



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

**RELACIÓN ENTRE EL
DESEMPEÑO EN TAREAS DE
DISCRIMINACIÓN NUMÉRICA,
TEMPORAL Y ESPACIAL EN
DIFERENTES GRUPOS DE EDAD.
TESIS**

Que para obtener el título de
Licenciatura en Psicología

P R E S E N T A

Díaz López Juan Manuel

DIRECTORA DE TESIS

Patricia Romero Sánchez

REVISOR DE TESIS

Oscar Zamora Arévalo

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., septiembre 2022





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.

Este trabajo está dedicado a la memoria del Dr. Julio Espinosa, mi mentor y amigo.

Gracias por adentrarme al mundo de la investigación y motivarme a ser un mejor profesional día con día.

Ciudad de México 2022

A mis padres, Guadalupe Aurelia López Hernández y Fernando Díaz González, por todo el amor y cariño con el que me han criado. Por ser mis amigos, estado ahí cuando más los necesito. Definitamente soy afortunado de que estén en mí vida, los amo.

A mi hermano, Luis Fernando Díaz López, por ser mi mejor amigo y mi modelo a seguir, terriblemente terrible.

A la Dra. Patricia Romero, gracias por toda la paciencia y apoyo brindado en estos últimos años y sobre todo por no dejarme solo después de tantas tragedias, lo logramos.

A mi colega, Marla Andrea Rangel Cantero, por ser la mejor compañera de equipo y amiga, lo logramos.

Índice

Resumen.....	1
Abstract.....	2
Matemáticas en México	3
Habilidades numéricas no simbólicas	4
Modelos de explicación	5
Modelo del Sentido Numérico	6
Modelo de dos Sistemas Centrales	7
Modelo del sistema numérico aproximado (Approximate number system, ANS)	9
El Sistema General de Magnitudes	11
Implicaciones del SGM.....	13
Estudios sobre el SGM.....	14
Activación neuronal.....	14
Evidencia conductual	14
Teorías sobre la diferenciación del SGM.....	17
Evidencia empírica sobre la diferenciación del SGM.....	18
Método:.....	23
Participantes:.....	23
Materiales:	24
Tareas:.....	24
Discriminación numérica:.....	25
Discriminación espacial:.....	25
Discriminación Temporal:	25
Agudeza visual:.....	26
Procedimiento:	26
Análisis de datos	28
Resultados:.....	29
Desempeño por tarea y grupo	29
Efecto de las razones por tipo de tarea.....	33

Correlación entre las tareas para cada grupo	34
Discusión	38
Efecto de la edad.....	38
Efecto de la razón/dificultad de las tareas.....	39
Correlación en la estimación de magnitudes en las diferentes tareas	41
Contraste entre los grados de correlación	43
Referencias.....	46

Resumen

Las habilidades numéricas no simbólicas son relevantes para un correcto aprendizaje de las matemáticas formales, resaltando en años recientes el Sistema General de Magnitudes (SGM) como un modelo de explicación, que propone un sistema único para el procesamiento numérico, espacial y temporal (Hamamouche y Cordes, 2019). Se considera que la función del sistema único de procesamiento se desarrolla como otros procesos cognoscitivos, razón por la que algunos estudios han resaltado el desarrollo como un factor de variación de los resultados en los estudios indicando que el sistema cambia respecto a la edad de los participantes (Agrillo, et al., 2013; Kucian et al., 2018), sin embargo, las investigaciones no han sido concluyentes al respecto. A partir de esto, en la presente tesis se analiza la correlación entre tareas de discriminación numérica, espacial y temporal en diferentes grupos de edad, con el objetivo de evidenciar si estas correlaciones difieren en función del grupo. Se implementa un diseño transversal, correlacional, para evaluar el grado de asociación entre los desempeños en tareas de discriminación numérica, temporal y espacial para tres grupos de edad: 34 niños de primer grado de primaria (6 años), 32 niños de tercer grado de primaria (8 años) y 26 adultos jóvenes universitarios (18 y 21 años). Los resultados muestran correlaciones lineales consistentes entre los desempeños de las 3 tareas para los grupos de educación primaria, en contraste, en el grupo de universitarios la relación entre los desempeños de las tareas numérica y temporal no fue significativa. Los hallazgos se discuten en términos de la pertinencia del SGM en población infantil y del modelo de divergencia propuesto por Newcombe (2014). Por último, se propone, para futuras investigaciones, continuar con la presente línea, empleando preferentemente los diseños longitudinales, para identificar las diferencias por efecto del desarrollo, y experimentales, para evidenciar como el entrenamiento en una de las habilidades repercute en el resto.

Palabras clave: Habilidades numéricas no simbólicas, Sentido numérico, Sistema General de Magnitudes (SGM), Estimación de magnitudes, Desarrollo numérico

Abstract

Non-symbolic numerical skills are relevant for a correct learning of formal mathematics, highlighting in recent years the General Magnitude System (GMS) as an explanation model, which proposes a unique system for numerical, spatial and temporal processing (Hamamouche and Strings, 2019). It is considered that the function of the single processing system develops like other cognitive processes, which is why some studies have highlighted development as a factor in the variation of the results in the studies, indicating that the system changes with respect to the age of the participants. (Agrillo, et al., 2013; Kucian et al., 2018), however, research has not been conclusive in this regard. Based on this, the present project analyzes the correlation between numerical, spatial and temporal differentiation tasks in different age groups, with the aim of showing whether these correlations differ depending on the group. A cross-sectional, correlational design is implemented to evaluate the degree of association between performance in numerical, temporal and spatial discrimination tasks for three age groups: 34 children from the first grade of primary school (6 years old), 32 children from the third grade of primary school (8 years old) and 26 university students (18 and 21 years old). The results show consistent linear correlations between the performance of the 3 tasks for the primary school groups, in contrast, for the group of university students the relationship between the performance of the numerical and temporal tasks was not significant. The findings are discussed in terms of the relevance of GMS in the child population and the divergence model proposed by Newcombe (2014). Finally, it is proposed, for future research, to continue with this line, preferably to use longitudinal designs, to identify differences due to development, and experimental ones, to show how training in one of the skills affected the rest.

Keywords: Non-symbolic numerical skills, Number sense, General Magnitude System (GMS), Magnitude estimation, Numerical development

Matemáticas en México

El sentido numérico es uno de los temas de mayor relevancia en las investigaciones sobre cognición matemática, entendido como el conjunto de habilidades básicas para determinar si niños en grados iniciales de la educación formal podrían estar en riesgo de un mal desempeño en años posteriores (Espinosa-Rodríguez, Romero-Sánchez y Maldonado-García, 2019). Dentro de estas habilidades se encuentra la discriminación de cantidades, entendida como la capacidad de determinar correctamente cuál de dos o más estímulos es el más grande o pequeño, destacando por no requerir el uso del lenguaje. Estudiar este tipo de habilidades resulta relevante en nuestro país, más al considerar que el desempeño en matemática es bastante precario (Backhoff et al., 2017).

El conocimiento numérico general es de suma importancia en la vida cotidiana y está presente en prácticamente todas nuestras actividades. Su dominio en edades tempranas ha mostrado ser un predictor confiable del desempeño de los individuos en actividades tan diversas como el éxito en la escuela, la toma de decisiones médicas, además de estar asociado con el estatus socioeconómico y el ingreso en el campo laboral (Duncan et al., 2007; Reyna, Nelson, Han y Dieckmann, 2009; Ritchie y Bates, 2013; Gerardi, Goette y Meier, 2013, en Schneider et al., 2017).

