudio, se encontró que el nivel inicial de habilidad espacial en niños de primero y segundo grado predijo mejoras en una tarea de línea numérica lineal, incluso después de tener en cuenta su rendimiento inicial en lectura y matemáticas. Esto indica que la habilidad espacial puede facilitar el desarrollo de la representación numérica lineal y espacial en los niños. En el segundo estudio, se investigó si la relación entre la habilidad espacial y el rendimiento en la recta numérica se debía a un conocimiento específico y localizado o si también se extendería a una tarea numérica aparentemente no espacial, como el cálculo simbólico aproximado. Los resultados mostraron que la habilidad espacial de los niños a los 5 años predijo su conocimiento de la recta numérica a los 6 años, lo que a su vez predijo su rendimiento en una tarea de cálculo simbólico aproximado a los 8 años. Además, se encontró que el conocimiento de la línea numérica mediaba la relación entre la habilidad espacial y la habilidad posterior de cálculo simbólico aproximado. Estos hallazgos

sugieren que la habilidad espacial influye positivamente en el desarrollo numérico temprano al mejorar la linealidad de la representación numérica en los niños (Gunderson et al., 2012).

Se ha observado con frecuencia una relación entre la rotación mental y diversas habilidades matemáticas, abarcando distintas edades y etapas de desarrollo, así como diversas características en las tareas de rotación mental (Battista, 1990; M. B. Casey et al., 1997; Delgado & Prieto, 2004; Geary, 2004; Gunderson et al., 2012; Reuhkala, 2001; Thompson et al., 2013). No obstante, el conocimiento sobre los procesos que subyacen a esta conexión es limitado, al igual que si existen otras relaciones entre habilidades espaciales y matemáticas que puedan ser aún más sólidas. En consecuencia, este tipo de evidencia correlacional no respalda la teoría de que ciertas habilidades espaciales específicas sean particularmente cruciales para el desempeño en matemáticas, ni cómo podrían mejorar el rendimiento y el aprendizaje de habilidades matemáticas particulares (Young et al., 2018).

Más allá de los estudios correlacionales, las investigaciones que han evaluado los efectos de entrenar la rotación mental en habilidades matemáticas específicas no han obtenido resultados consistentes. Algunos estudios han encontrado pruebas de transferencia (Cheng & Mix, 2014; Lowrie et al., 2017), mientras que otros no han encontrado tal evidencia (Hawes et al., 2015; Xu & LeFevre, 2016).

3.1.4. Integración Visual y Ejecución Matemática

La percepción es el proceso que nos permite reconocer e interpretar los estímulos sensoriales que recibimos. En particular, la percepción visual nos permite interpretar la información visual de nuestro entorno y comprender lo que vemos. Los niños con dificultades en la percepción visual pueden experimentar un menor rendimiento tanto físico (por ejemplo, al atrapar una pelota) como académico. Es relevante destacar que la capacidad de interpretar la información sensorial está influenciada por los procesos cognitivos y los conocimientos previos de cada individuo (Ego et al., 2015).

Un estudio encontró una relación significativa entre el análisis visual y la capacidad de integración visual, medidos por la integración visomotora (VMI), y las puntuaciones de los profesores en lectura, matemáticas, ortografía y escritura, las cuales se utilizaron pues son una forma común de evaluar y hacer seguimiento del progreso académico de los niños en la escuela. Además, se observó que dichas calificaciones se correlacionaban significativamente con las puntuaciones obtenidas en pruebas estandarizadas por los estudiantes de primer y segundo grado. Un análisis por edad reveló que las correlaciones

entre las calificaciones de los profesores sobre el rendimiento académico y el rendimiento en el VMI eran significativas en los niños de 7, 8 y 9 años, pero no en los de 5 y 6 años (Kulp, 1999). Un estudio más reciente en niños de 8 a 13 años, indica que los déficits en la integración visomotora y/o sus componentes individuales, como la percepción visual y la coordinación motora, representan factores de riesgo específicos para un bajo rendimiento académico en áreas como las habilidades matemáticas, de lectura y de lenguaje escrito (Carames et al., 2022).

Estos resultados indican que el desempeño de los niños en matemáticas está influenciado no solo por la percepción visual y la coordinación motora de forma individual, sino también por la integración de estos procesos. En otras palabras, tener éxito en matemáticas requiere que los niños sean capaces de visualizar adecuadamente el problema matemático presentado, emplear habilidades de coordinación motora para resolverlo por escrito, y combinar de manera efectiva estos procesos visuales y motores para obtener el resultado deseado, como alinear los números en las columnas correctas y escribir la respuesta en el lugar adecuado de la página (Fernandes et al., 2016). Esta explicación concuerda con investigaciones previas que indican la relación entre las dificultades de integración visomotora y los problemas para organizar espacialmente el contenido escrito en tareas tanto de escritura como de matemáticas (Barnhardt et al., 2005).

3.1.5. Piaget, las matemáticas y la visoespacialidad

Lambert y Spinath (2018) investigaron la influencia de la habilidad en la tarea de conservación de líquidos sobre el rendimiento matemático en los últimos años de la escuela primaria, teniendo en cuenta también una medida de la inteligencia y las habilidades visoespaciales. Utilizaron la Tarea de las Tres Montañas (TMT) piagetiana para medir el aspecto visoespacial, la cual es un modelo de papel maché de tres montañas dispuestas en forma triangular. Hay dos montañas altas y una pequeña que se diferencian por el color y por los objetos que hay en la cima. Se presentan a los niños 10 imágenes que muestran a la maqueta desde diferentes perspectivas y una marioneta que "ve" la maqueta desde una perspectiva distinta a la de los niños; a continuación, se les pide que elijan la imagen que mejor represente lo que ve la marioneta (Piaget et al., 1967). El rendimiento en matemáticas se evaluó con la serie de pruebas matemáticas alemanas (DEMAT 1), la inteligencia se evaluó con el *Culture Fair Intelligence Test* (CFT); para la conservación se utilizó la tarea de conservación de líquidos de Piaget. Finalmente, para la velocidad de

procesamiento numérico se mostró a los niños una serie de tarjetas con puntos rojos y se les pidió que nombraran el número de puntos lo más rápido posible. Se encontró que la capacidad de conservación, la visoespacialidad y la velocidad de procesamiento numérico predecían el rendimiento matemático en niños de los grados 2 a 4, además, que estas predecían de mejor manera el rendimiento en matemáticas que la medida de inteligencia (Lambert & Spinath, 2018).

3.2. Memoria de Trabajo y Ejecución Matemática

Varios estudios han mostrado que tanto la memoria de trabajo visual como la verbal se relacionan con el rendimiento matemático en niños con desarrollo típico, aunque no hay consenso sobre qué componente es más importante (Raghubar et al., 2010). Algunas investigaciones sugieren que la memoria de trabajo verbal está correlacionada con los prerrequisitos matemáticos (Noël, 2009), mientras que otras resaltan la importancia de la memoria de trabajo visoespacial (Barnes & Raghubar, 2014). Se ha observado que esta última puede ser utilizada para aprender nuevas habilidades matemáticas, mientras que la memoria de trabajo verbal puede ser relevante una vez que se ha adquirido una habilidad matemática. En el caso de niños con dificultades matemáticas, se ha encontrado que las limitaciones en la memoria de trabajo verbal son características, y que esta variable es un mejor predictor del rendimiento matemático en comparación con la memoria de trabajo visoespacial (Raghubar et al., 2010). Sin embargo, se requiere más investigación para comprender la contribución de estos componentes de la memoria de trabajo al aprendizaje temprano de las matemáticas en niños con dificultades matemáticas.

En un estudio con 25 niños diestros y sin historial clínico, que cursaban el 5to grado se evaluó la ansiedad matemática con el Cuestionario de ansiedad matemática (MAQ), y la memoria de trabajo con el test de span de letras y los cubos de *Corsi*. Los autores encontraron que los niños con un nivel más alto de ansiedad tenían una menor capacidad para la memoria visual y para la información espacial. En este estudio no se encontró una fuerte asociación entre la memoria de trabajo y la ejecución matemática, pero lo que sí se pudo observar fue que aquellos niños con más capacidad de memoria visoespacial podían compensar de mejor manera la influencia negativa de la ansiedad matemática a comparación de aquellos con una menor capacidad de memoria de trabajo visoespacial. Por lo que concluyeron que la combinación de elevada ansiedad matemática y una baja capacidad de MT visoespacial sería problemática para el aprendizaje de las matemáticas (Soltanlou et al., 2019).

Otros estudios que parten de esta misma línea sugieren que la MT visoespacial está implicada en los procesos iniciales del aprendizaje matemático (Fanari et al., 2019), jugando un papel importante durante la implementación de cálculos escritos donde definir la posición de los números se vuelve crítico para hallar la respuesta correcta, además, se ha encontrado que niños con problemas de aprendizaje de las matemáticas usualmente tienen bajos recursos de MT (Mammarella et al., 2018). La MT se vuelve tan relevante para el procesamiento matemático debido a que éste requiere estrategias de descomposición y de capacidad para mantener información por un corto periodo de tiempo, por lo que también se sugiere que los niños con una mejor MT de tipo visoespacial utilizarían con mayor frecuencia estrategias de descomposición que aquellos con un bajo desempeño en la MT visoespacial (Foley et al., 2017).

Holmes et al. (2008) reportaron diferencias relacionadas con la edad en la contribución del componente visoespacial de la MT en los logros matemáticos de los niños, revelando que el rendimiento en la tarea visual predecía un porcentaje significativo de varianza tanto en las habilidades numéricas como en el manejo de datos en los niños de 9 a 10 años, pero no era un predictor en niños de 7 a 8 años. Ambas habilidades requerían que los niños extrajeran información numérica, tanto de problemas narrativos (Número) como de tablas y gráficos (Manejo de Datos), y realizaran cálculos con dicha información. Es posible que el componente visoespacial haya apoyado la construcción de representaciones visuales de la información numérica, por ejemplo, mediante el uso de líneas numéricas mentales. Por su parte, Hornung et al. (2014) reportaron en su estudio que: 1) el sentido numérico no verbal y la capacidad de memoria de trabajo contribuyen de forma independiente a las habilidades matemáticas tempranas en prescolares (5-6 años), 2) las habilidades matemáticas tempranas fueron el predictor más fuerte para la aritmética y las habilidades de forma y espacio en primer grado (7-8 años), 3) la capacidad de memoria de trabajo tuvo un efecto indirecto sobre la aritmética y las habilidades de forma y espacio en primer grado.

van de Weijer-Bergsma et al. (2015) se centraron en investigar el cambio en la relación entre la memoria de trabajo visoespacial y verbal y el rendimiento matemático a lo largo de la educación primaria. Encontraron que la memoria de trabajo tanto visoespacial como verbal influyen de manera diferente en el rendimiento matemático a medida que los niños crecen. La influencia de la memoria de trabajo verbal aumenta con la edad, mientras que la memoria de trabajo visoespacial pierde importancia. Así, en niños de 8 a 10 años, el valor predictivo de la MT visoespacial disminuye para sumas, restas, multiplicaciones y

divisiones, y en contraste se observa una mayor relación entre éstas y la MT verbal. Aunque no se encontró una relación significativa entre la memoria de trabajo y un mejor rendimiento matemático a lo largo del año escolar, se sugiere que los factores en el aula (modificación de las instrucciones, tiempo de memorización, calidad de las instrucciones) podrían ser más influyentes en los cambios a corto plazo en el rendimiento. Aunque el estudio tiene limitaciones, como el uso de pruebas únicas y mediciones limitadas, ofrece información valiosa sobre cómo estas relaciones evolucionan durante la educación primaria y cómo diversos factores influyen en el rendimiento matemático a lo largo del tiempo. Por otro lado, un estudio más reciente reportó que, en niños de 8 a 11 años, la memoria de trabajo visoespacial está relacionada con las habilidades matemáticas, pero no con todas sino con habilidades específicas (tales como cálculos escritos, hechos aritméticos y la comprensión de la estructura sintáctica de los números). Cabe destacar que se ha sugerido que la memoria de trabajo visoespacial está relacionada principalmente con tareas que involucran el procesamiento de representaciones analógicas de cantidades, así como en otras habilidades que dependen en gran medida del procesamiento visual. No obstante, dicho estudio resalta que la memoria de trabajo visoespacial parece influir en otras aptitudes matemáticas, como el manejo de hechos aritméticos y el procesamiento de la sintaxis numérica (Macchitella et al., 2023)

Aunado a esto, la revisión sistemática de Allen et al. (2019) señala que las operaciones numéricas y el razonamiento matemático son igualmente influenciados por la MT visoespacial; sin embargo, el nivel de influencia puede variar dentro de cada tipo de tarea matemática. La mayor variación se observa en las operaciones numéricas. Sin embargo, una vez que se incluye el tipo de matemáticas evaluadas en el análisis, la diferencia no es significativa. Además, la edad no tuvo un impacto significativo en los tamaños de efecto generados. Se compararon tanto las investigaciones que utilizaron una medida estandarizada para las puntuaciones de pruebas matemáticas y de MT visoespacial, como aquellas que no la utilizaron; se reporta que las medidas estandarizadas y no estandarizadas parecen ser igualmente efectivas para medir la MT visoespacial en relación con el rendimiento en matemáticas.

3.3. Conciencia Fonológica y Ejecución Matemática

Considerando que la primera comprensión matemática en los niños es preverbal, se ha sugerido también que la habilidad numérica verbal de los niños sentaría las bases de su desempeño matemático posterior, debido a que, para contar y nombrar números, los

prescolares hacen uso de habilidades verbales además de las visoespaciales. En un estudio con 80 niños acerca de la relación entre las habilidades visoespaciales y las habilidades numéricas verbales, estas últimas se evaluaron mediante tareas como: conteo libre, conteo regresivo y denominación de números, en tanto que las habilidades visoespaciales fueron evaluadas con el subtest de posición en el espacio de la prueba de Desarrollo de Percepción Visual (DVTP-2), y el lenguaje espacial mediante una tarea que consistía en describir la posición de un osito de peluche con respecto a una casa. Los resultados confirmaron la importancia de las habilidades visoespaciales, en particular la percepción espacial, junto con las habilidades verbales (como la conciencia fonológica), mismas que se evaluaron con una tarea de detección de fonemas, en donde los niños debían indicar si los sustantivos comenzaban con el sonido inicial /a/. En la segunda parte, debían juzgar si los sustantivos contenían el sonido /i/. En la tarea de combinación de fonemas, se les presentaban secuencialmente los diferentes fonemas (vocales y/o consonantes) de una palabra (por ejemplo, “p-i-zz-a”). Finalmente, en la tarea de identificación de rimas, los niños debían indicar si dos pseudopalabras presentadas rimaban o no (por ejemplo, tuk-nuk vs. mau-méi). Los resultados de esta investigación sugirieron que la comprensión y el uso de términos espaciales durante el preescolar, podría ser una vía importante para estimular el desarrollo matemático además de implementar el entrenamiento en percepción espacial y conciencia fonológica (Georges et al., 2021).

Un estudio similar al de Carrie Georges et al. (2021), menciona que el desarrollo de las habilidades numéricas verbales en los niños representa un hito en el desarrollo matemático; por lo cual, este estudio pretendió comprender la naturaleza cognitiva de estas habilidades en preescolares (141 niños de 5-6 años) al evaluar la relación de las habilidades verbales y visoespaciales con sus habilidades numéricas verbales. Estos autores se basaron en un modelo hipotético de las habilidades numéricas verbales, que establece que estas pueden ser predichas por cinco aspectos: el vocabulario, la conciencia fonológica, la memoria de trabajo de tipo verbal y de tipo visoespacial, así como las habilidades visoespaciales generales, divididas en dos apartados: percepción espacial e integración visomotora. La primera se evaluó mediante una tarea que consistía en mostrar una imagen y luego presentar tal objeto en diferentes posiciones para que el niño lo identificara; para la segunda se utilizaron dos tareas de copia, de un diseño de líneas y puntos y de una serie de figuras. Los resultados mostraron que, en los preescolares, las habilidades visoespaciales son predictoras de las habilidades numéricas verbales, pero no así las habilidades verbales (Cornu et al., 2018).