Enfocándonos en nuestro país, el desempeño en matemáticas es bastante precario. Un ejemplo de lo anterior se observa en los resultados de la última evaluación PISA, 2018, donde los estudiantes mexicanos obtuvieron resultados por debajo de la media de los países miembros de la OCDE en lectura, matemáticas y ciencias (OCDE, 2019).

Los frecuentes problemas en la adquisición de las capacidades matemáticas que se observan en la población infantil desde temprana edad, deben ser atendidos bajo diferentes ángulos, y si bien su detección suele comenzar durante los primeros años de la educación

primaria (Solovieva, Lázaro y Quintar, 2013), la realidad es que estos rezagos se mantienen a lo largo de toda la historia académica, sin que existan intentos sistemáticos de prevención o corrección.

Dado que estas dificultades sientan sus bases en los primeros años del aprendizaje, se requiere comprender el proceso de adquisición de las matemáticas, considerando las condiciones que lo favorecen o lo obstaculizan desde las primeras aproximaciones formales; aun si el tipo de actividad matemática a la que tienen acceso los niños pequeños parece muy simple y de poca trascendencia para el aprendizaje de nociones relativamente complejas como la multiplicación, las fracciones y la proporcionalidad, se sabe que existe una fuerte relación entre los niveles de desarrollo numérico que alcanzan los niños en sus primeros años de vida y su desempeño matemático posterior (Duncan et al., 2007).

Si bien las primeras aproximaciones formales a las matemáticas, por lo menos en México, están enfocadas hacia el aprendizaje de las representaciones simbólicas de los números (aprender los números al menos hasta el 10 o el proceso de conteo), las cuales permiten hacer una representación mental exacta de las cantidades, así como compararlas y manipularlas, la evidencia ha mostrado que los estudiantes ingresan al preescolar con capacidades intuitivas que anteceden al aprendizaje simbólico (Mundy y Gilmore, 2009), siendo las habilidades numéricas no simbólicas unas de las principales.

Habilidades numéricas no simbólicas

Las habilidades numéricas no simbólicas son capacidades rudimentarias, observadas en adultos, niños y animales no humanos (Agrillo, Piffer y Adriano, 2013), que permiten a los organismos tomar decisiones óptimas en sus entornos naturales, por ejemplo, la discriminación de cantidades (decidir cuál de dos elementos es el más grande acorde a una dimensión en específico), seleccionar la mayor cantidad de alimentos, el grupo más grande de

compañeros sociales o parejas sexuales, entre otros. Todas estas acciones se caracterizan porque los individuos las hacen sin la necesidad de un conteo exacto de los elementos (lo que implicaría la implementación de un sistema simbólico).

Este tipo de habilidades permite a los individuos estimar de forma aproximada tanto magnitudes discretas, el número de canicas en una bolsa, por ejemplo, que puede ser estimada de forma exacta sin la necesidad de un aparato de medida (un metro o un termómetro); como magnitudes continuas, el área de una cancha de basquetbol, que a diferencia de las canicas, no se puede estimar de forma exacta sin utilizar un aparato de medición (un flexómetro), aun teniendo un tiempo ilimitado para hacerlo (Leibovich y Henik, 2013).

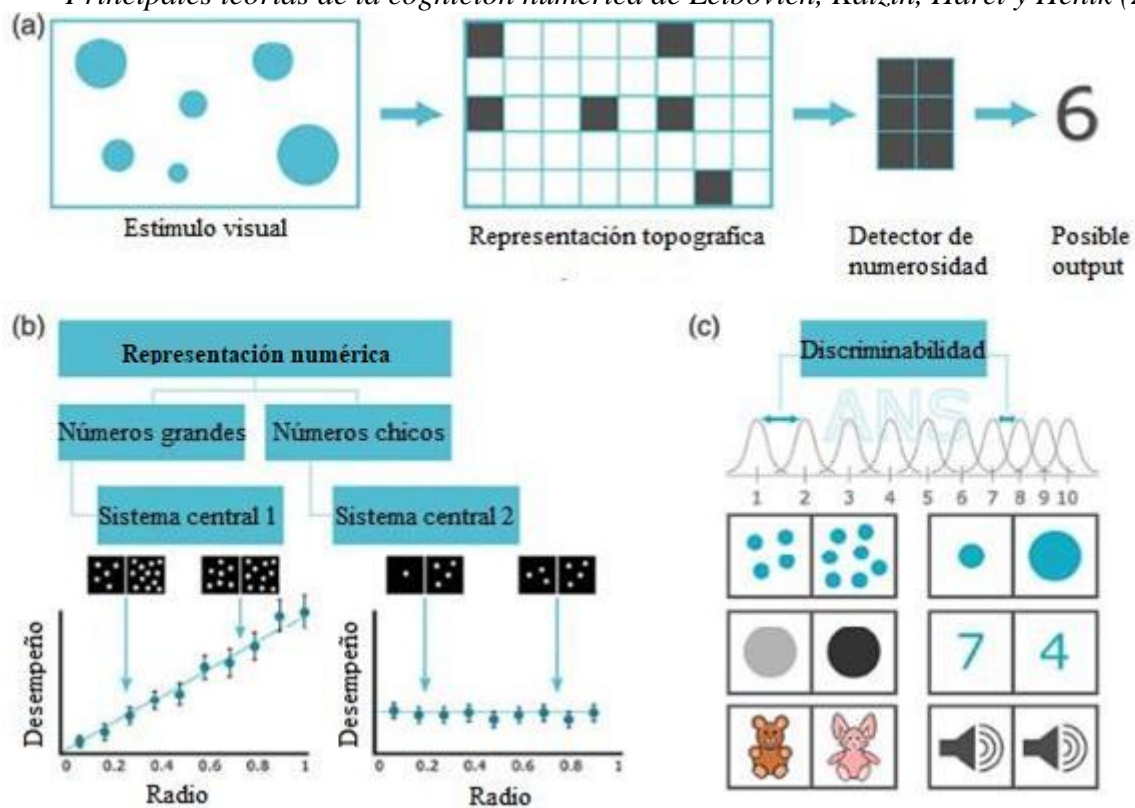
En el caso de los humanos, la relevancia de las capacidades no simbólicas recae en su impacto y relación con las habilidades simbólicas, como la aritmética básica. Por ejemplo, algunas investigaciones han mostrado que las habilidades numéricas no simbólicas se relacionan con un buen desempeño en tareas aritméticas futuras, mostrando que el entrenamiento en tareas aritméticas no simbólicas puede mejorar el desempeño de los participantes en tareas simbólicas (Park y Brannon, 2013, en Chen y Li, 2014).

Modelos de explicación

En la literatura resaltan tres modelos principales que explican cómo es que la información se procesa a través de las habilidades numéricas no simbólicas; el Modelo del Sentido Numérico (Dehaene, 1997), el Modelo de dos Sistemas centrales (Feigenson et al., 2004) y el Modelo del Sistema Numérico Aproximando (Cantlon et al, 2009) (esquemáticos en la Figura 1). A continuación, haremos una descripción de dichos modelos, analizando sus aportes, diferencias y áreas de oportunidad.

Figura 1.

Principales teorías de la cognición numérica de Leibovich, Katzin, Harel y Henik (2017).



Nota. Esquematación de las principales teorías en cognición numérica (A) El modelo del Sentido Numérico (Dehaene y Changeux, 1993) enfatiza la existencia de un detector de numerosidad que suma las numerosidades independientemente de las magnitudes continuas. (B) El modelo de dos Sistemas Centrales (Feigenson et al. 2004) diferencia entre el procesamiento de números grandes y pequeños. (C) El modelo del Sentido Numérico Aproximado (Cantlon et al. 2009) sugiere que diferentes magnitudes son procesadas por un análogo de la representación numérica.

Modelo del Sentido Numérico

El primer modelo propuesto por Dehaene (1997), indica que los números son procesados por un “sentido numérico” en tres pasos. En primer lugar, existe un módulo de entrada que representa la localización de cada objeto en un conjunto; después las ubicaciones de los objetos son mapeadas en una representación topográfica interna, sin considerar las otras propiedades del conjunto (incluidas las magnitudes continuas como el espacio, tiempo,

luminosidad, entre otros). Por último, la numerosidad del conjunto es sumada por un detector de numerosidad innato. En este sentido el modelo explica el proceso mediante el cual los animales no humanos y humanos tienen una intuición directa de lo que significan los números.

Modelo de dos Sistemas Centrales

El modelo propuesto por Dehaene (1997) da una explicación viable del procesamiento de los números, sin embargo no considera la distinción en el procesamiento de numerosidades pequeñas y grandes, aspecto importante de acuerdo con el estudio de Feigenson y Carey (2003), quienes, con el objetivo de evaluar las representaciones espontáneas de más y menos en infantes, implementaron un diseño en el que los participantes observaban galletas colocadas secuencialmente en dos recipientes, para después obtener las galletas del recipiente de su elección. Se observó que los infantes eligieron la cantidad más grande en comparaciones de 1 versus 2 y 2 versus 3, pero fallaron con las comparaciones de 3 versus 4, 2 versus 4 y 3 versus 6. Este resultado permitió evidenciar un procesamiento diferencial dependiendo de las cantidades procesadas -pequeñas o grandes- e independiente de las razones comparadas, que debe ser incluido en el modelo de explicación y predicción de la habilidad para procesar magnitudes.

A partir de estos hallazgos ampliaron el concepto original del sentido numérico, proponiendo la existencia de dos sistemas distintos de representación numérica, en humanos y animales, en función del tamaño de la cantidad representada (Feigenson et al., 2004).

El sistema central 1, semejante al modelo del sentido numérico (Dehaene, 1997), permite hacer representaciones aproximadas de cantidades grandes con una distribución gaussiana para representarlas. Las distribuciones de diferentes numerosidades se superponen, incrementando a medida que aumentan las magnitudes, por ende, el modelo es sensible a la proporción entre las numerosidades.

Bajo este modelo se puede explicar por qué algunos niños no son capaces de discriminar la diferencia entre dos cantidades con determinada proporción (Xu y Spelke, 2000; Halberda, Mazocco, y Feigenson, 2008). Por ejemplo, los infantes son capaces de discriminar con éxito entre dos y tres, pero no entre cuatro y seis, a pesar de que la proporción es idéntica (Feigenson y Carey, 2003).

Por otro lado, el sistema central 2 se enfoca en representaciones exactas de cantidades pequeñas (hasta 3 o 4 elementos), y a diferencia del sistema central 1, que no tiene en cuenta ninguna magnitud continua del objeto dado, el sistema central 2 es sensible a las propiedades continuas (área, color, luminosidad) de un estímulo. Por ejemplo, en tareas en las que los infantes tenían que elegir entre dos conjuntos de alimentos, estos respondían guiados por la magnitud continua de los estímulos (p. ej., el área total de las galletas) y no por su cantidad (Feigenson y Carey, 2003). Cuando a los bebés se les mostraba una cantidad de alimentos y luego estos alimentos se escondían, los bebés se basaban en la numerosidad (magnitudes discretas) del estímulo. Es importante destacar que este patrón se mantuvo sólo con hasta tres alimentos (Feigenson y Carey, 2003).

Una de las principales fuentes de evidencia para el modelo de Feigenson et al. (2004) son las diferencias observadas al enumerar cantidades pequeñas (de 1 hasta 4 objetos) con respecto a cantidades mayores (Feigenson, Carey y Spelke, 2002; Feigenson y Carey, 2003; Starkey, y Cooper, 1980, citado en Feigenson et al., 2004). El conteo de cantidades pequeñas es más rápido y preciso, en contraste con cantidades más grandes, cuyos tiempos de reacción y el número de errores incrementa linealmente.

La existencia de estos dos sistemas centrales podría explicar por qué algunas habilidades matemáticas son básicas e intuitivas (estimaciones numéricas) utilizando el sistema central 1, mientras que otras se consideran difíciles de adquirir (juicios numéricos exactos en el rango del *subitizing*, capacidad para reconocer súbitamente el cardinal de un conjunto sin la

necesidad de ejecutar un conteo) y utilizan el sistema central 2. Sin embargo, ninguno de los sistemas está equipado para tratar con cálculos exactos por encima del rango *subitizing* (Feigenson et al. 2004, en Leivivobich, 2017).

Modelo del sistema numérico aproximado (Approximate number system, ANS)

Hasta este punto es importante resaltar que ninguno de los modelos explica el procesamiento de las magnitudes continuas, centrándose solo en el procesamiento numérico (magnitudes discretas). Es en esta área de oportunidad donde toma relevancia el modelo propuesto por Leibovich, Katzin, Harel y Henik (2017), que a diferencia de sus predecesores explica el procesamiento de magnitudes numéricas y continuas, indicando que comparten un mismo mecanismo de representación, semejante al sistema central 1 (Feigenson et al., 2004). Definido como un sistema innato para el procesamiento y representación de magnitudes discretas a través de una escala mental análoga, sugiriendo que los individuos son capaces de percibir la numerosidad de un estímulo independientemente de las magnitudes, ya sea discretas (por ejemplo, número de canicas en una bolsa) o continuas (el área que ocupan dichas canicas). Esta teoría es conocida como el sistema numérico aproximado (ANS por sus siglas en inglés).

Existen dos fuentes de evidencia principales para el ANS. En primer lugar, se ha demostrado que la percepción de diferentes continuos, como numerosidad, espacio y tiempo, se acoplan a los principios de la ley de Weber según la cual la cantidad mínima de cambio necesaria para que se detecte es proporcional a la magnitud del estímulo (Cantlon et al., 2009). En segundo lugar, varios estudios muestran la activación del lóbulo parietal y específicamente el surco intraparietal (IPS), en estimaciones numéricas y de magnitudes continuas (Cantlon et al., 2009).

La relevancia de este modelo de explicación de las habilidades numéricas no simbólicas, recae en su papel como predictor de las habilidades numéricas simbólicas (Halberda, Mazocco y Feigenson, 2008; Chen y Li, 2014), inclusive Odic y Starr (2018) sostienen que su papel va más allá, fungiendo como la base en la que las habilidades numéricas simbólicas son estructuradas, por lo tanto niños con una mayor habilidad en el ANS deberían comprender más fácilmente el significado de las palabras numéricas y la aritmética básica (Van Marle, Chu, Li, y Geary, 2014, en Odic y Starr, 2018).