Existe una correlación significativa entre el rendimiento en lectura y ortografía y la capacidad de transcodificar números, es decir, establecer una relación entre las representaciones verbal y arábica de los números. Lopes-Silva et al. (2016) investigaron los mecanismos compartidos y no compartidos involucrados en la lectura y escritura de palabras y números arábigos en 172 niños brasileños de segundo a cuarto grado con inteligencia normal. Se realizaron modelos de regresión jerárquica utilizando puntuaciones de deletreo de palabras, lectura de palabras sueltas y números arábigos como variables dependientes. Como variables predictoras, se investigaron la inteligencia, los componentes verbales y visoespaciales de la memoria de trabajo, y la conciencia fonológica. Se encontró que todas las tareas de escritura y lectura (deletreo y lectura de palabras sueltas, así como lectura y escritura de números) estaban significativamente correlacionadas entre sí. En los modelos de regresión, se observó que la MT verbal estaba asociada específicamente con la lectura de palabras. Además, la conciencia fonológica fue la única variable cognitiva que predijo consistentemente todas las habilidades escolares investigadas, tanto de tareas numéricas como de palabras. Esto sugiere que la conciencia fonológica es una capacidad cognitiva modular compartida por varias tareas escolares y podría ser un factor importante relacionado con la comorbilidad entre la dislexia y la discalculia

Se ha observado una alta comorbilidad entre los trastornos del aprendizaje de las matemáticas y los trastornos de la lectura (y la ortografía). Se han identificado habilidades deficientes relacionadas con las matemáticas, como el sentido numérico, la memoria de trabajo visoespacial, así como habilidades relacionadas con la lectoescritura, como la conciencia fonológica, la denominación serial rápida -y la memoria verbal a corto plazo. Para examinar esta comorbilidad, se evaluaron las capacidades cognitivas de niños de 7 a 11 años en relación con la alfabetización y las habilidades matemáticas. El sentido numérico y la memoria de trabajo visoespacial fueron predictores únicos de los trastornos del aprendizaje de las matemáticas, mientras que la conciencia fonológica y la denominación rápida automatizada estaban asociadas con los trastornos de la lectura y la ortografía. Además, se encontró que un modelo de factor de riesgo compartido que involucra el procesamiento fonológico se ajustaba mejor a los datos, lo que sugiere que los trastornos del aprendizaje de las matemáticas y los trastornos de la lectura y la ortografía podrían coexistir debido a un déficit subyacente en el procesamiento fonológico (Slot et al., 2016).

3.4. Otras habilidades que han sido relacionadas con el desempeño matemático.

Existen otras habilidades cognitivas que han sido relacionadas con el desempeño matemático como las gnosias táctiles y la atención. Hay aspectos que pueden ayudar a los niños pequeños a compensar la capacidad limitada de la memoria de trabajo evitando que tengan que almacenar una representación mental de cada objeto contado como la motricidad fina, las habilidades de los dedos involucradas en el conteo, en el señalamiento y en los gestos con las manos, esto puede proporcionar otra ruta de representación para dar significado y recordar números. Las dificultades en el despliegue de los dedos para contar y calcular podrían conducir a la resolución inexacta e inconsistente de problemas matemáticos (Barnes & Raghobar, 2014).

Justificación

El bajo nivel del desarrollo matemático de un país implica un impacto negativo sobre su desarrollo económico y social, ya que el pensamiento matemático es fundamental para promover el pensamiento crítico, el razonamiento y la abstracción.

Se sabe que las habilidades visoespaciales son importantes en el desarrollo matemático. Estas tienen múltiples componentes como: la percepción espacial, la integración visual, la rotación mental y la memoria de trabajo visoespacial. Además, también hay reportes de la influencia de otras habilidades relacionadas con el lenguaje como la memoria de trabajo verbal, la conciencia fonológica y el lenguaje espacial.

Las interacciones entre estos componentes según la edad de los niños no se conocen por completo; existen investigaciones que resaltan a los componentes verbales de la visoespacialidad como fundamentales para el desarrollo matemático, mientras que otros señalan que no tienen relación; de igual manera, hay autores que le dan mayor relevancia a la rotación mental, otros a la integración visual o a la percepción espacial. Una posible explicación a la variabilidad de estos hallazgos puede deberse al propio desarrollo intelectual y cognitivo que tienen los niños, y a la variabilidad metodológica que se detecta en los estudios, además de que en ellos no suelen analizarse simultáneamente todas estas variables en un mismo grupo de niños. También debe considerarse que el aprendizaje formal de las matemáticas está influenciado por la manera, medios y por el sistema educativo de los distintos planteles de enseñanza. Lo anterior influye en que actualmente, no se tenga una relación tan clara entre los componentes de la visoespacialidad, las habilidades relacionadas con el lenguaje, y el desempeño en las matemáticas

Por lo tanto, se vuelve relevante obtener evidencia empírica que permita confirmar, o reorientar las investigaciones dedicadas a estudiar la relación entre los componentes de la visoespacialidad, memoria de trabajo y conciencia fonológica y el desempeño en matemáticas en población hispanoamericana (en la que no se cuenta con muchos estudios). Con base en esta evidencia, en un futuro podrían implementarse mejoras o reformas a las bases de la enseñanza matemática, iniciando la educación de los niños en habilidades espaciales y del lenguaje con actividades de alta calidad que permitan mejorar a largo plazo el rendimiento en las materias escolares y en las carreras relacionadas con el 'STEM' (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, por sus siglas en inglés). El presente trabajo se propone aportar evidencia acerca de los componentes de la visoespacialidad, de la memoria de trabajo y de la conciencia fonológica que mejor se relacionan con el desempeño en matemáticas en niños de 8 a 10 años.

Planteamiento del Problema

Pregunta de Investigación

¿Cuál es la relación entre los componentes de la visoespacialidad, de la memoria de trabajo, de la conciencia fonológica con el desempeño matemático en escolares de 8 a 10 años?

Objetivo General

Explorar la relación de los distintos componentes de visoespacialidad (rotación mental, percepción espacial, integración visual, lenguaje espacial), de la memoria de trabajo (MT verbal y visoespacial) y de la conciencia fonológica con el desempeño obtenido en pruebas matemáticas en escolares de 8 a 10 años.

Objetivos Específicos

O1. Explorar la relación entre los puntajes obtenidos en las pruebas de visoespacialidad (rotación mental, percepción espacial, integración visual, lenguaje espacial) con los puntajes obtenidos en las pruebas de matemáticas.

O2. Explorar la relación entre los puntajes obtenidos en pruebas de memoria de trabajo visoespacial y verbal con el desempeño en las pruebas de matemáticas.

O3. Explorar la relación entre los puntajes obtenidos en las pruebas de conciencia fonológica con los puntajes obtenidos en las pruebas de matemáticas

Hipótesis

H1. Los puntajes obtenidos en las pruebas que evalúan a los componentes de la visoespacialidad se correlacionarán positivamente con los puntajes en pruebas matemáticas en niños de 8 a 10 años.

H2. Las puntuaciones en pruebas de memoria de trabajo visoespacial y verbal se correlacionarán positivamente con los puntajes en pruebas matemáticas en niños de 8 a 10 años.

H3. Las puntuaciones en pruebas de conciencia fonológica se correlacionarán positivamente con los puntajes en pruebas matemáticas en niños de 8 a 10 años.

CAPÍTULO IV: MÉTODOS

4.1 Metodología

4.1.1 Diseño

Esta investigación es de tipo no experimental, cuantitativo, transversal, correlacional, que busca explorar la relación entre el desempeño matemático y los componentes de la visoespacialidad, de la memoria de trabajo y de la conciencia fonológica en niños de 8 a 10 años. Es un estudio que está encaminado a la medición de constructos, cuyos resultados serán relacionados con las puntuaciones de cada una de las subpruebas aplicadas.

4.1.2 Criterios de Inclusión y Exclusión

Criterios de Inclusión.

- Niños y niñas que se encuentren en una edad comprendida entre los 8 y 10 años.
- Niños que se encuentren cursando la primaria.
- Niños que cuenten con la autorización de sus padres para participar en el estudio.
- Niños que hayan asistido a todas las sesiones de evaluación.
- Niños con nacionalidad ecuatoriana

Criterios de Exclusión.

- Niños con patologías psiquiátricas y/o neurológicas.
- Niños con dificultades visuales, auditivas, perceptivas o expresivas.

4.2 Muestra

Se realizó un muestreo por conveniencia, no probabilístico y no aleatorizado. Se propuso un total de 50 participantes, de los cuales hubo una tasa de participación del 80%. La muestra se recolectó en dos momentos; la primera consistió en asistir a la escuela “Centro Escolar Ecuador” de la ciudad de Ambato, Ecuador, para obtener la autorización del rector y de los padres para la realización del estudio; de aquí se obtuvo el 82.5% de la muestra final total. En un segundo momento, se realizó una convocatoria vía internet, de donde se obtuvo el 17.5% de la muestra final total. El total de participantes del estudio fue de 35 niños (16 niñas y 19 niños) entre los 8 y 10 años (M=8. 89).

4.3 Planteamientos Éticos

Se tomaron en cuenta los principios éticos de los psicólogos y el código de conducta de la APA (American Psychological Association, 2003), específicamente el punto 8 destinado a la investigación y publicación. El punto 8.01 dictamina que, cuando se requiere autorización institucional, el psicólogo provee toda la información al respecto y obtiene la autorización antes de realizar la investigación. De igual manera, se cubrió el punto 8.02 al entregar el consentimiento informado (Apéndice 1) a los padres donde se detalló: (1) el propósito de la investigación, la duración estimada, y los procedimientos; (2) su derecho a rehusarse a participar y retirarse de la investigación una vez que su participación hubiera comenzado; (3) cualquier beneficio posible de la investigación; (4) los límites de la confidencialidad; (5) los incentivos por la participación; y (6) a quien contactar para preguntar acerca de la investigación y los derechos de los participantes en las investigaciones.

4.4 Instrumentos y Validez

4.4.1 Instrumento para evaluar habilidades matemáticas

BANETA. Batería Neuropsicológica para la Evaluación de Trastornos del Aprendizaje (Yáñez & Prieto, 2013). Esta batería cuenta con 41 subpruebas, puede aplicarse a niños de 7 a 12 años, tiene una fiabilidad entre el .73 y .93, y está estandarizada para población mexicana. En este estudio, se utilizó la sección N°8 “Aritmética” la cual cuenta con 8 subpruebas: en la primera el niño debe escribir números al dictado, en la segunda debe escribir el nombre de los números que se le muestran, en la tercera debe anotar el número que hace falta siguiendo el orden adecuado, en las siguientes debe identificar números del menor al mayor, responder oralmente las operaciones, colocar el signo que falta en cada una de las operaciones, realizar operaciones aritméticas al dictado y resolver problemas aritméticos sin ayuda ni de papel, ni de lápiz (pp. 20–21).

4.4.2 Instrumentos para evaluar Visoespacialidad, Memoria de Trabajo y Conciencia Fonológica.

Evaluación de la Percepción Visual. Frostig - DTVP-2 (Hammill et al., 1995). Consta de 8 subpruebas que miden habilidades visomotoras, así como habilidades visuales

diferentes, aunque relacionadas entre sí. Se aplica a niños de 4 a 10 años. La confiabilidad de la consistencia interna (alfas) y de estabilidad por test-retest para todas las puntuaciones es mayor al .80 para todas las edades.

Para el presente estudio se utilizaron las subpruebas 2 y 8; en la subprueba de posición en el espacio se muestra al niño una figura como estímulo y se le pide que seleccione la figura exacta a partir de una serie de figuras similares. En la subprueba de constancia de formas, se muestra una figura estímulo y se le pide que la encuentre entre una serie de figuras. La figura objetivo puede diferir en tamaño, posición, sombreado, o puede estar oculta dentro de otra figura distractora (Hammill et al., 1995, p. 6).

Evaluación Neuropsicológica Infantil (2da. Edición). ENI-2 (Matute et al., 2013, pp. 13, 31, 43–45, 61). Evalúa 11 procesos neuropsicológicos: habilidades constructivas, perceptuales, metalingüísticas, espaciales, conceptuales, memoria, lenguaje, lectura, escritura, aritmética y funciones ejecutivas, en niños de 5 a 16 años. La confiabilidad va desde .85 a .98, y está estandarizada para población mexicana. Las subpruebas utilizadas para la presente investigación fueron: 1) subprueba de integración de objetos: se le pide al niño que señale el recuadro correspondiente que formaría la figura que se encuentra al costado derecho; 2) subprueba de habilidades metalingüísticas (para la evaluación de la Conciencia Fonológica) y 3) subprueba de dibujos desde ángulos diferentes: se pide al niño que diga la dirección desde la cual se está viendo el objeto que se le presenta en las láminas.

NEUROPSI. Atención y Memoria (2da.edición) (Ostrosky-Solís et al., 2012, p. 17. Esta prueba permite evaluar y reconocer los procesos cognitivos y las deficiencias que podrían ser indicativos de ciertas patologías neurológicas, tiene una fiabilidad por área de 0,93 y validez de 0,83. Tiene bases normativas para personas de habla hispana y puede ser aplicado en personas desde los 6 a los 85 años. Cuenta con 28 subpruebas, y se aplicaron las tareas de “Retención de dígitos en regresión” que evalúa MT verbal y la de “Cubos en Regresión” que evalúa MT visoespacial).

Para la subprueba de retención de dígitos en regresión, se lee una serie de números a razón de uno por segundo y se pide al sujeto que repita la serie en orden inverso. En el caso de los cubos en regresión (Cubos de Corsi), se presenta una serie de cubos que van del 1 al 9 y se señala de uno en uno de acuerdo con la serie que se muestra en el protocolo de evaluación. Se pide a la persona que señale la serie de cubos en orden inverso. (Ostrosky-Solís et al., 2012, p. 20).

4.5 Procedimiento

El primer paso para elaborar la investigación fue seleccionar el lugar que contaba con la muestra, tomando en cuenta los criterios de inclusión y exclusión ya detallados anteriormente. Se realizó una reunión con los padres y autoridades de la escuela Centro Escolar Ecuador de la ciudad de Ambato para dar a conocer los propósitos del estudio, explicar los objetivos y firmar el consentimiento informado con los padres interesados en que su hijo/a participara, haciendo hincapié en la participación voluntaria. La estructuración de la muestra se realizó de manera individual en horario escolar del 5 de enero al 10 de febrero de 2022, contando con el apoyo de dos psicólogos clínicos que fueron previamente instruidos en la aplicación de pruebas.

Antes de iniciar dicha aplicación, se explicó brevemente a los niños el tipo de pruebas que se iban a aplicar, la explicación y la presentación de los psicólogos colaboradores se realizó de forma grupal. Se les pidió información básica como nombre, edad, lateralidad, grado escolar, problemas durante el parto, desarrollo y desempeño académico. Se tuvo acceso a un total de 36 participantes, de los cuales se excluyeron 4 casos debido a que dos de ellos no estuvieron presentes en todas las evaluaciones y dos habían sido diagnosticados con trastornos del neurodesarrollo (discapacidad intelectual leve y TDAH); estos últimos casos se descartaron por historia clínica y por datos proporcionados por la escuela.

La muestra se dividió por edades (8,9 y 10 años). En la primera semana se inició con la aplicación del apartado de aritmética de la BANETA, durante la segunda semana se aplicaron las pruebas de visoespacialidad, memoria de trabajo y de conciencia fonológica. Posteriormente, de agosto a octubre de 2022 se realizó una convocatoria vía internet para participar en la investigación, un total de 7 personas se mostraron interesadas, 4 de ellas cumplieron con los requisitos solicitados y de estos se excluyó un caso por protocolo inconcluso.

4.6 Definición Conceptual y Operacional de las Variables

Tabla 1.

Definición Conceptual y Operacional de las Variables.