Si bien, los tres modelos (el ANS, el modelo de dos sistemas centrales y el modelo del sentido numérico) coinciden en diferentes niveles, permitiendo una explicación viable de distintos aspectos del procesamiento numérico no simbólico, algunos autores sostienen que el tipo de procesamiento que abordan puede ser explicado por información de otras dimensiones, específicamente continuas (Leibovich, Katzin, Harel y Henik, 2017), como el área o la densidad de un objeto. Por ejemplo, al contrastar dos conjuntos de puntos, si el tamaño de los puntos permanece constante, aumentar el número de puntos también aumentará el área acumulada total cubierta por los estímulos, mientras que, si el área en la que se dibujan los puntos permanece constante, la densidad de la matriz de puntos aumentará. La covariación natural de estas características podría permitir a los individuos seleccionar el conjunto más numeroso sin representar el número.

Si bien esto podría indicarnos que los individuos utilizan las magnitudes continuas para hacer estimaciones antes de la adquisición del lenguaje, sin necesidad de procesar la numerosidad de los estímulos, considero que el hecho de que las características discretas (numéricas) y continuas de un estímulo varíen de forma conjunta no muestra que ambos tipos de información sean excluyentes una de otra e intervengan de forma independiente en el juicio de los individuos.

De hecho, la variación paralela de las dimensiones es evidencia de la estrecha relación entre magnitudes discretas (números) y continuas (tiempo y espacio) a la hora de procesar las magnitudes.

El Sistema General de Magnitudes

El modelo denominado Sistema General de Magnitudes (SGM) es una propuesta robusta para la explicación del procesamiento de magnitudes, en virtud de plantear un único mecanismo a través del cual se procesan conjuntamente distintas dimensiones, ya sean numéricas, espaciales o temporales. Es decir, se utiliza el mismo sistema cognitivo para representar la duración de un sonido, la cantidad de nubes en el cielo o la distancia entre dos puntos (Hamamouche y Cordes, 2019).

Esta teoría parte de Gallistel y Gelman (2000, en Walsh, 2003), quienes proponen que las magnitudes discretas y continuas deben representarse con el mismo tipo de símbolos (magnitudes mentales), al haber muchos casos en que los dos tipos de magnitud se combinan para tomar decisiones.

La idea de un sistema general para el procesamiento de magnitudes discretas y continuas resulta bastante lógica al considerar que, dentro de las propiedades de un objeto, el número y diferentes magnitudes continuas están presentes a la vez, además, al tomar decisiones, tanto humanos como organismos no humanos utilizamos toda la información disponible para realizar la elección correcta, por lo tanto, al tomar decisiones numéricas, respecto de magnitudes discretas, es de suponer que también se consideren las magnitudes continuas (Leibovich, Katzin, Harel y Henik, 2017).

Bajo la misma línea, Gebuis y Reynvoet (2012, citados en Leibovich, Katzin, Harel y Henik, 2017) mencionan que la idea de un sistema único para el procesamiento de los números

(magnitudes discretas) es redundante, dado que los números y las magnitudes continuas están positivamente correlacionadas al estar presentes de forma conjunta en diversos escenarios.

Además de lo anterior, Odic et al. (2016) presenta 3 explicaciones que apoyan el modelo SGM para dar cuenta del procesamiento de magnitudes, las cuales no son mutuamente excluyentes. En primer lugar, señalan que al procesar las diferentes cantidades se utilizan los mismos filtros sensoriales, lo que provoca una interferencia entre los mismos. En segundo término, se indica que las diferentes dimensiones de un estímulo se representan por una escala general, a través de un conjunto de neuronas que codifican el "más" o "menos" para todas las cantidades. Por último, argumentan que diferentes dimensiones pueden compartir la toma de decisiones o cálculos comparativos comunes, tales como determinar un umbral antes de que se inicie la respuesta; como resultado, las representaciones cuantitativas pueden competir por respuestas conductuales e interferir entre sí.

Aunado a las reflexiones de Odic et al. (2016), existen diferentes fuentes de evidencia para el SGM, por ejemplo, al comparar dos cantidades la facilidad para diferenciarlas es proporcional a la distancia entre estas, por ejemplo, el comparar 2 canicas contra 10 resulta mucho más fácil que comparar 2 contra 3, esto es conocido como efecto de distancia, siendo una demostración de la estrecha relación entre magnitudes numéricas y espaciales (Moyer y Landauer, 1967).

En cuanto al tiempo y el número, la principal fuente de evidencia son los estudios de interferencia modal o doble tarea. Por ejemplo, Brown (1997), realizó una investigación en la que los participantes fueron expuestos a 3 condiciones: estimación temporal y seguimiento de un rotor, estimación temporal y detección visual y por último estimación temporal y aritmética mental. Si bien la estimación temporal fue afectada por las 3 tareas, la única tarea afectada por la estimación temporal fue la aritmética mental. Según Walsh (2003) estos resultados se deben

a que ambos, tiempo y número, comparten un mecanismo único de representación, mientras que las otras dos tareas solo generaban una demanda visual.

La relación entre magnitudes espaciales y temporales ha sido la menos estudiada de las 3, sin embargo, en años recientes diversas investigaciones han comenzado a ahondar en el tema, resaltando de nuevo los estudios de interferencia modal, además se ha observado que distancias más grandes se asocian con duraciones mayores (Sarrazin, Giraudo, Pailhous, y Bootsman, 2004, citado en Loureco y Longo, 2010).

Implicaciones del SGM

Con base en lo anterior, desde el SGM se asume que el procesamiento de una magnitud discreta se ve afectado por el de magnitudes continuas (por ejemplo, espaciales o temporales) e implica además que las reglas aprendidas al procesar alguna, se aplican a otra diferente, ya sea mediante instrucción explícita o mediante transferencia espontánea. Esto es relevante en el contexto académico ya que la habilidad para procesar magnitudes, ya sean numéricas, espaciales o temporales, se asocian con un mejor desempeño en actividades más complejas como la aritmética básica.

Por ejemplo, se ha observado que las habilidades numéricas no simbólicas están asociadas con el desempeño en pruebas estandarizadas de matemáticas en niños, adolescentes y adultos (Halberda, Mazocco, y Feigenson, 2008; Libertus, Feigenson, y Halberda, 2011; Libertus, Odic, y Halberda, 2012). De igual forma, las habilidades espaciales han mostrado correlaciones positivas con el desempeño en matemáticas, específicamente en geometría y cálculo (Geary y Van Marle, 2016; Lourenco y Bonny, 2017). Asimismo, el procesamiento temporal ha mostrado correlaciones positivas con el desempeño en matemáticas (Odic et al., 2016).

A partir de lo anterior resulta relevante comprobar que estas dimensiones son procesadas por un mismo sistema, si esto se demostrase, daría entrada a intervenciones y métodos de enseñanza innovadores, por ejemplo, al entrenar las habilidades de discriminación numérica también se entrenarían las de discriminación temporal o espacial y a su vez esto podría tener un efecto positivo en habilidades matemáticas más complejas.

Estudios sobre el SGM

Activación neuronal.

Al respecto, han surgido un gran número de investigaciones con el objetivo de proporcionar evidencia que permita comprobar la pertinencia del SGM. A nivel neuroanatómico las investigaciones han centrado su atención en la ubicación de una red neuronal común para el procesamiento de las magnitudes. Al respecto diversos estudios muestran la activación del lóbulo parietal y específicamente el surco intraparietal (IPS), en estimaciones numéricas, espaciales y temporales (Walsh, 2003; Cantlon et al., 2009; Dormal, Andres, y Pesenti, 2012; Dormal, Dormal, Joassin y Pesenti, 2012; Skagerlund, Karlsson y Träff, 2016).

La activación del IPS está relacionada con el movimiento ocular (como el agarre guiado visualmente o el seguimiento visual), o en procesos atentos como la búsqueda de blancos. Sin embargo, resalta por su papel en el procesamiento de las cantidades, al estar involucrado el procesamiento numérico, la manipulación de cantidades, aritmética mental, el procesamiento espacial, entre otros.

Evidencia conductual

A nivel conductual existen dos líneas principales de investigación. Por un lado, algunos trabajos se han centrado en obtener evidencia que muestre niveles similares de agudeza en el procesamiento numérico, temporal y espacial dentro del mismo individuo (Agrillo et al., 2013;

Kucian et al., 2018; Odic, Libertus, Feigenson, y Halberda, 2013; Odic yStarr, 2018), esto debido a que, en caso de existir un mismo sistema de procesamiento para dichas cantidades, debemos esperar que el nivel de habilidad individual sea similar independientemente de la magnitud.

Al respecto, en el estudio de Agrillo et al. (2013), podemos encontrar una investigación implementando metodología de este tipo. Su objetivo fue determinar si las diferencias en la habilidad de estimaciones numéricas predicen las diferencias individuales en estimaciones temporales y espaciales. Además, correlacionaron el desempeño de los participantes en tareas no simbólicas con tareas de cálculo mental y razonamiento matemático, con el objetivo de evaluar si diferencias individuales en las estimaciones no simbólicas predicen el desempeño en tareas matemáticas.

Trabajaron con una muestra de treinta y cinco voluntarios (10 hombres y 25 mujeres, con una edad media de 24.14 años), todos con visión normal o corregida. A todos los participantes se les aplicaron cinco tareas diferentes en una secuencia aleatoria. Tres tareas de discriminación de cantidades (discriminación temporal, espacial y numérica) donde los participantes debían indicar cuál de dos estímulos era el más grande con respecto a la magnitud estimada, variando la dificultad entre los ensayos implementado diferentes razones entre los estímulos; una tarea que involucraba habilidades numéricas simbólicas (cálculo mental y razonamiento matemático); y la última tarea fue una prueba de control donde los participantes identificaban el color de una palabra presionando un botón, en esta se presentaron veinticinco condiciones congruentes (la palabra “azul” en color azul, o la palabra “amarillo” de color amarillo), 25 incongruentes (colores invertidos) y 30 neutrales (porejemplo, "auto" escrito en amarillo o azul).

Los resultados mostraron una correlación positiva entre las habilidades numéricas no simbólicas y simbólicas, sin embargo, no se encontró correlación entre las estimaciones no simbólicas de tiempo, espacio y número. Si bien estos resultados son incompatibles con la idea de un sistema general de magnitudes, Agrillo et al. (2013), reiteran que la relación entre el tiempo, el espacio y el número puede cambiar a lo largo del desarrollo cognitivo, al no existir evidencia clara que demuestre que el sistema general de magnitudes funcione de manera similar desde la infancia hasta la edad adulta.

La otra línea de investigación se enfoca en comprobar la existencia de un sistema de representación común para las magnitudes, el cual genera cierta interferencia modal entre estas, es decir que las representaciones de una cantidad se confundan con las representaciones de otra, lo que lleva a una respuesta sesgada (Agrillo, Ranpura, y Butterworth, 2010; Agrillo et al., 2013; Dormal, Seron, y Pesenti, 2006; Dormal, y Pesenti, 2007; Meck, y Church, 1983).

Por ejemplo, Dormal y Pesenti (2013) estudiaron cómo se influyen mutuamente la numerosidad, la longitud y la duración de un estímulo al ser procesado, a través de un paradigma tridimensional tipo Stroop. Los participantes tenían que comparar la numerosidad, la longitud o la duración de dos matrices sucesivas de puntos en las que las tres dimensiones se manipulaban de forma independiente para crear pares congruentes, incongruentes o neutrales. Los resultados fueron consistentes con hallazgos previos, mostrando que las señales numéricas y espaciales interfirieron con los juicios temporales, pero las señales temporales no afectaron las numéricas o espaciales. Los resultados podrían indicarnos que el procesamiento temporal presenta discrepancias respecto a las otras dos dimensiones.

Como se puede observar, la evidencia no es concluyente sobre si el procesamiento de las magnitudes es acorde a las predicciones del SGM, al respecto, la edad resalta como un importante factor de variación entre las investigaciones. En estudios con niños se han

encontrado asociaciones consistentes entre las dimensiones (Kucian et al., 2018; Lourenco y Bonny, 2017; Lourenco y Longo, 2010; Lourenco y Aulet, 2019), sin embargo, en grupos de adultos los resultados son variados (Agrillo et al., 2013; Agrillo y Piffer, 2012; Agrillo, Ranpura y Butterworth, 2010; Barth, 2008; Dormal, Seron y Pesenti 2006; Dormal y Pesenti, 2007; Lourenco, Bonny, Fernandez y Rao, 2012).

Que se encuentren correlaciones positivas entre el procesamiento de las diferentes dimensiones daría evidencia de un mismo sistema de procesamiento independientemente del tipo de magnitudes a estimar, generando evidencia en favor el SGM, en el mismo sentido, si no se observan correlaciones significativas serían datos en contra de las predicciones que hace el modelo.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, hay que considerar que la nula asociación entre magnitudes parece presentarse en grupos de edad adulta según se reporta en algunos estudios (Agrillo, et al., 2013; Agrillo y Piffer, 2012; Agrillo, Ranpura y Butterworth, 2010; Barth, 2008; Dormal, Seron y Pesenti 2006; Dormal y Pesenti, 2007; Lourenco, Bonny, Fernandez y Rao, 2012), por lo tanto, los resultados más allá de evidenciar una falla en el modelo nos indicarían que este sistema puede llegar a variar conforme el desarrollo de los individuos (Agrillo, et al., 2013; Kucian et al., 2018). No obstante, hace falta investigación al respecto.

Teorías sobre la diferenciación del SGM

En respuesta a estas inconsistencias, Newcombe (2014) propuso que el SGM presenta una divergencia a lo largo del desarrollo, sugiriendo que, aunque un sistema de magnitud común está presente en la infancia, las representaciones de cada cantidad divergen a lo largo del desarrollo, diferenciándose en subsistemas cada vez más específicos a medida que los niños aprenden e interactúan con el mundo (Cantrell y Smith, 2013; Lourenco y Longo, 2010).