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	
		Instrumentos	Indicador*
Habilidades Matemáticas	Se conceptualizan como un área separada que incluye componentes verbales (conocimiento de números, conteo, cálculo y razonamiento) y componentes no verbales (notación matemática, razonamiento en tiempo, espacio y cálculo) (Miller, 2004).	BANETA. Subprueba de Aritmética (Yáñez & Prieto, 2013). 8.1 Dictado de Números 8.2 Denominación escrita de números. 8.3 Series numéricas 8.4 Comparación de números 8.5 Operaciones aritméticas orales 8.6 Operaciones aritméticas impresas. 8.7 Operaciones aritméticas dictadas. 8.8 Problemas aritméticos.	<i>Percentiles</i> <input type="checkbox"/> <10: rendimiento sumamente bajo. <input type="checkbox"/> 10 a 20: rendimiento bajo <input type="checkbox"/> 30 a 40: promedio bajo <input type="checkbox"/> 50 a 80: promedio alto. <input type="checkbox"/> 90 a 100: muy alto.
Rotación Mental	Proceso espacial complejo, para evocar representaciones visoespaciales correspondientes a la rotación de los objetos tal y como se ven en el mundo físico, a través de procesos graduales de transformación (Cornu et al., 2018).	DVTP-2 (Hammill et al., 1995). Subprueba de constancia de formas.	<i>Puntuación Estándar:</i> <input type="checkbox"/> 1-3: muy deficiente. <input type="checkbox"/> 4-5: deficiente. <input type="checkbox"/> 6-7: abajo del promedio. <input type="checkbox"/> 8-12: promedio. <input type="checkbox"/> 13-14: arriba del promedio. <input type="checkbox"/> 15-16: superior. <input type="checkbox"/> 17-20: muy superior.
Percepción Espacial	Conocimiento o toma de conciencia del medio y sus alrededores con respecto a la persona (Cornu et al., 2018).	DVTP-2 (Hammill et al., 1995). Subprueba de posición en el espacio.	<i>Puntuación Estándar:</i> <input type="checkbox"/> 1-3: muy deficiente. <input type="checkbox"/> 4-5: deficiente. <input type="checkbox"/> 6-7: abajo del promedio. <input type="checkbox"/> 8-12: promedio. <input type="checkbox"/> 13-14: arriba del promedio. <input type="checkbox"/> 15-16: superior. <input type="checkbox"/> 17-20: muy superior.
Integración Visual	Capacidad de coordinar habilidades visuales-perceptivas (percepción visual, manejo del espacio y tiempo) requeridas en los procesos de	ENI-2 (Matute et al., 2013). Subprueba de integración de objetos.	<i>Rango Percentil</i> <input type="checkbox"/> ≤2: muy bajo. <input type="checkbox"/> 5-9: límite. <input type="checkbox"/> 16: promedio bajo.

	aprendizaje (Amador Rodero & Montealegre Esmeral, 2015).		<input type="checkbox"/> 26-75: normal. <input type="checkbox"/> 84: promedio alto. <input type="checkbox"/> >84: superior.
Lenguaje Espacial	Capacidad de verbalizar la experiencia espacial; comunicar la localización de un objeto, de nosotros mismos, distancia a la que se encuentra una ubicación particular (Lizarralde & Salamanca, 2017).	ENI-2 (Matute et al., 2013). Subprueba de dibujos desde ángulos diferentes.	<i>Rango Percentil</i> <input type="checkbox"/> ≤2: muy bajo. <input type="checkbox"/> 5-9: límite. <input type="checkbox"/> 16: promedio bajo. <input type="checkbox"/> 26-75: normal. <input type="checkbox"/> 84: promedio alto. <input type="checkbox"/> >84: superior.
Memoria de Trabajo Visoespacial	Sistema que se encarga de crear y manipular imágenes de tipo visual y espacial que provienen de la información obtenida de la percepción visual y de las imágenes mentales (Baddeley, 1998, p. 92).	Neuropsi. Atención y Memoria (Ostrosky-Solís et al., 2012). Subprueba de cubos en regresión	<i>Puntuación Normalizada:</i> <input type="checkbox"/> 1-3: alteración severa. <input type="checkbox"/> 4-6: leve a moderado. <input type="checkbox"/> 7-13: normal. <input type="checkbox"/> 14-19: normal alto. <i>Puntuación Directa:</i> <input type="checkbox"/> 4-5: normal
Memoria de Trabajo Verbal	Se encarga de almacenar información basada en el lenguaje, procesa los datos provenientes del lenguaje hablado. Su capacidad de retención de información es de un segundo y medio o dos aproximadamente (Baddeley, 1998, pp. 60–63).	Neuropsi. Atención y Memoria (Ostrosky-Solís et al., 2012). Subprueba de dígitos en regresión.	<i>Puntuación Normalizada:</i> <input type="checkbox"/> 1-3: alteración severa. <input type="checkbox"/> 4-6: leve a moderado. <input type="checkbox"/> 7-13: normal. 14-19: normal alto. <i>Puntuación Directa:</i> <input type="checkbox"/> 3-4: normal
Conciencia Fonológica	Habilidad para identificar, segmentar o combinar de modo intencional, las unidades subléxicas de las palabras, es decir, las sílabas, las unidades intrasilábicas y los fonemas (Gutiérrez & Mediavilla, 2018).	ENI-2 (Matute et al., 2013). Subprueba de habilidades metalingüísticas. 6.1 Síntesis Fonémica. 6.2 Conteo de Sonidos. 6.3 Deletreo. 6.4 Conteo de palabras.	<i>Rango Percentil</i> <input type="checkbox"/> ≤2: muy bajo. <input type="checkbox"/> 5-9: límite. <input type="checkbox"/> 16: promedio bajo. <input type="checkbox"/> 26-75: normal. <input type="checkbox"/> 84: promedio alto. <input type="checkbox"/> >84: superior.

Elaborado por: Ariana Aldaz, 2022.

*Para el análisis de datos se utilizaron puntuaciones Z.

4.7 Análisis de Datos

Con los resultados obtenidos de las subpruebas de los instrumentos: BANETA, DVTP-2, Neuropsi y ENI-2, se construyó una base de datos Excel, que se exportó a SPSS versión 25. Para realizar las correlaciones, los puntajes naturales se transformaron a puntajes z de acuerdo con la fórmula $z = (X - \mu) / \sigma$.

Para determinar la normalidad de las distribuciones de los puntajes se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, que se basa en la comparación de la distribución de los datos con una distribución normal teórica. Para conocer si las distintas variables independientes se relacionaban con la dependiente (habilidades matemáticas), se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, debido a que la distribución de los puntajes no fue normal.

Por otra parte, se analizaron los datos mediante la técnica de regresión jerárquica lineal (RJL), que permite controlar el efecto de variables que se introducen en bloques para aislar mejor su efecto para explicar la varianza de la(s) variable(s) de interés. También permite probar hipótesis teóricas y verificar si diferentes grupos de variables tienen un impacto significativo en el modelo.

Las variables se organizan en bloques en función de las correlaciones encontradas (de las más a las menos significativas). El objetivo es examinar cómo cada conjunto de variables contribuye a la explicación de la varianza en la variable de interés. Se examinan los cambios en los coeficientes de regresión, los valores p y otros estadísticos de ajuste del modelo de RJL. Esto permitió entender cómo cada conjunto de variables contribuyó al modelo y cómo cambió la relación entre las variables predictoras y la variable de resultado (de interés).

CAPÍTULO V: Resultados

5.1 Estadísticos Descriptivos

Se obtuvieron datos de lateralidad, en donde el 100% de los participantes tenían predominio derecho, el promedio de escolaridad de los participantes fue de 4,9 años. En cuanto al género, el 46% de la muestra estuvo compuesta por niñas y el otro 54% por niños. En las tablas 2 y 3 se muestran los estadísticos descriptivos para los distintos datos recolectados, estos están reportados en puntuaciones naturales debido a la dificultad para interpretarlos en puntuaciones Z, (como se explicó en Análisis de datos). En las tablas siguientes, tanto de correlación como de regresión jerárquica se expresan las puntuaciones transformadas a puntuaciones Z. En la *Tabla 2* puede observarse que en el grupo de 35 participantes de entre 8 y 10 años, la edad promedio es de 8,89 años.

Tabla 2.

Edad de los participantes.

	Edad
Media	8,89
Mediana	9
Moda	8
Desviación Estándar	,867
Varianza	,751

El estudio se realizó con 35 niños que fueron evaluados con 8 diferentes subpruebas de aritmética, 4 de visoespacialidad, 2 de MT y 4 de CF. En la *Tabla 3* se presentan los estadísticos descriptivos para cada subprueba, usando puntuaciones naturales.

Tabla 3.

Estadísticos descriptivos para las subpruebas de aritmética, visoespacialidad, memoria de trabajo y conciencia fonológica.

Dominio	Subprueba	Media	Mediana	Moda	Desviación Estándar
Aritmética	Dictado de Números	14,94	15	20	4,05
	Denominación escrita de números	6,20	6	6 ^a	2,11
	Series numéricas	2,86	3	2	1,35

	Comparación de números	17,37	18	18	2,63
	Operaciones aritméticas orales	8,20	9	9	1,93
	Operaciones aritméticas impresas	5,83	6	4 ^a	1,67
	Operaciones aritméticas dictadas	11,26	13	15	4,11
	Problemas Aritméticos	5,31	5	4	1,69
Visoespacialidad	Rotación Mental	11,71	12	13	3,20
	Percepción Espacial	18,83	22	23	6,40
	Integración Visual	4,17	4	4	1,15
	Lenguaje Espacial	6,06	7	8	2,30
Memoria de Trabajo	Memoria de Trabajo Visoespacial	3,60	4	4	0,91
	Memoria de Trabajo Verbal	3,77	4	3	1,28
Conciencia Fonológica	Síntesis Fonémica	3,77	3	3	1,37
	Conteo de Sonidos	4,97	5	3	2,07
	Deletreo	4,94	5	4 ^a	1,69
	Conteo de palabras	5,63	6	6	1,94

Nota. La moda tiene un superíndice (a), indicando que la variable es multimodal y que se muestra la moda con menor valor numeral.

En general, se observa que los resultados en cada subprueba presentan una gran variabilidad, con desviaciones estándar relativamente altas en varias subpruebas. Estos resultados sugieren que los niños evaluados presentan habilidades variadas en diferentes áreas de la aritmética, así como en las puntuaciones de las subpruebas de visoespacialidad, MT y CF, con algunos niños obteniendo puntuaciones altas y otras puntuaciones bajas. Los resultados también sugieren que algunas subpruebas pueden ser más difíciles que otras para los niños, lo que puede indicar áreas en las que necesiten más apoyo y enseñanza.

5.2 Pruebas de Normalidad

En la *Tabla 4* se muestran resultados correspondientes a las pruebas de normalidad para cada una de las subpruebas en los diferentes dominios evaluados, con los puntajes naturales transformados a puntuaciones Z.

En general, la mayoría de las subpruebas mostraron distribuciones no normales, con valores de significancia (sig.) inferiores a 0.05. Las únicas subpruebas con distribuciones normales fueron la *rotación mental* en el dominio de visoespacialidad y el *deletreo* en el dominio de conciencia fonológica.

Es importante tener en cuenta que, para poder ser analizados con pruebas estadísticas los datos no necesariamente deben tener una distribución normal ya que existen métodos y técnicas estadísticas adecuadas para datos con distribuciones no normales. En este trabajo, se empleó la correlación de Spearman para datos cuya distribución no es normal.

Tabla 4.

Resultados de las pruebas de normalidad.

Dominio	Prueba	Shapiro-Wilk	
		Estadístico	Sig.
Matemáticas	Dictado de números	,921	,015
	Denominación escrita de números	,926	,021
	Series numéricas	,903	,005
	Comparación de números	,781	,000
	Operaciones aritméticas orales	,905	,006
	Operaciones aritméticas impresas	,880	,001
	Operaciones aritméticas dictadas	,889	,002
	Problemas aritméticos	,926	,021
Visoespacialidad	Percepción espacial	,823	,000
	Integración Visual	,927	,024
	Lenguaje Espacial	,819	,000
	Rotación Mental	,969	,422
Memoria de Trabajo	Visoespacial	,882	,001
	Verbal	,902	,004
Conciencia Fonológica	Síntesis Fonémica	,870	,001
	Conteo de sonidos	,885	,002
	Conteo de palabras	,894	,003
	Deletreo	,950	,113

Nota. Un nivel de significación mayor a .05 es indicativo de una distribución semejante a lo normal.

5.3 Resultados de las Correlaciones

En las tablas 5 a 7 se presentan las correlaciones para cada uno de los dominios evaluados, reportados en puntuaciones Z. En la *Tabla 5* se muestran las correlaciones entre el dominio de la visoespacialidad y las pruebas relacionadas con habilidades matemáticas. Se puede observar que la prueba de *percepción espacial* tuvo correlaciones significativas con todas las pruebas aritméticas evaluadas, con coeficientes entre 0,349 y 0,710, lo que sugiere su importancia en estas tareas. El coeficiente de correlación más alto se presentó con la prueba de operaciones aritméticas dictadas.

La prueba de *Integración Visual* mostró en general una correlación positiva moderada con las subpruebas aritméticas. El coeficiente de correlación más alto (0.483) fue con la subprueba de dictado de números.

En cuanto al *lenguaje espacial* los resultados indicaron una correlación positiva significativa moderada con las variables de aritméticas: la denominación escrita de números, la resolución de problemas aritméticos, la comparación de números, las operaciones aritméticas dictadas e impresas, y el dictado de números.

No se encontró ninguna correlación significativa entre la rotación mental y las subpruebas aritméticas.

Tabla 5.

Correlaciones entre pruebas aritméticas y pruebas de visoespacialidad.

Dominio	Prueba		Dictado de números	Denominación escrita de números	Series numéricas	Comparación de números	Operaciones aritméticas orales	Operaciones aritméticas impresas	Operaciones aritméticas dictadas	Problemas aritméticos
Visoespacialidad	Percepción espacial	Coeficiente de correlación	,512*	,349	621*	,506*	,584*	,445*	,710**	,455*
		Sig. (bilateral)	,002	,040	,000	,002	,000	,007	,000	,006
		Sig.(corregida)	,003	0,04	,000	,002	,000	,008	,000	,008
	Integración Visual	Coeficiente de correlación	,483*	,237	,257	,081	,294	,207	,269	,292
		Sig. (bilateral)	,003	,170	,137	,644	,087	,234	,119	,088
		Sig.(corregida)	,024	,226	,219	,644	,219	,267	,219	,219

Lenguaje Espacial	Coeficiente de correlación	,396	,551*	,322	,417*	,276	,402*	,406*	,435*
	Sig. (bilateral)	,019	,001	,060	,013	,109	,017	,016	,009
	Sig.(corregida)	,025	,008	,068	,025	,109	,025	,025	,025
Rotación Mental	Coeficiente de correlación	,331	-,027	,066	,170	,006	-,295	-,020	,090
	Sig. (bilateral)	,052	,876	,705	,330	,972	,085	,908	,608

Nota. Los datos que presentan una correlación significativa ($<.05$) y un coeficiente de correlación mayor a .70 (alta) están marcados con doble asterisco (**), los coeficientes mayores a .40 (correlación moderada) con un asterisco (*); y los coeficientes menores a .40 (baja correlación, pero significativos) están marcados en negritas. Datos obtenidos por correlación de Spearman; los p-valor significativos fueron sometido a la corrección de Benjamini Hochberg.

En el caso de la Tabla 6, se observa que la habilidad de memoria de trabajo visoespacial mostró una correlación positiva moderada y significativa con las operaciones aritméticas dictadas (0,468).

En contraste, la memoria de trabajo verbal no mostró correlación significativa con ninguna de las subpruebas aritméticas

Tabla 6.

Correlaciones entre pruebas aritméticas y pruebas de memoria de trabajo.

Dominio	Prueba		Dictado de números	Denominación escrita de números	Series numéricas	Comparación de números	Operaciones aritméticas orales	Operaciones aritméticas impresas	Operaciones aritméticas dictadas	Problemas aritméticos
Memoria de Trabajo	Visoespacial	Coeficiente de correlación	,295	,090	,271	,379	,250	,345	,468*	,134
		Sig. (bilateral)	,085	,608	,115	,025	,148	,042	,005	,443
		Sig.(corregida)	,017	,608	,184	,100	,197	,112	,040	,506
	Verbal	Coeficiente de correlación	-,044	,172	,005	,151	-,075	-,036	,023	,130
		Sig. (bilateral)	,803	,323	,977	,386	,667	,837	,897	,457

Nota. Los datos que presentan una correlación significativa ($<.05$) y un coeficiente de correlación mayor a .70 (alta) están marcados con doble asterisco (**), los coeficientes mayores a .40 (correlación moderada) con un asterisco (*); y los coeficientes menores a .40 (baja correlación, pero significativos) están marcados en negritas. Datos obtenidos por correlación de Spearman; los p-valor significativos fueron sometido a la corrección de Benjamini Hochberg.

En la tabla 7 se puede observar que, de las pruebas de conciencia fonológica, solo la habilidad de deletreo mostró correlaciones positivas significativas con la mayoría de las pruebas aritméticas, (excepto con las series numéricas, operaciones aritméticas orales, impresas y con los problemas aritméticos). Las correlaciones más altas se dieron con: denominación escrita de números (0,547), operaciones aritméticas dictadas (0,479), y dictado de números (0,450). El resto de las pruebas de esta categoría no mostró ninguna correlación significativa.

Tabla 7.

Correlaciones entre pruebas aritméticas y pruebas de conciencia fonológica.

Dominio	Prueba		Dictado de números	Denominación escrita de números	Series numéricas	Comparación de números	Operaciones aritméticas orales	Operaciones aritméticas impresas	Operaciones aritméticas dictadas	Problemas aritméticos
Conciencia Fonológica	Síntesis Fonémica	Coeficiente de correlación	,127	,129	,138	-,077	,062	-,081	-,130	-,044
		Sig. (bilateral)	,467	,460	429	,660	,722	,645	,456	,800
	Conteo de sonidos	Coeficiente de correlación	,242	,320	,095	,078	,091	-,075	,053	,109
		Sig. (bilateral)	,161	,061	587	,658	,603	,669	,762	,533
	Conteo de palabras	Coeficiente de correlación	,286	,270	133	,212	,270	,005	,233	,175
		Sig. (bilateral)	,095	,117	446	,221	,117	,977	,177	,315
	Deletreo	Coeficiente de correlación	,450*	,547*	,343	,416*	,307	,303	,479*	,271
		Sig.(bilateral)	,007	,001	,044	,013	,073	,076	,004	,116
		Sig.(corregida)	,018	,008	,070	,026	,086	,086	,016	,116

Nota. Los datos que presentan una correlación significativa (<.05) y un coeficiente de correlación mayor a .70 (alta) están marcados con doble asterisco (**), los coeficientes mayores a .40 (correlación moderada) con un asterisco (*); y los coeficientes menores a .40 (baja correlación, pero significativos) están marcados en negritas. Datos obtenidos por correlación de Spearman; los p-valor significativos fueron sometido a la corrección de Benjamini Hochberg.

5.4 Resultados de las Regresiones Jerárquicas Lineales (RJL)

Para el análisis se usaron las diferentes subpruebas matemáticas y las variables independientes fueron: visoespacialidad, memoria de trabajo y conciencia fonológica. El criterio para añadir variables a cada uno de los modelos dependió de las correlaciones significativas entre cada una de las subpruebas matemáticas y las pruebas de visoespacialidad, MT y CF. En cada modelo de RJL las variables se ordenaron de acuerdo con sus coeficientes de correlación, de mayor a menor.

En el *Anexo 2* se incluyó la serie completa de modelos de regresión jerárquica con los resultados obtenidos de este análisis. Los resultados revelaron patrones interesantes sobre cómo las variables predictoras influyen en las habilidades matemáticas.

A continuación, se resumen los resultados de este análisis.

Dictado de Números

Se encontró que Percepción Espacial e Integración Visual son factores altamente relevantes para predecir el dictado de números, explicando conjuntamente el 40% de la varianza. La adición las variables de Deletreo y Lenguaje Espacial no aportó un aumento significativo en la capacidad predictiva del modelo. Esto sugiere que, para el dictado de números, la percepción espacial y la integración visual son factores más influyentes que el deletreo y el lenguaje espacial.

Denominación Escrita de Números

Para esta habilidad, Lenguaje Espacial y Deletreo emergen como variables predictoras importantes. Aunque Percepción Espacial mejora el ajuste del modelo, no contribuye de manera significativa (en términos de cambio en el valor F). Estos resultados sugieren que, en la denominación escrita de números, el lenguaje espacial y el deletreo juegan un papel relevante, mientras que la percepción espacial tiene un impacto más limitado.

Series Numéricas

En términos de predicción de series numéricas, la percepción espacial es un componente fundamental.

Comparación de Números

En la subprueba de comparación de números, Percepción Espacial se destaca como un factor significativo. La inclusión de Lenguaje Espacial reduce la capacidad predictiva del modelo y no agrega significancia (en términos de cambio en el valor F). En general, esto

implica que la percepción espacial es el factor más relevante en esta habilidad, y la influencia del lenguaje espacial en este contexto es limitada.

Operaciones Aritméticas Orales e Impresas

En las operaciones aritméticas orales, se encontró que la Percepción Espacial tiene cierto poder predictivo, explicando el 31% de la varianza.

En las operaciones aritméticas impresas, tanto Percepción Espacial como Lenguaje Espacial contribuyen a la capacidad predictiva.

Operaciones Aritméticas Dictadas

La Percepción Espacial es un factor significativo para predecir las operaciones aritméticas dictadas, aunque la inclusión de Deletreo y MT visoespacial aumentaron el R cuadrado, el cambio en F no fue significativo. Esto sugiere que, en términos de predicción de operaciones aritméticas dictadas, la percepción espacial es un componente fundamental.

Problemas Aritméticos

En la subprueba de problemas aritméticos, Percepción Espacial se destaca como un factor significativo. La inclusión de Lenguaje Espacial no aumentó la significancia (en términos de cambio en el valor F). En general, esto implica que la percepción espacial es el factor más relevante en esta habilidad, y la influencia del lenguaje espacial es limitada para esta subprueba.

En general, se observa que la inclusión de múltiples variables puede aumentar la capacidad predictiva de los modelos en algunas habilidades, pero no siempre con cambios significativos en el valor F. Las variables Percepción Espacial y Lenguaje Espacial emergen como las más influyentes en varias habilidades matemáticas exploradas, mientras que otras variables como MT Visoespacial, Deletreo e Integración Visual tienen impactos más limitados en los modelos.

Discusión

El objetivo del presente estudio fue conocer la relación de los distintos componentes de visoespacialidad (rotación mental, percepción espacial, integración visual, lenguaje espacial), de memoria de trabajo (MT verbal, MT visoespacial) y conciencia fonológica con las puntuaciones obtenidas en subpruebas aritméticas en niños de 8 a 10 años, utilizando pruebas estandarizadas que permitieron medir los distintos constructos.

Todas las subpruebas que evaluaron las distintas habilidades aritméticas tuvieron correlaciones positivas significativas, sobre todo con las pruebas de *percepción espacial* y de *lenguaje espacial* (de la visoespacialidad). Además, el análisis de regresión jerárquica mostró que la *percepción espacial* explicó un porcentaje de varianza para todas las subpruebas de habilidades aritméticas.

En cuanto a las pruebas de memoria de trabajo, se encontró una correlación moderada entre la *memoria de trabajo visoespacial* y la subprueba de operaciones aritméticas dictadas. No se encontraron correlaciones entre la memoria de trabajo verbal y las subpruebas de habilidades aritméticas. También se evaluó la conciencia fonológica con cuatro subpruebas que midieron este constructo: síntesis fonémica, conteo de sonidos, de palabras y *deletreo*; este último fue el único que mostró correlaciones positivas moderadas con las siguientes subpruebas aritméticas: denominación escrita de números, operaciones aritméticas dictadas, dictado de números y comparación de números.

Estos procesos cognoscitivos de dominio general mostraron una clara relación con el desempeño en tareas aritméticas. Así, la relación entre la percepción espacial y el lenguaje espacial con varias de estas tareas sugiere que números y operaciones aritméticas requieren de una representación espacial adecuada. Además, es posible que el conocimiento de los términos relacionados con la espacialidad (lenguaje espacial) pueda influir en las habilidades verbales para referirse a los números y comprender las relaciones espaciales entre las magnitudes numéricas. El papel de la memoria de trabajo visoespacial corrobora que esta capacidad de retener y manipular información espacial puede ser importante para resolver diferentes tareas aritméticas. En cuanto a la tarea de deletreo (conciencia fonológica), es posible que la capacidad de segmentar los sonidos de las palabras habladas y representarlos de manera coherente puede ser importante para escribir números y llevar a cabo operaciones aritméticas.

Refiriéndonos a cada uno de estos procesos, se puede discutir lo siguiente:

Percepción espacial.

En cuanto a la visoespacialidad, se encontró que la *percepción espacial* se correlacionó de forma significativa con todas las subpruebas de habilidades aritméticas. Esto puede explicarse probablemente porque la percepción espacial es importante para comprender la forma y tamaño de los objetos, ubicarlos y posicionarlos en el espacio; es una habilidad necesaria al momento de escribir las operaciones matemáticas, ubicarlas en el orden correcto, además de que es importante para dimensionar y utilizar el tamaño correcto de los números acorde con la hoja sobre la cual se van a resolver las operaciones aritméticas (Scott & Günther, 2004).

Georges et al. (2021) señalaron que la percepción espacial tiene un impacto en la predicción de las habilidades numéricas verbales; en dicho estudio, las pruebas aritméticas que se utilizaron fueron: denominación (oral y escrita) de números, así como tareas de conteo. En el presente estudio, se adicionaron pruebas como: operaciones aritméticas orales, impresas y dictadas, a más del dictado de números, comparación de números y problemas aritméticos, estas últimas tareas mediadas por el lenguaje. Tanto el mencionado estudio como el nuestro, dan evidencia de que las habilidades numéricas verbales tienen una base visoespacial. Además, la percepción espacial, permite a los niños discriminar entre números, diferenciar entre signos aritméticos, descomponer problemas en componentes manejables y organizar cálculos de manera espacial (Kulp, 1999). En general, el presente estudio también confirmó esta **relación**.

En conclusión, este estudio aportó más evidencia sobre la conocida relación entre las habilidades visoespaciales y las habilidades aritméticas. Butterworth (2005) afirma que en la infancia temprana los números se codifican de manera física y espacial (conteo con los dedos) y después se internalizan como componentes visoespaciales representados principalmente en el lóbulo parietal. En un artículo de revisión sobre la relación entre estas habilidades, Hawes y Ansari (2020), proponen cuatro mecanismos: a) que los números se representan espacialmente, b) que ambos tipos de habilidades comparten las redes neuronales del lóbulo parietal, c) que hay un modelamiento espacial del razonamiento numérico que funciona como un “pizarrón mental” en el que se “visualizan” las operaciones aritméticas a resolver y d) el uso de la MT visoespacial que “representa” visoespacialmente los problemas aritméticos a resolver.

Lenguaje Espacial.

Otra de las variables que mostró correlaciones fuertes con las subpruebas de habilidades aritméticas fue la del *lenguaje espacial* (que reúne habilidades espaciales y verbales); además de explicar un porcentaje de varianza en algunas de dichas subpruebas, de acuerdo con los resultados de las regresiones jerárquicas. La literatura menciona que el conteo hacia adelante y hacia atrás, la correspondencia entre los números arábigos y las palabras que se refieren a ellos, están influenciados por el lenguaje espacial (Georges et al., 2021). Esto sugiere que las habilidades numéricas verbales **están influenciados** simultáneamente de los procesos cognoscitivos visoespaciales y verbales, estos últimos mediados por el lenguaje espacial. De esta forma, el conocimiento de los términos que se refieren a conceptos espaciales puede afectar positivamente a las habilidades numéricas verbales para referirse a los números, al promover la comprensión de las relaciones espaciales entre las magnitudes numéricas en la línea numérica mental, lo que se ha demostrado que se relaciona positivamente con el desarrollo numérico y aritmético en niños pequeños (Georges et al., 2021). Esto coincide con lo hallado en el presente estudio, las puntuaciones de la prueba de lenguaje espacial se correlacionaron significativamente con seis de las ocho subpruebas aritméticas. En el caso de las operaciones aritméticas impresas, en donde el niño debe colocar el signo matemático que corresponde a la operación, el lenguaje espacial interviene debido a que la comprensión de los símbolos numéricos requiere una comprensión conceptual de la cantidad, es decir, relacionar los símbolos con la cantidad que representan (Hurst et al., 2017). Lo anterior se relaciona también con lo reportado por Gilligan-Lee et al. (2021), quienes encontraron que habilidades matemáticas tales como el dictado de números, la comparación de magnitudes, las operaciones aritméticas orales, dictadas y la resolución de problemas aritméticos tienen una asociación compartida entre el lenguaje espacial y las habilidades espaciales, lo que sugiere una posible influencia indirecta del lenguaje espacial en las habilidades matemáticas a través de las habilidades espaciales; una evidencia de esto se obtuvo al analizar los resultados de las regresiones jerárquicas, en los que la inclusión de la variable *lenguaje espacial*, mejoró significativamente el porcentaje de varianza explicado para operaciones aritméticas impresas. Por otra parte, como sugiere Barsalou (1999), la conexión entre el lenguaje espacial y las habilidades matemáticas puede estar arraigada en los cimientos de las representaciones simbólicas y conceptuales. De acuerdo con las perspectivas de la cognición fundamentada, hay un sistema que subyace tanto a las representaciones perceptivas como a las conceptuales y simbólicas. En otras palabras,

existe una interrelación entre la percepción visual, la conceptualización y la representación simbólica en el contexto de las habilidades matemáticas. Esto subraya la importancia de considerar cómo estas diferentes facetas interactúan para moldear nuestra comprensión y desempeño en las matemáticas.

Conciencia Fonológica.

La variable que más correlaciones presentó en tercer lugar fue *Deletreo* -dentro de la categoría de conciencia fonológica-, no obstante, las pruebas que evaluaron síntesis fonémica, conteo de sonidos y de palabras no mostraron ninguna correlación significativa. Aunque las pruebas utilizadas para evaluar la conciencia fonológica varían en la literatura, los resultados del presente estudio difieren de los encontrados por autores que resaltan la importancia de la conciencia fonológica como predictor de las habilidades numéricas verbales en preescolares (Cornu et al., 2018; Georges et al., 2021); en niños de 7 a 11 años otro estudio mostró que el sentido numérico, la memoria de trabajo visoespacial y la conciencia fonológica predecían las habilidades aritméticas (Slot et al., 2016). No obstante, también existen estudios que señalan que la conciencia fonológica no es un predictor fuerte de las habilidades aritméticas (Hecht et al., 2001; Koponen et al., 2020), pero señalan un efecto indirecto entre la conciencia fonémica en el preescolar y las habilidades aritméticas en primer curso. Sin embargo, los autores mencionan que este efecto es débil y se limita a la aritmética verbal y no a la fluidez aritmética (Amland et al., 2021).

Sobre los resultados obtenidos en el presente estudio, podemos decir que la tarea de deletreo proporciona un medio excelente para evaluar la percepción de los fonemas de las palabras habladas (es decir, el proceso de segmentación) y el conocimiento de cómo representar esos fonemas de forma coherente con las convenciones ortográficas (es decir, el proceso de selección) (Bourassa & Treiman, 2001); ambos procesos se relacionaron significativamente con habilidades aritméticas como escribir números, realizar operaciones al dictado, denominar o comparar números, ya que estas pruebas mostraron correlaciones significativas moderadas con el deletreo. En relación con lo anterior, se ha reportado que el rendimiento en lectura y deletreo tiene una correlación significativa con la transcodificación de números (Lopes-Silva et al., 2016), que es la capacidad de establecer una relación entre las representaciones verbales y arábicas de los números, cuando es necesaria una conversión de símbolos numéricos de una notación a la otra. El estudio se realizó con 172 niños, de 7 a 11 años, se reportó que todas las tareas de escritura y lectura (deletreo y lectura de palabras sueltas, así como lectura y escritura de números) estaban significativamente correlacionadas entre sí (Lopes-Silva et al., 2016). Los resultados

anteriores y los del presente estudio hacen ver la posibilidad de una conexión entre la capacidad de deletrear correctamente las palabras, y la de comprender y utilizar correctamente los números y realizar operaciones aritméticas.

También, se ha mostrado que la conciencia fonológica se relaciona con la recuperación de hechos aritméticos, con base en que el sujeto repite de forma constante y en código lingüístico la operación a memorizar (Szűcs et al., 2014). En este estudio, esto se refleja en la correlación entre el deletreo y la subprueba de operaciones aritméticas dictadas.

Memoria de Trabajo.

Existe abundante evidencia de la influencia fundamental de la memoria de trabajo en la ejecución aritmética, especialmente en tareas de cálculo donde se “prestan” y se acarrean números y en la solución de problemas aritméticos (Hickendorff, 2021). En este trabajo, solamente la MT visoespacial mostró una correlación significativa moderada con la prueba de operaciones aritméticas dictadas. Estos resultados son parcialmente consistentes con los obtenidos por Soltanlou et al. (2019), quienes reportaron que la memoria de trabajo no estaba correlacionada con el desempeño en pruebas matemáticas en niños de 9 a 11 años; por su parte, Reuhkala (2001), en adolescentes de 15 y 16 años encontró que el desempeño en pruebas matemáticas se relacionaba únicamente con el componente visoespacial de la MT, pero no con sus otros dos componentes (bucle fonológico y ejecutivo central).

Una serie de estudios han reportado una fuerte relación entre la memoria de trabajo y las habilidades matemáticas, destacando que el componente visoespacial es importante para la representación y manipulación de la información cuantitativa en la memoria a corto plazo, y también es un predictor de las habilidades matemáticas verbales (Fanari et al., 2019; Foley et al., 2017; Mammarella et al., 2018). Por ejemplo, los hallazgos de Caviola et al. (2014) revelaron un vínculo directo entre las puntuaciones en la tarea de memoria de trabajo visoespacial y el rendimiento en la resta escrita. Esto es consistente con la hipótesis de que la memoria de trabajo visoespacial está involucrada en la resolución de restas, por ejemplo, para el alineamiento correcto de números en columnas y para retener y completar el procedimiento de pedir prestado (que incluye varios pasos secuenciales en un orden y dirección estrictos y tiene restricciones espaciales específicas). También, Macchitella et al. (2023) afirman que la memoria de trabajo visoespacial parece influir en otras aptitudes matemáticas, como el manejo de hechos aritméticos. Los estudios anteriores están en línea

con nuestros hallazgos sobre la relación entre la MT visoespacial y el rendimiento en operaciones aritméticas dictadas.

Por otra parte, la memoria de trabajo verbal (o bucle fonológico), sería un requisito previo para el desarrollo de la MT visoespacial, apareciendo de forma más prominente en las primeras etapas del aprendizaje del mapeo verbal de las representaciones cuantitativas (Cornu et al., 2018; Menon, 2016). Esta afirmación se corroboró con el estudio de Alloway y Passolunghi (2011), en donde reportaron que antes de los 8 años, tanto la MT verbal como la visoespacial se correlacionan con las habilidades matemáticas, pero a partir de los 8 años, la MT visoespacial se convierte en el único predictor del desempeño de los niños en tareas como: resolución de operaciones aritméticas. Estos resultados concuerdan con los hallados en el presente estudio, y sugieren que, en el rango de edad evaluado (8 a 10 años), la MT visoespacial puede ser más relevante para las habilidades matemáticas que la MT verbal.