Existen algunas propuestas del porqué de esta diferenciación. En primer lugar, el enfoque clásico de aprendizaje de Gibson y Gibson (1955, en Kucian et al., 2018), propone que hay asociaciones interdimensionales más fuertes en etapas tempranas de la vida las cuales se diferencian conforme el desarrollo. En segundo lugar, algunos autores han propuesto la existencia de diferentes trayectorias de desarrollo (Lourenco y Longo, 2011; Lourenco, 2015, en Kucian et al., 2018). Una tercera posibilidad es que la relación entre las magnitudes está mediada por diferentes mecanismos a lo largo del desarrollo, por ejemplo, el lenguaje en edades más avanzadas (Casasanto, Fotakopoulou y Boroditsky, 2010; Winter, Marghetis y Matlock, 2015, citados en Lourenco y Aulet, 2019).

Esta última propuesta puede ser más pertinente para explicar las diferencias en función del desarrollo al considerar que durante los primeros años de vida los individuos cuentan con un sistema que les permite hacer estimaciones de las magnitudes que los rodean. Sin embargo, con el tiempo y el ingreso a un sistema de educación formal, dichas capacidades comienzan a ser desplazadas por estrategias de estimación formal (medir objetos y el cálculo), diferenciándose las diferentes magnitudes al identificar sus sistemas de medida (Newcombe, 2014).

Aún con estas posibles explicaciones se requiere mayor evidencia que confirme la diferenciación del SGM con la edad, ya que de hacerlo podría implicar asociaciones diferentes a lo largo del desarrollo entre el SGM y habilidades matemáticas más complejas. Por esto es necesario estudiar la relación existente entre el procesamiento numérico, espacial y temporal en diferentes etapas del desarrollo.

Evidencia empírica sobre la diferenciación del SGM.

Algunas investigaciones ya han abordado esta línea, por ejemplo, Droit-Volet, Clément y Fayol (2003), realizaron un estudio con el objetivo de observar, en diferentes grupos de edad,

el efecto de interferencia tanto del número en la discriminación temporal como del tiempo en la discriminación numérica. Los autores implementaron una tarea de bisección, similar a la utilizada por Meck y Church (1983), en la que el tiempo y el número covariaban en una secuencia de estímulos.

Trabajaron con 29 niños de 5 años (edad media 5.29 años), 32 niños de 8 años (edad media 8.05 años) y 36 adultos (edad media 21.84 años). Estos grupos fueron definidos al considerar que la dificultad para procesar una sola dimensión, en el caso de los niños pequeños, podría relacionarse con el desarrollo de la corteza prefrontal, que está involucrada en la atención selectiva, cuya maduración se comienza a observar al final del primer año de vida y se desarrolla entre los 3 y los 7 años (Luria, 1961, 1973, en Droit-Volet, Clément y Fayol, 2003). Bajo esta lógica los autores hipotetizaron interferencia de tiempo o número mayor en niños menores de 7 años.

Para dicho experimento se llevaron a cabo dos condiciones experimentales. En una se indicó a los participantes que procesaran la duración de la secuencia, ignorando el número de estímulos (bisección temporal), para la segunda condición, se pidió a los participantes que procesaran el número de estímulos ignorando la duración. Este último procedimiento se conoce como bisección numérica.

La investigación mostró que durante la tarea de bisección temporal los niños pequeños no procesaron el tiempo de forma independiente al número de estímulos. Sin embargo, dicha interferencia disminuyó con la edad. Por el contrario, en la tarea de bisección numérica, la duración no interfirió con la discriminación numérica en ninguno de los grupos. Estos resultados dan evidencia de que la relación entre las magnitudes, numéricas y temporales, es diferente a lo largo del desarrollo e incluso depende de la tarea que se esté implementando.

Estos resultados darían evidencia de que el procesamiento general de magnitudes va cambiando con la edad (Droit-Volet, Clément y Fayol, 2003), sin embargo, los autores mencionan que podrían relacionarse más con cambios en el desarrollo de otros procesos (Gautier y Droit-Volet, 2002, citado en Droit-Volet, Clément y Fayol, 2003), siendo uno de los más críticos la atención. Los niños pequeños muestran dificultad para centrar su atención en un único estímulo. Por lo tanto, sólo se estaría dando evidencia de un cambio respecto a la interferencia modal generada en tareas de bisección, más que en el procesamiento conjunto de las magnitudes numéricas, espaciales y temporales. A partir de esto, es necesario implementar otro tipo de metodología que permita evaluar el posible cambio y a su vez minimice el sesgo proveniente del desarrollo de otros procesos al requerir una menor demanda de recursos atencionales.

Una alternativa son los diseños implementados por Odic, Libertus, Feigenson, y Halberda (2013), que evaluaron si las trayectorias de desarrollo, presentadas por habilidades de discriminación espacial y numérica, eran paralelas. Para ello trabajaron con 40 participantes divididos en 5 grupos de edad (8 participantes por grupo), niños de 3, 4, 5 y 6 años y adultos.

Los participantes resolvieron 2 tareas; una de discriminación numérica en la que debían determinar cuál de dos conjuntos de puntos, presentados uno al lado del otro en diferente color, era el más grande; y otra de discriminación espacial en la que se presentaba una forma irregular cuya área estaba pintada de dos colores diferentes, y donde los participantes debían discriminar cuál de los dos colores abarcaba más espacio.

Los resultados de la investigación mostraron que ambas habilidades de discriminación, numérica y espacial, mejoran constantemente durante la niñez. Sin embargo, la habilidad espacial es consistentemente más alta que la numérica, lo que sugiere una posible diferencia en los mecanismos subyacentes que codifican y/o representan el área y el número aproximados.

Posterior a esta investigación Odic y Starr (2018) realizaron una similar, que buscaba determinar si las trayectorias de desarrollo en una tarea de discriminación numérica eran independientes de las observadas en tareas de discriminación de área, densidad, longitud y tiempo a través de un modelo de crecimiento logístico. Los resultados mostraron que las 5 dimensiones evaluadas alcanzan su máximo nivel en puntos diferentes del desarrollo. Específicamente, las habilidades de discriminación espacial y de longitud se desarrollaron en la adolescencia, las de tiempo y la densidad no se desarrollan por completo hasta la edad adulta temprana, y la discriminación numérica se desarrolló a un ritmo intermedio.

Si bien los resultados de ambas investigaciones dan evidencia de trayectorias de desarrollo diferentes para las distintas dimensiones (Odic et al., 2013; Odic y Starr, 2018), esto podría deberse a diversos factores, por ejemplo, la dificultad de las tareas, ya que aquellas tareas más difíciles implicarían un reto mayor inclusive para grupos de mayor edad. Además, no se reporta si estas habilidades están relacionadas con trayectorias de desarrollo diferentes. Recordemos que la idea de un sistema general de magnitudes implicaría un desempeño similar al estimar el número, tiempo y el espacio, es decir, que un buen dominio en alguna de estas debería predecir habilidades altas en otro, al considerar que el mecanismo cognitivo es el mismo (Agrillo et al., 2013). Así pues, un diseño enfocado en estudiar la relación entre las habilidades para discriminar las magnitudes de forma independiente (ya sea el número, el espacio o el tiempo) podría ser una alternativa para evaluar el posible cambio en el sistema general de magnitudes en función del desarrollo.