Adicionalmente, se comentan los resultados para otras variables. Respecto a la integración visual, tuvo una correlación significativa moderada con el dictado de números, con el resto de las subpruebas aritméticas tuvo una correlación débil o no significativa. Este hallazgo es consistente con el de Cornu et al. (2018), que reportó que una serie de pruebas numéricas verbales (conteo rápido, nominación y escritura de números) parecen requerir procesos de percepción visual y espacial. Por su parte, la integración visual, que es la capacidad de interpretar la información visual del entorno y dar sentido a lo que se ve (Valarmathi et al., 2022), posiblemente se correlacionó con el dictado de números debido a que en esta tarea se hace uso de símbolos visuales, de praxias visoconstructivas y lingüísticas; es decir, el dictado de números hace uso de patrones gráfico-motores que requieren de una correcta integración visual de los números para obtener una respuesta adecuada, además de requerir funciones motoras intactas (Ardila, 2012; Astur, 2000; Han et al., 2012).

También se ha reportado que la rotación mental está relacionada con las habilidades numéricas (Thompson et al., 2013), sin embargo, en el presente estudio no se encontraron correlaciones significativas entre la rotación mental y las pruebas aritméticas. Esta discrepancia podría deberse a que en el mencionado estudio Haz clic o pulse aquí para escribir texto. participó una muestra de adultos universitarios y no se evaluaron las habilidades numéricas básicas, sino que se utilizaron tareas que valoraron la recta numérica mental. Gunderson et al. (2012) analizaron la relación entre las habilidades espaciales, entre ellas la rotación mental, y las matemáticas en niños de 5 a 8 años. Encontraron que,

a los 5 años, la rotación mental predecía su rendimiento en una tarea de cálculo simbólico aproximado, y a los 8 años cobraba más relevancia la recta numérica mental (imagen mental que utilizamos para representar los números y sus tamaños relativos), habilidad que se consolida a los 6 años. Otros estudios reportaron que el entrenamiento en rotación mental no tenía efectos en la mejora del rendimiento matemático en niños de 6 a 8 años (Hawes et al., 2015; Rodán et al., 2019). Por lo tanto, una posible explicación para los resultados encontrados en el presente estudio es que la rotación mental tiene relevancia en el desarrollo de las habilidades matemáticas en edades tempranas (5 años), por lo que, a los 8 a 10 años la rotación mental ya no sería una habilidad visoespacial relevante para el desempeño en pruebas matemáticas.

En general, los resultados de este estudio indican que, como se afirmó en las hipótesis de este trabajo, algunas de las habilidades visoespaciales, de memoria de trabajo y de conciencia fonológica están relacionadas con las habilidades matemáticas exploradas en niños de 8 a 10 años. Esto concuerda con los reportes de la literatura.

Así, en términos de las habilidades visoespaciales, se encontró una influencia predominante de la Percepción Espacial y el Lenguaje Espacial (que implica habilidades verbales) en el desempeño de las tareas aritméticas exploradas. La primera tuvo correlaciones significativas con las ocho subpruebas, y la segunda con seis de ellas. Asimismo, los resultados de la RJL mostraron que prácticamente todas las subpruebas aritméticas tuvieron un porcentaje de varianza significativo explicado por la Percepción Espacial, y en segundo lugar por el Lenguaje Espacial. También debe mencionarse la importancia de la MT Visoespacial en la resolución de operaciones aritméticas, así como la contribución del Deletreo en las tareas de dictado de números y resolución de Operaciones Aritméticas Dictadas, así como en la denominación escrita. A pesar de que en algunos casos la inclusión de variables adicionales no generó cambios significativos, la progresión de los modelos demuestra cómo la varianza explicada aumenta con la incorporación de estas variables. En términos del análisis estadístico, esto pudo estar influenciado por el tamaño relativamente pequeño de la muestra de este estudio.

Consideramos que estos resultados apoyan la visión de que el desempeño en los procesos de dominio específico (habilidades aritméticas) se basan en los procesos de dominio general (PDG) (i.e. HVE, MT, CF) que se van estableciendo y consolidando (Geary et al., 2017).

Por otra parte, este estudio confirmó la complejidad de predecir algunas habilidades aritméticas a partir de variables predictoras y destaca la importancia de considerar diversos

procesos de dominio general que, de acuerdo con la literatura, inciden en el desempeño y el aprendizaje de las matemáticas.

Debe destacarse que a esta complejidad contribuye el hecho de que en la literatura se presentan varias formas de evaluar tanto las habilidades aritméticas (conteo, hechos aritméticos, resolución de operaciones aritméticas diversas, o de problemas aritméticos, “razonamiento matemático”, etc.) como los constructos de los procesos de dominio general subyacentes a estas habilidades y que supuestamente las influyen (habilidades perceptuales, razonamiento perceptual, memoria de trabajo, procesamiento fonológico, velocidad de procesamiento, etc.). Sería conveniente que los estudios sobre este tema se enfocaran en la relación de aspectos específicos de los PDG con aspectos específicos de las habilidades aritméticas (Mix y Cheng, 2012).

Los resultados del presente estudio dan evidencia de que la *Percepción Espacial* y el *Lenguaje Espacial* fueron las variables predictoras significativas más importantes del desempeño en las habilidades aritméticas exploradas, seguidas de la Memoria de Trabajo Visoespacial y la Conciencia Fonológica (Deletreo).

Es importante tener en cuenta que estos resultados se basan en los datos específicos de la muestra y los métodos utilizados para medir las habilidades cognitivas, y que no se pueden generalizar automáticamente a otras poblaciones o contextos.

Además, es importante considerar que las correlaciones encontradas en este estudio no implican causalidad. Si bien se encontraron asociaciones entre los diferentes procesos cognitivos y las habilidades aritméticas, no se puede concluir que uno cause directamente el otro. Puede haber otros factores no evaluados en este estudio que estén influyendo en estas relaciones.

Por otra parte, estos resultados tienen implicaciones para la comprensión de las bases cognitivas de las habilidades aritméticas y pueden ser útiles para informar estrategias de intervención educativa dirigidas a mejorar el rendimiento en este proceso.

Limitaciones

Existen algunas limitaciones que deben tenerse en cuenta para la interpretación de los hallazgos de esta investigación y que deberían abordarse en futuros estudios. Debido al tiempo que tomó la aplicación del protocolo, el tiempo limitado para adquirir la muestra, y la falta de voluntarios para la participación en el estudio, la muestra fue reducida, lo cual impide realizar generalizaciones.

Debe mencionarse sin embargo que, el tamaño pequeño de la muestra permitió controlar de mejor manera las variables ambientales y evitar el agotamiento de los evaluadores, logrando una aplicación más consistente de las pruebas neuropsicológicas.

Otra limitación está relacionada con las pruebas neuropsicológicas utilizadas para medir los constructos cognitivos. Si bien se utilizaron pruebas estandarizadas, cada prueba tiene sus propias limitaciones y puede capturar solo una parte de la complejidad de las habilidades cognitivas evaluadas.

El estudio no contó con pruebas estandarizadas para la población objeto de estudio, por lo cual, las puntuaciones no pudieron ser comparadas con puntuaciones normativas; de igual manera, no existen pruebas específicas que evalúen de forma directa la rotación mental en niños, aunque sí pudo evaluarse de forma indirecta.

Los resultados obtenidos en este estudio podrían estar influidos por otros factores no evaluados como ansiedad, coeficiente intelectual, historia familiar o por otros dominios cognitivos involucrados en las pruebas de aritmética; sin embargo, también se debe tomar en cuenta que no es posible aislar por completo las funciones cognitivas; las respuestas de los sujetos están mediadas por más de una función cognitiva, pero sí puede aumentarse la probabilidad de evaluar una función específica al basar la elaboración de las pruebas en constructos teóricos y en los resultados de investigaciones previas. Para futuras investigaciones, sería valioso explorar otros posibles factores que podrían estar relacionados con las habilidades aritméticas en niños de esta edad, no solo neuropsicológicos, sino factores socioeconómicos, el nivel educativo de los padres o el estilo de enseñanza en el hogar. También sería interesante investigar cómo estas relaciones podrían variar en diferentes contextos educativos, como en escuelas con diferentes enfoques pedagógicos o en entornos multiculturales.

La pandemia por COVID-19 también fue una de las limitantes, debido a que, de acuerdo con los maestros y las limitaciones del trabajo en la virtualidad, los contenidos de las materias propuestas para cada año escolar tenían un retraso; por lo tanto, los niños tenían un conocimiento menor al esperado para su edad.

Conclusiones

- 1) Algunas de las habilidades visoespaciales, de memoria de trabajo y de conciencia fonológica están relacionadas con las habilidades aritméticas exploradas en niños de 8 a 10 años. Esto concuerda con los reportes de la literatura sobre el tema.
- 2) Los resultados evidenciaron que la Percepción Espacial y el Lenguaje Espacial fueron las variables predictoras significativas más importantes del desempeño en las habilidades aritméticas exploradas, seguidas de la Memoria de Trabajo Visoespacial y la Conciencia Fonológica (Deletreo).
- 3) La percepción espacial se correlacionó con todas las tareas aritméticas, especialmente con las operaciones aritméticas dictadas, lo que sugiere que las habilidades aritméticas requieren de una representación espacial adecuada.
- 4) El lenguaje espacial también mostró correlaciones positivas con las pruebas que hacían uso del lenguaje, como la denominación escrita de números y los problemas aritméticos.
- 5) La MT visoespacial se correlacionó principalmente con las operaciones aritméticas dictadas, mientras que el deletreo con la denominación escrita de números y las operaciones aritméticas dictadas.
- 6) Estos resultados apoyan la visión de que, en los niños de 8 a 10 años, el desempeño en las habilidades aritméticas se basa en los procesos de dominio general (i.e. habilidades visoespaciales, memoria de trabajo y conciencia fonológica) que se van estableciendo y consolidando.
- 7) Los resultados tienen implicaciones para la comprensión de las bases cognitivas de las habilidades aritméticas y pueden ser útiles para informar estrategias de intervención educativa dirigidas a mejorar el rendimiento en aritmética.

Referencias

- Allen, K., Higgins, S., & Adams, J. (2019). The Relationship between Visuospatial Working Memory and Mathematical Performance in School-Aged Children: a Systematic Review. *Educational Psychology Review*, 31(3), 509–531. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09470-8>
- Alloway, T. P., & Passolunghi, M. C. (2011). The relationship between working memory, IQ, and mathematical skills in children. *Learning and Individual Differences*, 21(1), 133–137. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2010.09.013>
- Amador Rodero, E. M., & Montealegre Esmeral, L. P. (2015). Asociación entre la integración visomotora y el desarrollo de la motricidad fina en niños de tres a cinco años. *Revista Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación*, 25(1), 34–40. <https://doi.org/10.28957/RCMFR.V25N1A4>
- American Psychological Association. (2003). Principios Éticos de los Psicólogos y Código de Conducta. In *American Psychological Association*. UBA.
- Amland, T., Lervåg, A., & Melby-Lervåg, M. (2021). Comorbidity Between Math and Reading Problems: Is Phonological Processing a Mutual Factor? *Frontiers in Human Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.577304>
- Archibald, L. M. D., & Gathercole, S. E. (2006). Visuospatial Immediate Memory in Specific Language Impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 49(2), 265–277. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2006\)022](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2006)022)
- Ardila, A. (2012). Neuropsychology of Writing. In E. Grigorenko, E. Mambrino, & D. Preiss (Eds.), *Writing. A Mosaic of New Perspectives* (Vol. 1). Psychology Press.
- Astur, V. (2000). Developmental cognitive neuropsychology of number processing and calculation: varieties of developmental dyscalculia. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 9(2), 41–57.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the Central Executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 49(1), 5–28. <https://doi.org/10.1080/027249896392784>
- Baddeley, A. (1998). *Memoria humana: teoría y práctica* (M. Mata & J. Sánchez, Eds.). McGraw Hill.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? In *Trends in Cognitive Sciences* (Vol. 4, Issue 11, pp. 417–423). [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)

- Baddeley, A. (2003a). Working memory and language: an overview. *Journal of Communication Disorders*, 36(3), 189–208. [https://doi.org/10.1016/S0021-9924\(03\)00019-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9924(03)00019-4)
- Baddeley, A. (2003b). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829–839. <https://doi.org/10.1038/nrn1201>
- Baddeley, A. (2010). Working memory. In *Current Biology* (Vol. 20, Issue 4, pp. R136–R140). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014>
- Barnes, M. A., & Raghubar, K. P. (2014). Mathematics development and difficulties: The role of visual-spatial perception and other cognitive skills. *Pediatric Blood & Cancer*, 61(10). <https://doi.org/10.1002/psc.24909>
- Barnhardt, C., Borsting, E., Deland, P., Pham, N., & Vu, T. (2005). Relationship Between Visual-Motor Integration and Spatial Organization of Written Language and Math. *Optometry and Vision Science*, 82(2), 138–143. <https://doi.org/10.1097/01.OPX.0000153266.50875.53>
- Barsalou, L. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 22(4), 577–660. <https://doi.org/10.1017/S0140525X99002149>
- Battista, M. T. (1990). Spatial Visualization and Gender Differences in High School Geometry. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21(1), 47. <https://doi.org/10.2307/749456>
- Binder, M., Hirokawa, N., & Windhorst, U. (2009). Spatial Language. In *Encyclopedia of Neuroscience* (pp. 3799–3799). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-29678-2_5547
- Bourassa, D. C., & Treiman, R. (2001). Spelling Development and Disability. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 32(3), 172–181. [https://doi.org/10.1044/0161-1461\(2001\)016](https://doi.org/10.1044/0161-1461(2001)016)
- Buttelmann, F., Könen, T., Hadley, L. V., Meaney, J.-A., Auyeung, B., Morey, C. C., Chevalier, N., & Karbach, J. (2020). Age-related differentiation in verbal and visuospatial working memory processing in childhood. *Psychological Research*, 84(8), 2354–2360. <https://doi.org/10.1007/s00426-019-01219-w>
- Cannon, J., Levine, S., & Huttenlocher, J. (2007). *A system for analyzing children and caregivers' language about space in structured and unstructured contexts*.
- Carames, C. N., Irwin, L. N., & Kofler, M. J. (2022). Is there a relation between visual motor integration and academic achievement in school-aged children with and without

- ADHD? *Child Neuropsychology*, 28(2), 224–243.
<https://doi.org/10.1080/09297049.2021.1967913>
- Case, R., Okamoto, Y., Henderson, B., McKeough, A., & Bleiker, C. (1996). III. Exploring the macrostructure of children's central conceptual structures in the domains of number and narrative. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 61(1–2), 59–82. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5834.1996.tb00537.x>
- Casey, B. J., Giedd, J. N., & Thomas, K. M. (2000). Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biological Psychology*, 54(1–3), 241–257. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(00\)00058-2](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(00)00058-2)
- Casey, M. B., Nuttall, R. L., & Pezaris, E. (1997). Mediators of gender differences in mathematics college entrance test scores: a comparison of spatial skills with internalized beliefs and anxieties. *Developmental Psychology*, 33(4), 669–680. <https://doi.org/10.1037//0012-1649.33.4.669>
- Caviola, S., Mammarella, I. C., Lucangeli, D., & Cornoldi, C. (2014). Working memory and domain-specific precursors predicting success in learning written subtraction problems. *Learning and Individual Differences*, 36, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2014.10.010>
- Cela-Conde, C. J., Ayala, F. J., Munar, E., Maestú, F., Nadal, M., Capó, M. A., del Río, D., López-Ibor, J. J., Ortiz, T., Mirasso, C., & Marty, G. (2009). Sex-related similarities and differences in the neural correlates of beauty. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(10), 3847–3852. <https://doi.org/10.1073/pnas.0900304106>
- Cheng, Y.-L., & Mix, K. S. (2014). Spatial Training Improves Children's Mathematics Ability. *Journal of Cognition and Development*, 15(1), 2–11. <https://doi.org/10.1080/15248372.2012.725186>
- Cohen Kadosh, R., Cohen Kadosh, K., Schuhmann, T., Kaas, A., Goebel, R., Henik, A., & Sack, A. T. (2007). Virtual Dyscalculia Induced by Parietal-Lobe TMS Impairs Automatic Magnitude Processing. *Current Biology*, 17(8), 689–693. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.02.056>
- Cohen, R. (1985). *The Development of Spatial Cognition*. Psychology Press.
- Colby, C. (2001). Perception of Extrapersonal Space: Psychological and Neural Aspects. In *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 11205–11209). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/03501-4>

- Conder, J., Fridriksson, J., Baylis, G. C., Smith, C. M., Boiteau, T. W., & Almor, A. (2017). Bilateral parietal contributions to spatial language. *Brain and Language*, *164*, 16. <https://doi.org/10.1016/J.BANDL.2016.09.007>
- Cooper, L., & Shepard, R. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. In G. Chase (Ed.), *Visual information processing* (pp. 77–156). Academic Press.
- Cornu, V., Schiltz, C., Martin, R., & Hornung, C. (2018). Visuo-spatial abilities are key for young children's verbal number skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, *166*. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.09.006>
- Cueli, M., Areces, D., García, T., Alves, R., & González-Castro, P. (2020). Attention, inhibitory control and early mathematical skills in preschool students. *Psicothema*, *32*(2), 237–244.
- De Smedt, B., Holloway, I. D., & Ansari, D. (2011). Effects of problem size and arithmetic operation on brain activation during calculation in children with varying levels of arithmetical fluency. *NeuroImage*, *57*(3), 771–781. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.12.037>
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003a). Three Parietal Circuits for Number Processing. *Cognitive Neuropsychology*, *20*(3–6), 487–506. <https://doi.org/10.1080/02643290244000239>
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003b). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, *20*(3–6), 487–506. <https://doi.org/10.1080/02643290244000239>
- Delgado, A. R., & Prieto, G. (2004). Cognitive mediators and sex-related differences in mathematics. *Intelligence*, *32*(1), 25–32. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(03\)00061-8](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(03)00061-8)
- Ego, A., Lidzba, K., Brovedani, P., Belmonti, V., Gonzalez-Monge, S., Boudia, B., Ritz, A., & Cans, C. (2015). Visual-perceptual impairment in children with cerebral palsy: a systematic review. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *57*, 46–51. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12687>
- Elliott, L., & Bachman, H. J. (2018). SES disparities in early math abilities: The contributions of parents' math cognitions, practices to support math, and math talk. *Developmental Review*, *49*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2018.08.001>
- Fanari, R., Meloni, C., & Massidda, D. (2019). Visual and Spatial Working Memory Abilities Predict Early Math Skills: A Longitudinal Study. *Frontiers in Psychology*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02460>

- Fernandes, V. R., Ribeiro, M. L. S., Melo, T., de Tarso Maciel-Pinheiro, P., Guimarães, T. T., Araújo, N. B., Ribeiro, S., & Deslandes, A. C. (2016). Motor Coordination Correlates with Academic Achievement and Cognitive Function in Children. *Frontiers in Psychology, 7*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00318>
- Fernandez-Baizan, C., Caunedo-Jimenez, M., Martinez, J. A., Arias, J. L., Mendez, M., & Solis, G. (2021). Development of visuospatial memory in preterm infants: A new paradigm to assess short-term and working memory. *Child Neuropsychology, 27*(3), 296–316. <https://doi.org/10.1080/09297049.2020.1847264>
- Foley, A. E., Vasilyeva, M., & Laski, E. V. (2017). Children's use of decomposition strategies mediates the visuospatial memory and arithmetic accuracy relation. *British Journal of Developmental Psychology, 35*(2). <https://doi.org/10.1111/bjdp.12166>
- Formoso, J., Barreyro, J. P., Jacobovich, S., & Injoque-Ricle, I. (2017). Possible Associations between Subitizing, Estimation and Visuospatial Working Memory (VSWM) in Children. *The Spanish Journal of Psychology, 20*, E27. <https://doi.org/10.1017/sjp.2017.23>
- Geary, D. C. (2004). Mathematics and Learning Disabilities. *Journal of Learning Disabilities, 37*(1), 4–15. <https://doi.org/10.1177/00222194040370010201>
- Geary, D. C., Nicholas, A., Li, Y., & Sun, J. (2017). Developmental change in the influence of domain-general abilities and domain-specific knowledge on mathematics achievement: An eight-year longitudinal study. *Journal of Educational Psychology, 109*(5), 680–693. <https://doi.org/10.1037/edu0000159>
- Georges, C., Cornu, V., & Schiltz, C. (2021). The importance of visuospatial abilities for verbal number skills in preschool: Adding spatial language to the equation. *Journal of Experimental Child Psychology, 201*. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2020.104971>
- Gibson, L. C., & Maurer, D. (2016). Development of SNARC and distance effects and their relation to mathematical and visuospatial abilities. *Journal of Experimental Child Psychology, 150*, 301–313. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.05.009>
- Gilligan, Katie., Flouri, E., & Farran, E. (2017). The contribution of spatial ability to mathematics achievement in middle childhood. *Journal of Experimental Child Psychology, 163*, 107–125. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.04.016>
- Gilligan-Lee, K., Hodgkiss, A., Thomas, M., Patel, P., & Farran, E. (2021). Aged-based differences in spatial language skills from 6 to 10 years: Relations with spatial and mathematics skills. *Learning and Instruction, 73*, 101417. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101417>

- Gonthier, C. (2021). Charting the Diversity of Strategic Processes in Visuospatial Short-Term Memory. *Perspectives on Psychological Science*, 16(2), 294–318. <https://doi.org/10.1177/1745691620950697>
- Green, E. J., & Schellenberg, S. (2018). Spatial perception: The perspectival aspect of perception. *Philosophy Compass*, 13(2), e12472. <https://doi.org/10.1111/phc3.12472>
- Gunderson, E. A., Ramirez, G., Beilock, S. L., & Levine, S. C. (2012). The relation between spatial skill and early number knowledge: The role of the linear number line. *Developmental Psychology*, 48(5), 1229–1241. <https://doi.org/10.1037/a0027433>
- Gunia, A., Moraresku, S., & Vlček, K. (2021). Brain mechanisms of visuospatial perspective-taking in relation to object mental rotation and the theory of mind. *Behavioural Brain Research*, 407, 113247. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2021.113247>
- Gutiérrez, R., & Mediavilla, A. (2018). Conciencia fonológica y desarrollo evolutivo de la escritura en las primeras edades. *Educación XX1*, 21(1), 395–415. <https://doi.org/10.5944/educXX1.13256>
- Haan, M., & Johnson, M. (2003). *The Cognitive Neuroscience of Development*. Psychology Press.
- Hamaoui, J., Maumy-Bertrand, M., & Segond, H. (2021). Laterality and visuospatial strategies among young children: A novel 3D-2D transcription task. *Laterality*, 26(6), 645–679. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2021.1892715>
- Hammill, D., Voress, J., & Pearson, N. (1995). *FROSTIG - DTVP-2 Developmental Test of Visual Perception*. Manual Moderno.
- Han, Z., Song, L., & Bi, Y. (2012). Cognitive mechanism of writing to dictation of logographic characters. *Applied Psycholinguistics*, 33(3), 517–537. <https://doi.org/10.1017/S0142716411000464>
- Harvey, H. A., & Miller, G. E. (2017). Executive Function Skills, Early Mathematics, and Vocabulary in Head Start Preschool Children. *Early Education and Development*, 28(3), 290–307. <https://doi.org/10.1080/10409289.2016.1218728>
- Hatfield, G. (2001). Perception: History of the Concept. In *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 11202–11205). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/00137-6>
- Hawes, Z., & Ansari, D. (2020). What explains the relationship between spatial and mathematical skills? A review of evidence from brain and behavior. *Psychonomic Bulletin & Review*, 27(3), 465–482. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01694-7>

- Hawes, Z., Moss, J., Caswell, B., & Poliszczuk, D. (2015). Effects of mental rotation training on children's spatial and mathematics performance: A randomized controlled study. *Trends in Neuroscience and Education*, 4(3), 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2015.05.001>
- Hecht, S. A., Torgesen, J. K., Wagner, R. K., & Rashotte, C. A. (2001). The Relations between Phonological Processing Abilities and Emerging Individual Differences in Mathematical Computation Skills: A Longitudinal Study from Second to Fifth Grades. *Journal of Experimental Child Psychology*, 79(2), 192–227. <https://doi.org/10.1006/jecp.2000.2586>
- Hickendorff, M. (2021). The Demands of Simple and Complex Arithmetic Word Problems on Language and Cognitive Resources. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.727761>
- Hodgkiss, A., Gilligan-Lee, K. A., Thomas, M. S. C., Tolmie, A. K., & Farran, E. K. (2021). The developmental trajectories of spatial skills in middle childhood. *British Journal of Developmental Psychology*, 39(4), 566–583. <https://doi.org/10.1111/bjdp.12380>
- Holmes, J., Adams, J. W., & Hamilton, C. J. (2008). The relationship between visuospatial sketchpad capacity and children's mathematical skills. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20(2), 272–289. <https://doi.org/10.1080/09541440701612702>
- Hornburg, C. B., Schmitt, S. A., & Purpura, D. J. (2018). Relations between preschoolers' mathematical language understanding and specific numeracy skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 176, 84–100. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.07.005>
- Hornung, C., Schiltz, C., Brunner, M., & Martin, R. (2014). Predicting first-grade mathematics achievement: the contributions of domain-general cognitive abilities, nonverbal number sense, and early number competence. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00272>
- Hurst, M., Anderson, U., & Cordes, S. (2017). Mapping Among Number Words, Numerals, and Nonsymbolic Quantities in Preschoolers. *Journal of Cognition and Development*, 18(1), 41–62. <https://doi.org/10.1080/15248372.2016.1228653>
- Ickx, G., Bleyenheuft, Y., & Hatem, S. M. (2017). Development of Visuospatial Attention in Typically Developing Children. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02064>
- Jodar, M. (coord.), Redolar, D., Blázquez, J. L., González, B., Muñoz, E., Periañez, J. A., & Viejo, R. (2013). *Neuropsicología* (Editorial UOC, Ed.).

- Johnson, M. (1990). Cortical maturation and the development of visual attention in early infancy. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2, 81–95.
- Khan, K. S., Hong, F., Justice, L. M., Sun, J., & Mills, A. K. (2021). Cross-domain associations between mathematical and narrative abilities in preschool-aged children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 212, 105233. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2021.105233>
- Kooiker, M. J. G., Swarte, R. M. C., Smit, L. S., & Reiss, I. K. M. (2019). Perinatal risk factors for visuospatial attention and processing dysfunctions at 1 year of age in children born between 26 and 32 weeks. *Early Human Development*, 130, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2019.01.015>
- Koponen, T., Eklund, K., Heikkilä, R., Salminen, J., Fuchs, L., Fuchs, D., & Aro, M. (2020). Cognitive Correlates of the Covariance in Reading and Arithmetic Fluency: Importance of Serial Retrieval Fluency. *Child Development*, 91(4), 1063–1080. <https://doi.org/10.1111/cdev.13287>
- Kucian, K., Loenneker, T., Dietrich, T., Dosch, M., Martin, E., & von Aster, M. (2006). Impaired neural networks for approximate calculation in dyscalculic children: a functional MRI study. *Behavioral and Brain Functions*, 2(1), 31. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-2-31>
- Kucian, K., von Aster, M., Loenneker, T., Dietrich, T., & Martin, E. (2008). Development of Neural Networks for Exact and Approximate Calculation: A fMRI Study. *Developmental Neuropsychology*, 33(4), 447–473. <https://doi.org/10.1080/87565640802101474>
- Kulp, M. (1999). Relationship between Visual Motor Integration Skill and Academic Performance in Kindergarten through Third Grade. *Optometry and Vision Science*, 76(3), 159–163. <https://doi.org/10.1097/00006324-199903000-00015>
- Lambert, K., & Spinath, B. (2018). Conservation Abilities, Visuospatial Skills, and Numerosity Processing Speed: Association With Math Achievement and Math Difficulties in Elementary School Children. *Journal of Learning Disabilities*, 51(3). <https://doi.org/10.1177/0022219417690354>
- Landau, B., & Jackendoff, R. (1993). “What” and “where” in spatial language and spatial cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 16(2), 217–238. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00029733>
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability: A Meta-Analysis. *Child Development*, 56(6), 1479. <https://doi.org/10.2307/1130467>

- Lizarralde, D., & Salamanca, G. (2017). Cognición y semántica espacial: bases teóricas para una investigación sobre la localización estática e el rromané hablado en Chile. *Centro de Estudios Interdisciplinarios En Etnolingüística y Antropología Socio-Cultural*, 33(1), 29–52.
- Lopes-Silva, J. B., Moura, R., Júlio-Costa, A., Wood, G., Salles, J. F., & Haase, V. G. (2016). What Is Specific and What Is Shared Between Numbers and Words? *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00022>
- López, M. (2011). Memoria de Trabajo y Aprendizaje: Aportes de la Neuropsicología. *Cuadernos de Neuropsicología / Panamerican Journal of Neuropsychology*, 5(1), 25–47.
- Lowrie, T., Logan, T., & Ramful, A. (2017). Visuospatial training improves elementary students' mathematics performance. *British Journal of Educational Psychology*, 87(2), 170–186. <https://doi.org/10.1111/bjep.12142>
- Macchitella, L., Tosi, G., Romano, D. L., Iaia, M., Vizzi, F., Mammarella, I. C., & Angelelli, P. (2023). Visuo-Spatial Working Memory and Mathematical Skills in Children: A Network Analysis Study. *Behavioral Sciences*, 13(4), 294. <https://doi.org/10.3390/bs13040294>
- Mammarella, I. C., Caviola, S., Giofrè, D., & Szűcs, D. (2018). The underlying structure of visuospatial working memory in children with mathematical learning disability. *British Journal of Developmental Psychology*, 36(2). <https://doi.org/10.1111/bjdp.12202>
- Matute, E., Rosselli, M., Alfredo, A., & Ostrosky, F. (2013). *Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI-2)* (2da ed.). Manual Moderno.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), 889–918. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.5.889>
- Menon, V. (2016). Working memory in children's math learning and its disruption in dyscalculia. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.05.014>
- Milivojevic, B., Hamm, J. P., & Corballis, M. C. (2009). Functional Neuroanatomy of Mental Rotation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(5), 945–959. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21085>
- Miller, D. (2004). Neuropsychological Assessment in Schools. *Encyclopedia of Applied Psychology, Three-Volume Set*, 657–664. <https://doi.org/10.1016/B0-12-657410-3/00782-0>

- Mix, K. S., & Cheng, Y.-L. (2012). The Relation Between Space and Math. *Advances in Child Development and Behavior*, 42, 197–243. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394388-0.00006-X>
- Munnich, E., & Landau, B. (2003). The Effects of Spatial Language on Spatial Representation: Setting Some Boundaries. In D. Gentner & S. Goldin-Meadow (Eds.), *Language in Mind*. Massachusetts Institute of Technology.
- Nicolaou, E., Quach, J., Lum, J., Roberts, G., Spencer-Smith, M., Gathercole, S., Anderson, P. J., Mensah, F. K., & Wake, M. (2018). Changes in verbal and visuospatial working memory from Grade 1 to Grade 3 of primary school: Population longitudinal study. *Child: Care, Health and Development*, 44(3), 392–400. <https://doi.org/10.1111/cch.12543>
- Noël, M.-P. (2009). Counting on working memory when learning to count and to add: A preschool study. *Developmental Psychology*, 45(6), 1630–1643. <https://doi.org/10.1037/a0016224>
- OECD. (2018). *PISA 2018 Results (Volume I) What Students Know and Can Do*.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2016). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy*. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264273856-en>
- Ostrosky-Solis, F., Gómez, M., Matute, E., Rosselli, M., Ardila, A., & Pineda, D. (2012). *NEUROPSI: Atención y Memoria* (P. Corona Duarte, Ed.; 2da ed.). Manual Moderno.
- Ouyang, X., Zhang, X., & Zhang, Q. (2022). Spatial skills and number skills in preschool children: The moderating role of spatial anxiety. *Cognition*, 225, 105165. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2022.105165>
- Piaget, J., Inhelder, B., Langdon, F., & Lunzer, J. (1967). *The child's conception of space* (Vol. 408). The Norton Library.
- Posner, M., & Petersen, S. (1990). The Attention System of the Human Brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13(1), 25–42. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.13.030190.000325>
- Price, G. R., Holloway, I., Räsänen, P., Vesterinen, M., & Ansari, D. (2007). Impaired parietal magnitude processing in developmental dyscalculia. *Current Biology*, 17(24), R1042–R1043. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.10.013>
- Provost, A., & Heathcote, A. (2015). Titrating decision processes in the mental rotation task. *Psychological Review*, 122(4), 735–754. <https://doi.org/10.1037/A0039706>