Este tipo de diseño ya ha sido implementado. Kucian et al. (2018) realizaron un estudio con el objetivo de investigar la asociación entre el procesamiento numérico y espacial a lo largo del desarrollo. Para esto trabajó con una muestra de 367 niños entre el tercer y sexto grado de primaria, quienes respondieron a dos tareas, una de discriminación numérica y otra de discriminación espacial.

La tarea de discriminación numérica consistía en 28 ensayos diferentes contestados con lápiz y papel. En cada ensayo se presentaron horizontalmente dos conjuntos de puntos que iban desde un mínimo de 8 hasta un máximo de 32 puntos, existiendo 12 razones posibles dependiendo de la diferencia entre el número de puntos de ambos estímulos, lo que permitía variar la dificultad entre cada ensayo. La instrucción era que los niños indicaran de qué lado se presentaban más puntos negros. La presentación de los puntos se controló según el tamaño individual de los puntos, el área total mostrada, la distribución de los puntos y el número total presentados para cada proporción numérica entre conjuntos (control por efecto de tamaño). En el caso de la tarea de discriminación espacial se presentó horizontalmente dos semi círculos, uno verde y otro azul, con diferentes ángulos de apertura. Los niños tenían que indicar cuál de los dos semi círculos presentados tenía el ángulo más grande.

Se estimó el coeficiente de correlación de Spearman para evaluar la relación entre el desempeño en las dos tareas. Los resultados mostraron una correlación positiva entre ambas. Además, para comprobar si la fuerza de la correlación entre ambas tareas disminuía con el desarrollo realizaron una comparación de los coeficientes de correlación entre los niveles de grado de estudios, utilizando la transformación a puntaje z de Fisher. Esto reveló diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de número y espacio entre tercer y quinto grado y entre cuarto y quinto grado. Mostrando un decremento en el grado de correlación conforme el aumento del grado escolar. Estos resultados dan evidencia consistente de que el grado de relación entre la habilidad de discriminación numérica y espacial se incrementa conforme el desarrollo.

Utilizar una metodología similar a la implementada por Kucian et al. (2018), permitiría controlar el factor atencional presente en las tareas de bisección implementadas por Droit-Volet, Clément y Fayol, (2003), permitiéndonos cuantificar los cambios en el grado de asociación las magnitudes con respecto a la edad.

Al respecto, aún quedan varias incógnitas en la línea de investigación, por ejemplo, evaluar si este patrón se presenta con otras magnitudes, como el tiempo, o si el decremento observado en la relación entre las magnitudes es aún mayor en la adultez. Realizar un estudio de estas características, manteniendo condiciones similares a las de investigaciones previas, como el uso de diferentes razones para evaluar el desempeño de los participantes bajo distintos niveles de dificultad (Cantlon et al., 2009), nos brindará más información sobre la relación entre las magnitudes discretas (número) y continuas (espacio y tiempo) y sobre el posible cambio en la relación entre las magnitudes en función de la edad.

Con base en lo anterior, la presente investigación buscó determinar si existen relaciones entre el desempeño en tareas de discriminación numérica, espacial y temporal y si dichas relaciones presentan diferencias dependiendo la edad de los participantes. Se planteó un diseño similar al de Kucian et al. (2018), para observar el grado de relación entre el desempeño en las tres tareas de discriminación, con la diferencia de que se aplicó a grupos de niños y adultos, lo que nos permitió ver si la correlación entre las tareas variaba según el grupo. Al respecto y con base en evidencia de los estudios previos, se espera que las correlaciones observadas entre las 3 tareas vayan decreciendo conforme la edad de los participantes.

Método:

Participantes:

Una muestra de 92 participantes con diferentes rangos de edad. 34 niños de 6 años, 32 niños de 8 años y 26 adultos jóvenes universitarios de entre 18 y 21 años. La muestra se definió a partir de la investigación realizada por Droit-Volet, Clement y Fayol (2003).

Tipo de estudio y diseño de investigación:

En el presente estudio se implementó un diseño transversal correlacional no experimental, que permite evaluar el grado de correlación entre los desempeños de los participantes en las tres tareas con una sola medición.

Materiales:

Para los grupos de primaria se utilizó una computadora portátil Hp modelo 14-ck0004 con un monitor de 14 pulgadas y un control inalámbrico Xbox One estándar ©. Para la presentación de los estímulos y la recolección de los datos se utilizó el programa PsychoPy versión 3.0 (Peirce et al., 2019). En el caso del grupo de universitarios los equipos de cómputo variaron ya que las aplicaciones se realizaron a distancia de forma virtual, debido a la contingencia de salud generada por la pandemia.

Tareas:

Se implementaron 3 tareas de discriminación (numérica, espacial y temporal) que se diferenciaban por la magnitud estimada. En cada una aparecía un punto de fijación (en el caso de los niños se presentó un dibujo animado para mantener su atención) al centro de la pantalla durante 1000 ms, luego se presentaba el primer estímulo con una duración de 150 ms (en el caso de la tarea de discriminación temporal las duraciones eran variables) seguido de una demora de 500 ms donde la pantalla permanecía en blanco, después se presentaba el segundo estímulo con la misma duración que el primero (a excepción de la tarea de discriminación temporal, donde la duración era variable). Al finalizar se presentaba una pantalla en blanco de tiempo indefinido en la que el participante emitía su respuesta (Ver Figura 2)

Discriminación numérica:

En la tarea de discriminación numérica se presentaron 2 conjuntos de puntos secuencialmente, variando el número total de puntos para cada estímulo, teniendo 8 razones diferentes; 0.85, 0.80, 0.75, 0.70, 0.67, 0.50, 0.33 y 0.2 respectivamente, dependiendo de la diferencia entre ambos conjuntos, por ejemplo, en la razón de 0.85 se comparaban 20 puntos contra 17 puntos, en el extremo opuesto, la razón de 0.2, se comparaban 18 puntos contra 6 puntos. Es importante resaltar que se balancearon y mantuvieron constantes el área total que abarcaban los puntos en la pantalla y su tiempo de presentación, esto con el objetivo de asegurar que el juicio de los participantes se basará únicamente en el número de puntos en cada conjunto.

Discriminación espacial:

De manera similar, la tarea de discriminación espacial consistió en 2 líneas de diferente longitud que aparecían secuencialmente, en este caso variando el largo de las líneas, presentándose las mismas razones que en la tarea de discriminación numérica. Los participantes debían estimar cuál de las 2 líneas era más larga. De forma similar a la tarea numérica, el número de líneas (una línea por estímulo) y el tiempo de presentación se mantuvieron constantes para evitar que interfirieran en el juicio de los participantes.

Discriminación Temporal:

Por último, en la tarea de discriminación temporal se presentaron 2 triángulos secuencialmente, variando el tiempo que permanecían en pantalla, en este caso los participantes debían estimar cuál de los dos triángulos permanecía por mayor tiempo. Al igual que en las otras dos tareas, se implementaron las mismas razones y se mantuvieron constantes el número

de triángulos (1 por estímulo) y el espacio que abarcaban para asegurar que el juicio de los participantes se basara únicamente en el tiempo de presentación de cada estímulo.

Agudeza visual:

Los participantes de los grupos de niños realizaron el Test Snellen (Molin, 2008), que permite identificar problemas de agudeza visual al presentar optotipos (letras) de diferentes tamaños y evaluar la identificación de los mismos. Además, se les aplicó el Test Ishihara (Ishihara, 1972), que identifica alteraciones en la visión de colores, como daltonismo o alguna discromatopsia. Ambos con el objetivo de detectar y descartar aquellos participantes con problemas visuales graves que afectarán su desempeño en las pruebas experimentales.