- Purpura, D. J., Schmitt, S. A., & Ganley, C. M. (2017). Foundations of mathematics and literacy: The role of executive functioning components. *Journal of Experimental Child Psychology*, 153, 15–34. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.08.010>
- Raghubar, K. P., Barnes, M. A., & Hecht, S. A. (2010). Working memory and mathematics: A review of developmental, individual difference, and cognitive approaches. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.10.005>
- Ramachandran, V. (2002). Spatial Cognition. In B. Landau (Ed.), *Encyclopedia of the Human Brain* (Vol. 1, pp. 395–418). Academic Press.
- Reuhkala, M. (2001). Mathematical Skills in Ninth-graders: Relationship with visuo-spatial abilities and working memory. *Educational Psychology*, 21(4), 387–399. <https://doi.org/10.1080/01443410120090786>
- Robertson, S.-A., & Graven, M. (2020). Language as an including or excluding factor in mathematics teaching and learning. *Mathematics Education Research Journal*, 32(1), 77–101. <https://doi.org/10.1007/s13394-019-00302-0>
- Rodán, A., Gimeno, P., Elosúa, M. R., Montoro, P. R., & Contreras, M. J. (2019). Boys and girls gain in spatial, but not in mathematical ability after mental rotation training in primary education. *Learning and Individual Differences*, 70, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2019.01.001>
- Rosselli, M. (2015). Desarrollo Neuropsicológico de las Habilidades Visoespaciales y Visoconstruccionales. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias, Enero-Diciembre*, 15, 175–200. https://revistannn.files.wordpress.com/2015/05/14-rosselli_desarrollo-habilidades-visoespaciales-enero-junio-vol-151-2015.pdf
- Rosselli, M., Matute, E., & Ardila, A. (2010). *Neuropsicología del desarrollo infantil*. Manual Moderno.
- Schuele, C., & Boudreau, D. (2008). Phonological Awareness Intervention: Beyond the Basics. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 39(1), 3–20. [https://doi.org/10.1044/0161-1461\(2008/002\)](https://doi.org/10.1044/0161-1461(2008/002))
- Scott, J., & Günther, K. (2004). Spatial perception and control. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(1), 54–59.
- Searle, J. A., & Hamm, J. P. (2017). Mental rotation: an examination of assumptions. *WIREs Cognitive Science*, 8(6). <https://doi.org/10.1002/wcs.1443>
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science (New York, N.Y.)*, 171(3972), 701–703. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.171.3972.701>

- Slot, E. M., van Viersen, S., de Bree, E. H., & Kroesbergen, E. H. (2016). Shared and Unique Risk Factors Underlying Mathematical Disability and Reading and Spelling Disability. *Frontiers in Psychology, 7*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00803>
- Soltanlou, M., Artemenko, C., Dresler, T., Fallgatter, A. J., Ehlis, A.-C., & Nuerk, H.-C. (2019). Math Anxiety in Combination With Low Visuospatial Memory Impairs Math Learning in Children. *Frontiers in Psychology, 10*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00089>
- Stahl, S., & Murray, B. (1994). Defining phonological awareness and its relationship to early reading. *Journal of Educational Psychology, 86*(2), 221–234. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.86.2.221>
- Starkey, G. S., & McCandliss, B. D. (2021). A probabilistic approach for quantifying children's subitizing span. *Journal of Experimental Child Psychology, 207*, 105118. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2021.105118>
- Stokes, S. F., Klee, T., Kornisch, M., & Furlong, L. (2017). Visuospatial and Verbal Short-Term Memory Correlates of Vocabulary Ability in Preschool Children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 60*(8), 2249–2258. https://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-L-16-0285
- Suntheimer, N. M., & Wolf, S. (2020). Cumulative risk, teacher-child closeness, executive function and early academic skills in kindergarten children. *Journal of School Psychology, 78*, 23–37. <https://doi.org/10.1016/j.jsp.2019.11.005>
- Szűcs, D., Devine, A., Soltesz, F., Nobes, A., & Gabriel, F. (2014). Cognitive components of a mathematical processing network in 9-year-old children. *Developmental Science, 17*(4), 506–524. <https://doi.org/10.1111/desc.12144>
- Teller, D. Y. (1979). The forced-choice preferential looking procedure: A psychophysical technique for use with human infants. *Infant Behavior and Development, 2*, 135–153. [https://doi.org/10.1016/S0163-6383\(79\)80016-8](https://doi.org/10.1016/S0163-6383(79)80016-8)
- Thompson, J. M., Nuerk, H.-C., Moeller, K., & Cohen Kadosh, R. (2013). The link between mental rotation ability and basic numerical representations. *Acta Psychologica, 144*(2), 324–331. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.05.009>
- Tovée, M. (2013). Visual Integration. In *The Speed of Thought* (pp. 125–140). Springer-Verlag Berlin .
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology, 12*(1), 97–136. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(80\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(80)90005-5)
- UNESCO. (2021). *Estudio Regional Comparativo y Explicativo (ERCE 2019)* .

- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, *139*(2), 352–402. <https://doi.org/10.1037/a0028446>
- Valarmathi, A., Suresh, K., Venkatesh, L., & T, S. (2022). Visual-perceptual function of children using the developmental test of visual perception-3. *Clinical and Experimental Optometry*, *105*(1), 32–36. <https://doi.org/10.1080/08164622.2021.1878823>
- Van de Weijer-Bergsma, E., Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. H. (2015). Verbal and visual-spatial working memory and mathematical ability in different domains throughout primary school. *Memory & Cognition*, *43*(3), 367–378. <https://doi.org/10.3758/s13421-014-0480-4>
- Venneri, A., Cornoldi, C., & Garuti, M. (2003). Arithmetic Difficulties in Children With Visuospatial Learning Disability (VLD). *Child Neuropsychology*, *9*(3), 175–183. <https://doi.org/10.1076/chin.9.3.175.16454>
- Verdine, B., Michnick, R., Hirsh-Pasek, K., & Newcombe, N. (2017). Links Between Spatial and Mathematical Skills Across the Preschool Years. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, *82*(1), 1–6. <https://doi.org/10.1111/MONO.12263>
- von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *49*(11), 868–873. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00868.x>
- Vuontela, V., Steenari, M.-R., Carlson, S., Koivisto, J., Fjällberg, M., & Aronen, E. T. (2003). Audiospatial and Visuospatial Working Memory in 6–13 Year Old School Children. *Learning & Memory*, *10*(1), 74–81. <https://doi.org/10.1101/lm.53503>
- Wang, Q., Liu, M., Shi, W., & Kang, J. (2018). Mechanism of the SNARC Effect in Numerical Magnitude, Time Sequence, and Spatial Sequence Tasks: Involvement of LTM and WM. *Frontiers in Psychology*, *9*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01558>
- Xu, C., & LeFevre, J.-A. (2016). Training young children on sequential relations among numbers and spatial decomposition: Differential transfer to number line and mental transformation tasks. *Developmental Psychology*, *52*(6), 854–866. <https://doi.org/10.1037/dev0000124>
- Yáñez, G., & Prieto, D. (2013). *BANETA Bateria Neuropsicológica para la Evaluación de los Trastornos d – Librería FONPAL* (1st ed.). Manual Moderno.
- Young, C. J., Levine, S. C., & Mix, K. S. (2018). The connection between spatial and mathematical ability across development. *Frontiers in Psychology*, *9*(JUN), 358219. <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2018.00755/BIBTEX>

Zhang, X. (2016). Linking language, visual-spatial, and executive function skills to number competence in very young Chinese children. *Quarter*, 36(3).

Anexos

Anexo 1



Consentimiento Informado



Consentimiento Informado para Padres o Tutores de niños escolares de 8 a 10 años.

Psic. Ariana Aldaz López
Investigador Principal

Estudiante de Maestría en Psicología del Programa de Maestría y Doctorado en Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México

Investigadores participantes:

Dr. Mario Arturo Rodríguez Camacho (Tutor Principal)

Título del proyecto: Relación entre la visoespacialidad, la memoria de trabajo y la conciencia fonológica con las habilidades matemáticas en niños escolares de 8 a 10 años.

Este Consentimiento Informado tiene dos partes:

- Información (Proporciona información sobre el estudio)**
- Formulario de Consentimiento (para firmar si está de acuerdo en que su paciente participe)**

El consentimiento informado tiene el objetivo de informarle por escrito el procedimiento y los beneficios que puede obtener si participa en la investigación.

PARTE I. Información

Introducción

El dominio de las matemáticas es un requisito indispensable para desenvolvernó en la vida cotidiana y este se obtiene principalmente durante la educación primaria. Como sabemos, algunos niños que cursan su educación primaria tienen dificultades para aprender y dominar la aritmética. El estudio al que estamos invitando a participar a su hija (o), tiene por objetivo conocer cómo es que influyen las habilidades visuales y de percepción del espacio, las habilidades de memoria (para palabras y figuras) y las habilidades para percibir los sonidos del lenguaje en los resultados que los niños normales tienen en pruebas de matemáticas. Queremos saber cuánto influyen las habilidades visuales, de memoria y de lenguaje en el aprendizaje de las matemáticas, para tener evidencia que permita en el futuro, mejorar la enseñanza de las matemáticas en nuestras escuelas, permitiendo un mejor aprendizaje y mayor rendimiento de los niños en esta materia.

Selección de participantes

Estamos invitando a niños de 8 a 10 años que asistan regularmente a la escuela primaria, y que no tengan problemas de aprendizaje, a participar en una evaluación de las habilidades matemáticas, habilidades visuales y de percepción del espacio, habilidades de memoria (para palabras y figuras) y habilidades para percibir los sonidos del lenguaje.

Se requiere que los niños no estén tomando medicamentos que modifiquen el funcionamiento del cerebro, que no tengan diagnóstico de enfermedades neurológicas o psiquiátricas (epilepsia,

traumatismos craneales, depresión, etc.) ni dificultades en el aprendizaje (reportado por padres, tutores /y/o maestros).

Participación Voluntaria

La participación de su hijo/a en esta investigación es totalmente voluntaria. Usted puede elegir si desea que participe o no. La evaluación y entrega de sus resultados se harán de forma gratuita. Usted puede cambiar de idea y dejar de participar en cualquier momento, aún incluso si previamente había aceptado.

Duración

La participación de su hijo/a en la investigación será de aproximadamente cuatro sesiones de una hora y cuarto (75 min.) aproximadamente, con un descanso intermedio de 5-10 minutos en cada sesión, durante las cuales se realizarán las tareas de las habilidades ya mencionadas.

El estudio en su totalidad durará alrededor de seis meses, pero el niño solo participará en las sesiones que se mencionaron previamente.

Efectos Secundarios

No existen efectos secundarios en este estudio

Riesgos

No hay riesgos en este estudio para la salud de su paciente, ya que las tareas a realizar ocupan materiales simples y familiares para los niños (lápiz, cuaderno, papel, cubos de madera, etc.).

Molestias

El presente estudio no genera ningún tipo de molestias físicas o emocionales a los participantes.

Beneficios

Beneficio Individual: Usted recibirá los resultados de la evaluación sin costo alguno.

Beneficios Sociales: Usted recibirá orientación sobre cómo apoyar el desarrollo de su hijo, de acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación.

Incentivo

No se entregará ningún incentivo monetario, sin embargo, usted podrá obtener los resultados de la evaluación de manera totalmente gratuita.

Confidencialidad

Todos los datos personales y resultados serán tratados con un folio de identificación para mantener la confidencialidad de los participantes. Sin embargo, los resultados grupales pueden ser publicados en revistas, congresos y otros eventos de divulgación científica, siempre manteniendo en secreto el nombre del paciente y familiares. Los investigadores principales resguardarán los expedientes durante 6 años en un archivero en la Unidad de Investigación Interdisciplinaria en Ciencias de la Salud (UIICSE) de la FES-Iztacala. Con los datos obtenidos se elaborará una base de datos que será resguardada por el investigador principal en un disco externo durante 6 años (luego será borrada la información).

Compartiendo Resultados

Como se informó anteriormente, los resultados primero serán compartidos con usted, y después se publicarán en eventos de divulgación científica, respetando siempre la confidencialidad del participante y sus familiares.

Derecho a negarse o retirarse

Le reiteramos que su hijo/a no tiene por qué participar en este estudio si usted no lo desea, en caso de no hacerlo, no afectará en los derechos que el/ella tiene en esta institución. En caso de aceptar usted podrá obtener los beneficios anteriormente citados sin costo alguno.

A Quién Contactar:

En caso de tener alguna duda o pregunta puede hacerlas en este momento o en cualquier otro. Puede contactar a cualquiera de las siguientes personas:

1)Psic. Ariana Aldaz López.

Estudiante de la Maestría en Psicología

Facultad De Estudios Superiores Iztacala

Teléfono +593 995031672. Correo: npsic.ariana@comunidad.unam.mx

2)Dr. Mario Arturo Rodríguez Camacho

Profesor Titular C T.C. UNAM, Facultad de Estudios Superiores Iztacala

Teléfono: +52 56231333 #39726 Correo: marcizta@gmail.com

3)M. C. Esp. Federico Sandoval Olvera, presidente general del Comité de Ética:

etica.iztacala@gmail.com

**PARTE II: Formulario de Consentimiento
 CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PADRES O TUTORES LEGALES DE MENORES DE
 EDAD**

Folio _____

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla de Baz, Edo. de Mex., a _____ / _____ / _____

Carta de Consentimiento Informado

“Relación entre la visoespacialidad, la memoria de trabajo y la conciencia fonológica con las habilidades matemáticas en niños de 8 a 10 años”.

Investigador principal: **Psic. Ariana Aldaz López**

Investigadores participantes:

Tutor principal: **Dr. Mario Arturo Rodríguez Camacho**

Por medio de la presente, yo _____ doy mi consentimiento para que el/la menor: _____ participe en una evaluación de habilidades relacionadas con las matemáticas, habilidades visuales y de percepción del espacio, habilidades de memoria (para palabras y figuras) y las habilidades para percibir los sonidos del lenguaje. Se me ha explicado que esta evaluación es para conocer la ejecución de los niños en tareas matemáticas.

Estoy de acuerdo en las siguientes condiciones de la evaluación:

- Asistir puntualmente a las sesiones y en caso de no asistir avisaré al evaluador con anticipación.
- Entiendo que toda la información que se proporcione será de carácter estrictamente confidencial y será utilizada únicamente por los investigadores de este estudio.
- Estoy de acuerdo en que la información recabada en el expediente puede ser utilizada para fines científicos como, investigación, docencia y publicación y si es así, no representará ningún riesgo para nosotros y será respetada la privacidad y anonimato de la información. Además, se tendrá que pedir mi autorización adicional en caso de grabar, fotografiar las sesiones o realizar alguna otra actividad no descrita aquí.
- Estoy de acuerdo en que tenemos que respetar a los evaluadores, el material y los instrumentos de trabajo.
- Entiendo que nuestra participación en este proceso es absolutamente voluntaria y podemos retirarnos en cualquier momento sin que nadie se moleste.

Por lo anterior y una vez conocidas las condiciones de la evaluación en la que participaremos, doy mi consentimiento para que el menor de edad bajo mi cargo participe en esta evaluación y nos comprometemos a cumplir con los lineamientos antes señalados.

Usted recibirá una copia de este consentimiento.

Sí otorgo mi consentimiento _____

No otorgo mi consentimiento _____

Nombre del padre/tutor:	Nombre de testigo:
Fecha:	Firma:
Firma:	Relación con el participante
Nombre del evaluador: Psic. Ariana Aldaz López	
Fecha:	
Firma:	

Si tiene preguntas acerca de sus derechos como participante favor de contactar:

- Psic. Ariana Aldaz López Teléfono: +593 995031672. Correo: npsic.ariana@comunidad.unam.mx
- M. C. Esp. Federico Sandoval Olvera, presidente general del Comité de Ética: etica.iztacala@gmail.com

Anexo 2

Regresiones Jerárquicas

En la tabla 8, se expresan los resultados de la regresión jerárquica para *dictado de números*; en el Modelo 1, la única variable predictora incluida es *Percepción Espacial*. El coeficiente de regresión (β) para esta variable es 0,51. El R cuadrado ajustado es de 0,24, lo que indica que la variable predictora explica el 24% de la varianza en el dictado de números. El cambio en el valor F es de 11,723, lo que significa que la inclusión de esta variable produce un cambio significativo en la capacidad predictiva del modelo.

En el Modelo 2, se agrega una segunda variable predictora, *Integración Visual*. Los coeficientes de regresión (β) para ambas variables predictoras son 0,45 y 0,42 respectivamente. El R cuadrado ajustado aumenta a 0,40, lo que indica que la inclusión de la segunda variable predictora explica el 40% de la varianza en el dictado de números. El cambio en el valor F es de 9,546, lo que indica que esta inclusión produce un cambio significativo en la capacidad predictiva del modelo.

En el Modelo 3, se agrega una tercera variable predictora, *Deletreo*. Los coeficientes de regresión (β) para todas las variables predictoras son 0,38, 0,42 y 0,26 respectivamente. El R cuadrado ajustado aumenta a 0,44, lo que indica que la inclusión de la tercera variable predictora explica el 44% de la varianza en el dictado de números. El cambio en el valor F es de 3,757, lo que indica que esta inclusión produce un cambio no significativo en la capacidad predictiva del modelo.

En el Modelo 4, se agrega una cuarta variable predictora, *Lenguaje Espacial*. Los coeficientes de regresión (β) para todas las variables predictoras son 0,35, 0,43, 0,15 y 0,25 respectivamente. El R cuadrado ajustado se mantiene en 0,49, lo que indica que la inclusión de la cuarta variable predictora no produce un cambio adicional en la capacidad predictiva del modelo.

El análisis resalta la importancia de las variables *Percepción Espacial* e *Integración Visual* al predecir el dictado de números. Estas variables contribuyen de manera significativa a la explicación de la varianza en esta habilidad. Sin embargo, la adición de *Deletreo* y *Lenguaje Espacial* en el cuarto modelo no aporta un aumento adicional en la capacidad predictiva del modelo, ya que el R cuadrado ajustado se mantiene constante. Estos resultados sugieren que las variables *Percepción Espacial* e *Integración Visual* son factores importantes en la predicción del dictado de números, mientras que la variable *Deletreo* y *Lenguaje Espacial* parece tener un impacto limitado en este contexto específico.

Tabla 8.Análisis de regresión lineal múltiple jerárquica para *dictado de números*.

	B	R ² Ajustada	Cambio en F	Sig. Cambio en F	FIV
Modelo 1		,24	11,723	,002	
Percepción Espacial	,51				1,00
Modelo 2		,40	9,546	,004	
Percepción Espacial	,45				1,02
Integración Visual	,42				1,02
Modelo 3		,44	3,757	,062	
Percepción Espacial	,38				1,09
Integración Visual	,42				1,02
Deletreo	,26				1,06
Modelo 4		,49	3,031	,092	
Percepción Espacial	,35				1,11
Integración Visual	,43				1,02
Deletreo	,15				1,30
Lenguaje Espacial	,25				1,29

En la tabla 9, se expresan los resultados de la regresión jerárquica para *denominación escrita de números*; en el Modelo 1, la única variable predictora incluida es *Lenguaje Espacial*. El coeficiente de regresión (β) para esta variable es 0,43. El R cuadrado ajustado es de 0,15, lo que indica que la variable predictora explica el 15% de la varianza en la denominación escrita de números. El cambio en el valor F es de 5,157, lo que significa que la inclusión de esta variable produce un cambio significativo en la capacidad predictiva del modelo.

En el Modelo 2, se agrega una segunda variable predictora, *Deletreo*. Los coeficientes de regresión (β) para ambas variables predictoras son 0,25 y 0,38 respectivamente. El R cuadrado ajustado sube a 0,25 lo que indica que la inclusión de la segunda variable predictora produce un cambio adicional en la capacidad predictiva del modelo. El cambio en el valor F es de 5,157, lo que indica que esta inclusión produce un cambio significativo en la capacidad predictiva del modelo.

En el Modelo 3, se agrega una tercera variable predictora, *Percepción Espacial*. Los coeficientes de regresión (β) para todas las variables predictoras son 0,22, 0,34 y 0,24 respectivamente. El R cuadrado ajustado aumenta a 0,29, lo que indica que la inclusión de la tercera variable predictora explica el 29% de la varianza en la denominación escrita de

números. El cambio en el valor F indica que esta inclusión no produce un cambio significativo en la capacidad predictiva del modelo.

El análisis resalta la influencia de las variables *Lenguaje Espacial* y *Deletreo* en la predicción de la denominación escrita de números. Estas variables parecen contribuir significativamente a la capacidad del modelo para explicar la varianza en esta habilidad. Aunque la inclusión de *Percepción Espacial* en el tercer modelo incrementa el R cuadrado ajustado, el cambio en el valor F sugiere que esta adición no produce un cambio significativo en la capacidad predictiva del modelo. Estos resultados sugieren que *Lenguaje Espacial* y *Deletreo* son factores importantes al considerar la predicción de la denominación escrita de números.

Tabla 9.

Análisis de regresión lineal múltiple jerárquica para *denominación escrita de números*.

	β	R ² Ajustada	Cambio en F	Sig. Cambio en F	FIV
Modelo 1		,15	7,380	,010	
Lenguaje Espacial	,43				1,00
Modelo 2		,25	5,157	,030	
Lenguaje Espacial	,25				1,26
Deletreo	,38				1,26
Modelo 3		,29	2,478	,126	
Lenguaje Espacial	,22				1,29
Deletreo	,34				1,30
Percepción Espacial	,24				1,08

En la tabla 10, se expresan los resultados de la regresión jerárquica para *series numéricas*; en el Modelo 1, la única variable predictora incluida es *Percepción Espacial*. El coeficiente de regresión (β) para esta variable es 0,60. El R cuadrado ajustado es de 0,11, lo que indica que la variable predictora explica el 11% de la varianza en la habilidad de resolución de series numéricas. El cambio en el valor F es de 18,988, lo que significa que la inclusión de esta variable produce un cambio significativo en la capacidad predictiva del modelo.

En el Modelo 2, se agrega una segunda variable predictora, *Deletreo*. Los coeficientes de regresión (β) para ambas variables predictoras son 0,58 y 0,11

respectivamente. El R cuadrado ajustado aumenta a 0,23, lo que indica que la inclusión de la segunda variable predictora explica el 23% de la varianza en la habilidad de resolución de series numéricas. El cambio en el valor F es de 0,575, lo que indica que esta inclusión no produce un cambio significativo en la capacidad predictiva del modelo.

El análisis revela la influencia significativa de la variable *Percepción Espacial* en la predicción de la prueba de series numéricas. La inclusión de esta variable en el primer modelo resulta en un aumento significativo en la capacidad predictiva, con un R cuadrado ajustado del 11%. Sin embargo, la adición de *Deletreo* en el segundo modelo no produce un cambio significativo en el valor F ni en la capacidad predictiva, a pesar de que el R cuadrado ajustado aumenta al 23%. Esto sugiere que, aunque *Percepción Espacial* es un factor importante en la resolución de series numéricas, la inclusión de *Deletreo* no contribuye significativamente a la capacidad del modelo para predecir esta habilidad.

Tabla 10.

Análisis de regresión lineal múltiple jerárquica para *series numéricas*.

	β	R ² Ajustada	Cambio en F	Sig. Cambio en F	FIV
Modelo 1					
Percepción Espacial	,60	,11	18,988	,000	1,07
Modelo 2					
Percepción Espacial	,58	,23	,575	,454	1,23
Deletreo	,11				1,23

En la tabla 11, se expresan los resultados de la regresión jerárquica para *comparación de números*; en el Modelo 1, la única variable predictora incluida es *Percepción Espacial*. El coeficiente de regresión (β) para esta variable es 0,63. El R cuadrado ajustado es de 0,38, lo que indica que la variable predictora explica el 38% de la varianza en la variable dependiente. El cambio en el valor F indica que la inclusión de esta variable produce un cambio significativo en la capacidad predictiva del modelo.

En el Modelo 2, se agrega una segunda variable predictora, *Lenguaje Espacial*. Los coeficientes de regresión (β) para ambas variables predictoras son 0,60 y 0,12 respectivamente. El R cuadrado ajustado disminuye ligeramente a 0,37, lo que indica que la inclusión de la segunda variable predictora reduce la capacidad explicativa del modelo

hasta el 77%. El cambio en el valor F es de 0,770 lo que indica que esta inclusión no produce un cambio significativo en la capacidad predictiva del modelo.

En el Modelo 3, se agrega una tercera variable predictora, *MT Visoespacial*. El cambio en el valor F indica que esta inclusión no produce un cambio significativo en la capacidad predictiva del modelo.

En el Modelo 4, se agrega una cuarta variable predictora, *Deletreo*. El R cuadrado ajustado disminuye en un 4,4%, lo que indica que la inclusión de la cuarta variable predictora no incrementa la capacidad explicativa del modelo.

El análisis resalta la influencia significativa de la variable *Percepción Espacial* en la predicción de la habilidad de comparación de números. Su inclusión en el primer modelo resulta en un aumento significativo en la capacidad predictiva, con un R cuadrado ajustado del 38%. Sin embargo, la adición de *Lenguaje Espacial* en el segundo modelo reduce la capacidad explicativa del modelo y no tiene un impacto significativo en la capacidad predictiva. Las inclusiones de *MT Visoespacial* y *Deletreo* en los modelos posteriores tampoco tienen un impacto significativo en la capacidad predictiva del modelo. En general, esto sugiere que la *Percepción Espacial* es el factor más relevante en la habilidad de comparación de números.

Tabla 11.

Análisis de regresión lineal múltiple jerárquica para comparación de números.

	β	R ² Ajustada	Cambio en F	Sig. Cambio en F	FIV
Modelo 1		,38	21,642	,000	
Percepción Espacial	,63				1,00
Modelo 2		,37	,770	,387	
Percepción Espacial	,60				1,05
Lenguaje Espacial	,12				1,05
Modelo 3		,37	,936	,341	
Percepción Espacial	,59				1,08
Lenguaje Espacial	,06				1,29
Deletreo	,15				1,30
Modelo 4		,35	,008	,930	
Percepción Espacial	,57				1,31
Lenguaje Espacial	,06				1,30
Deletreo	,15				1,32
MT Visoespacial	,01				1,25

La tabla 12 muestra los resultados de un análisis de regresión lineal múltiple jerárquica para predecir la variable dependiente de *operaciones aritméticas orales*. En el Modelo 1, la única variable predictora incluida es *Percepción Espacial*. El coeficiente de regresión (β) para esta variable es 0,57. El R cuadrado ajustado es de 0,31, lo que indica que la variable predictora explica el 31% de la varianza en la variable dependiente. El cambio en el valor F indica que la inclusión de esta variable produce un cambio significativo en la capacidad predictiva del modelo. El valor FIV (Factor de Inflación de la Varianza) es de 1, lo que sugiere que no hay problemas de multicolinealidad en el modelo.

En resumen, el coeficiente de regresión para la variable *Percepción Espacial* es 0,57, lo que indica una relación positiva y significativa entre esta variable y las operaciones aritméticas orales. Sin embargo, la variable predictora solo explica el 31% de la varianza en la variable dependiente. No se incluyeron más variables en el análisis, por lo que no se pueden hacer comparaciones adicionales.

Tabla 12.

Análisis de regresión lineal múltiple jerárquica para *operaciones aritméticas orales*.

	β	R ² Ajustada	Cambio en F	Sig. Cambio en F	FIV
Modelo 1		,31	16,221	,000	
Percepción Espacial	,57				1,00

La tabla 13 muestra los resultados de un análisis de regresión lineal múltiple jerárquica para predecir la variable dependiente de *operaciones aritméticas impresas*.

En el Modelo 1, la única variable predictora incluida es *Percepción Espacial*. El coeficiente de regresión (β) para esta variable es 0,48. El R cuadrado ajustado es de 0,21, lo que indica que la variable predictora explica el 21% de la varianza en la variable dependiente. El cambio en el valor F indica que la inclusión de esta variable produce un cambio significativo en la capacidad predictiva del modelo.

En el Modelo 2, se agrega la variable *Lenguaje Espacial*. El coeficiente de regresión es de 0,30. El R cuadrado ajustado se incrementa a 0,28, lo que indica que el modelo ahora explica el 28% de la varianza en la variable dependiente. El cambio en el valor F es de 0,051, lo que indica que la inclusión de *Lenguaje Espacial* produce un cambio no significativo en la capacidad predictiva del modelo.

En el Modelo 3, se agrega la variable *MT Visoespacial* además de las variables anteriores. El coeficiente de regresión para *Percepción Espacial* es de 0,33, para *Lenguaje Espacial* es de 0,31 y para *MT Visoespacial* es de 0,20. El R cuadrado ajustado incrementa a 0,29, lo que indica que el modelo ahora explica el 29% de la varianza en la variable dependiente. El cambio en el valor indica que la inclusión de *MT Visoespacial* produce un cambio no significativo en la capacidad predictiva del modelo.

En resumen, el análisis muestra que en la predicción de la variable dependiente de operaciones aritméticas impresas, las variables *Percepción Espacial* y *Lenguaje Espacial* tienen cierta influencia en la explicación de la varianza, aunque en el caso de *Lenguaje Espacial* su contribución no es significativa en términos de cambio en el valor F. La adición de la variable *MT Visoespacial* en el tercer modelo no parece generar un cambio estadísticamente significativo en la capacidad predictiva del modelo, a pesar de que aumenta ligeramente el R cuadrado ajustado. En general, estos resultados sugieren que considerar múltiples variables predictoras puede mejorar la capacidad de predecir operaciones aritméticas impresas, pero la influencia específica de cada variable puede variar en términos de significancia estadística. No se observan problemas de multicolinealidad en ninguno de los modelos.

Tabla 13.

Análisis de regresión lineal múltiple jerárquica para *operaciones aritméticas impresas*.

	β	R ² Ajustada	Cambio en F	Sig. Cambio en F	FIV
Modelo 1		,21	10,066	,003	
Percepción Espacial	,48				1.00
Modelo 2		,28	4,113	,051	
Percepción Espacial	,41				1.01
Lenguaje Espacial	,30				1.02
Modelo 3		,29	1,482	,233	
Percepción Espacial	,33				1.23
Lenguaje Espacial	,31				1.21
MT Visoespacial	,20				1.30

La tabla 14 muestra los resultados de un análisis de regresión lineal múltiple jerárquica para predecir la variable dependiente de *operaciones aritméticas dictadas*.

En el Modelo 1, la única variable predictorora incluida es *Percepción Espacial*. El coeficiente de regresión (β) para esta variable es 0,68. El R cuadrado ajustado es de 0,44, lo que indica que la variable predictorora explica el 44% de la varianza en la variable dependiente.

En el Modelo 2, se agrega la variable *Lenguaje Espacial* además de *Percepción Espacial*. El coeficiente de regresión para *Percepción Espacial* es de 0,64 y para *Deletreo* es de 0,22. El R cuadrado ajustado se incrementa a 0,47, lo que indica que el modelo ahora explica el 45% de la varianza en la variable dependiente; sin embargo, el cambio en F no es significativo.

En el Modelo 3, se agrega la variable *MT Visoespacial* además de las variables anteriores. El coeficiente de regresión para *Percepción Espacial* es de 0,54, para *Deletreo* es de 0,20 y para *MT Visoespacial* es de 0,19. El R cuadrado ajustado se incrementa a 0,49, lo que indica que el modelo ahora explica el 49% de la varianza en la variable dependiente; sin embargo, el cambio en F no es significativo.

En el Modelo 4, se agrega la variable *Lenguaje Espacial* además de las variables anteriores. El R cuadrado ajustado disminuyó ligeramente a 0,48; lo cual indica que la adición de la variable *Lenguaje Espacial* disminuye el valor predictivo del modelo.

Los resultados muestran que, a medida que se agregan más variables predictororas, el R cuadrado ajustado tiende a aumentar en general, lo que indica un incremento en la varianza explicada. Sin embargo, es importante observar que estos aumentos no siempre son estadísticamente significativos, como se evidencia en los cambios no significativos en el valor F en los modelos 2 y 3. Además, la adición de ciertas variables podría no mejorar la capacidad predictiva, como se ve en el Modelo 4.

Tabla 14.

Análisis de regresión lineal múltiple jerárquica para *operaciones aritméticas dictadas*.

	β	R ² Ajustada	Cambio en F	Sig. Cambio en F	FIV
Modelo 1		,44	27,649	,000	
Percepción Espacial	,68				1,00
Modelo 2		,47	2,892	,099	
Percepción Espacial	,62				1,06
Deletreo	,22				1,06
Modelo 3		,49	1,950	,172	

Percepción Espacial	,54			1,27
Deletreo	,20			1,07
MT Visoespacial	,19			1,24
Modelo 4		,48	0,678	,417
Percepción Espacial	,52			1,31
Deletreo	,15			1,32
MT Visoespacial	,20			1,25
Lenguaje Espacial	,12			1,30

La tabla 15 muestra los resultados de un análisis de regresión lineal múltiple jerárquica para predecir la variable dependiente *problemas aritméticos*. En el Modelo 1, la única variable predictora incluida es *Percepción Espacial*. El coeficiente de regresión (β) para esta variable es 0,45. El R cuadrado ajustado es de 0,18 lo que indica que la variable predictora explica el 18% de la varianza en la variable dependiente.

En el Modelo 2, se agrega la variable *Lenguaje Espacial* además de *Percepción Espacial*. El coeficiente de regresión para *Percepción Espacial* es de 0,38 y para *Lenguaje Espacial* es de 0,30. El R cuadrado ajustado se incrementa a 0,24, lo que indica que el modelo ahora explica el 24% de la varianza en la variable dependiente; no obstante el cambio en F es no significativo.

En resumen, los resultados indican que *Percepción Espacial* tiene cierto poder predictivo en relación con la variable dependiente *problemas aritméticos*, y la inclusión de *Lenguaje Espacial* mejora ligeramente la capacidad explicativa del modelo, pero sin alcanzar significancia estadística en términos del cambio en el valor F.

Tabla 15.

Análisis de regresión lineal múltiple jerárquica para *problemas aritméticos*.

	β	R ² Ajustada	Cambio en F	Sig. Cambio en F	FIV
Modelo 1		,18	8,240	,007	
Percepción Espacial	,45				1.00
Modelo 2		,24	3,793	,060	
Percepción Espacial	,38				1.20
Lenguaje Espacial	,30				1.20