Debido a la contingencia generada por COVID-19, las aplicaciones en el grupo de adultos se realizaron en línea, por esto, se les preguntó directamente sobre alguna deficiencia visual antes de la aplicación del experimento y en caso de reportarla se les solicitaba la utilización de lentes correctivos durante toda la aplicación.

Procedimiento:

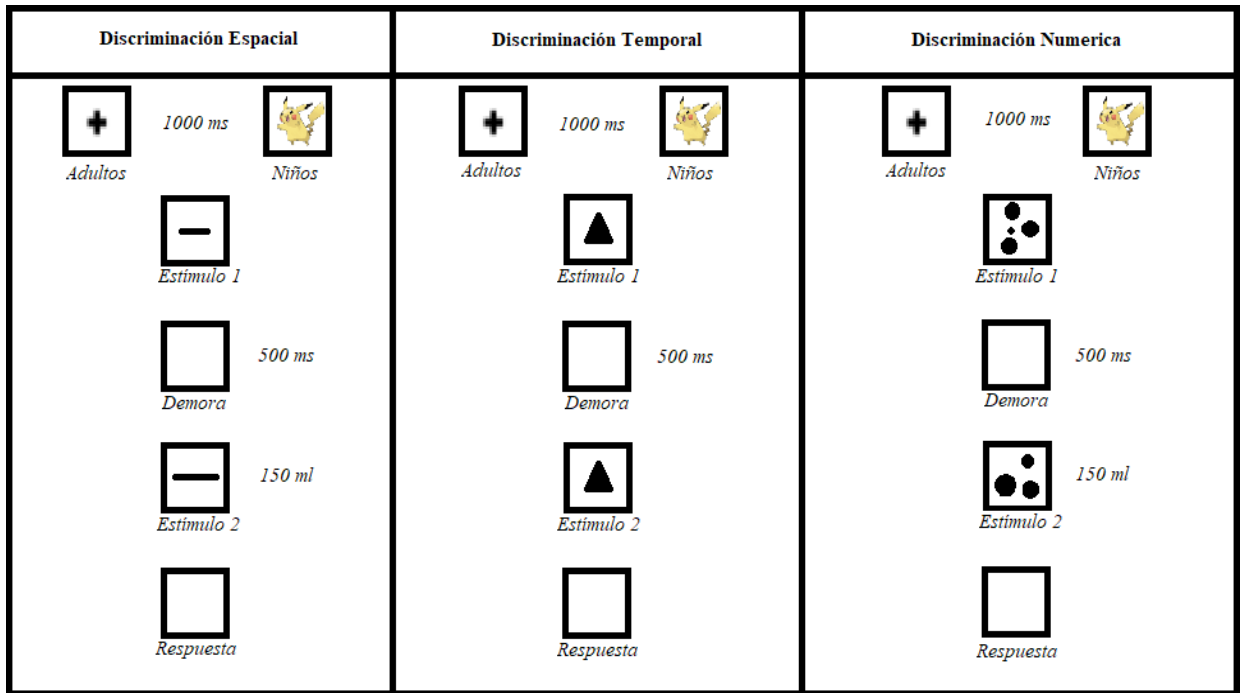
La aplicación iniciaba con las instrucciones para cada una de las tareas, en el grupo de niños estas se presentaron verbalmente. Para los adultos, las instrucciones se leían en la pantalla y se les preguntaba si tenían alguna duda.

Luego de esto, se iniciaba la aplicación de las tres tareas de discriminación de forma aleatoria, esto con el objetivo de evitar cualquier efecto de acarreo. Cada tarea constaba de dos fases; una fase de criterio, compuesta por 10 ensayos con retroalimentación, donde los participantes tenían que contestar correctamente al menos el 80% de los ensayos para pasar a la fase experimental, asegurando que habían entendido la tarea.

La fase experimental constaba de un total de 60 ensayos, en los cuales se eliminó la retroalimentación. Es importante resaltar que, en la mitad de los ensayos para ambas fases, se presentó primero el estímulo más grande, para la otra mitad se presentó primero el más pequeño. Asegurando que los participantes no basaran su respuesta en el orden de aparición de los estímulos.

Figura 2.

Procedimiento experimental para las tareas de discriminación de cantidades



Nota. Esquemáticamente de las tareas de discriminación espacial, temporal y numérica implementadas en el presente estudio. Para todas las tareas se presentaba un punto de fijación durante 1000 milisegundos (en los grupos de primaria se cambió el punto de fijación por un dibujo animado, con el objetivo de mantener la atención de los participantes), seguido del primer estímulo que se presentaba por 150 milisegundos (en la tarea temporal la duración era variable), después se presentó una demora de 500 milisegundos, para dar lugar al segundo estímulo, por último la pantalla permanecía en blanco hasta recibir la respuesta del participante.

Análisis de datos

Seguendo las investigaciones de Agrillo et al. (2013) y Kucian et al. (2018) se calcularon la proporción de aciertos por cada participante en las tres tareas. A partir de esto se realizó el test de Friedman, para evaluar el efecto de la razón y el tipo de tarea en la proporción de respuestas; además se realizó el análisis Kruskal-Wallis para determinar diferencias en la proporción de aciertos dependiendo del grupo de edad, estos análisis fueron complementados con comparaciones post hoc por pares de condiciones o grupos; además, se implementó la

correlación de Spearman entre las proporciones de aciertos en las tareas de discriminación, numérica, espacial y temporal.

Resultados:

El experimento incluyó 34 niños (14 hombres y 20 mujeres) de primer grado con una media de edad de 5.9 años (min = 5 y Max = 7, DE = 0.35); 32 niños (15 hombres y 17 mujeres) de tercero de primaria con una media de edad de 8 años (min = 7 y Max = 9, DE = .06), ambos grupos de la primaria Venustiano Carranza del Estado de México en Ecatepec de Morelos; además se contó con la participación de 25 estudiantes universitarios (3 hombres y 22 mujeres) con una media de edad de 18.6 años (min = 18 y Max = 20, DE = 0.69), todos pertenecientes a la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Desempeño por tarea y grupo

Los resultados obtenidos sobre el desempeño en la tarea de discriminación numérica, descritos en términos de la proporción de aciertos, muestran valores entre el .36 al .95 de aciertos. Para el grupo de primer grado se obtuvo una proporción promedio de aciertos de 0.59 (DE = 0.12); en tercer grado se observó una media de 0.61 (DE = 0.12) y en universitarios la media fue de 0.83 (DE = 0.10).

En la tarea de discriminación espacial la proporción de aciertos vario del .40 al .100 de aciertos. Los estudiantes de primer grado obtuvieron una media de 0.63 (DE = 0.14), el tercer grado presentó una media de 0.68 (DE= 0.14) y el grupo de universitarios tuvo una media del 0.94 (DE = 0.04).

Por último, la proporción de aciertos para la tarea de discriminación temporal vario del .40 al .95 de aciertos en los tres grupos. El primer grado obtuvo una media de proporción de aciertos del 0.57 (DE = 0.10); el tercer grado del 0.64 (DE = 0.10); y los universitarios una

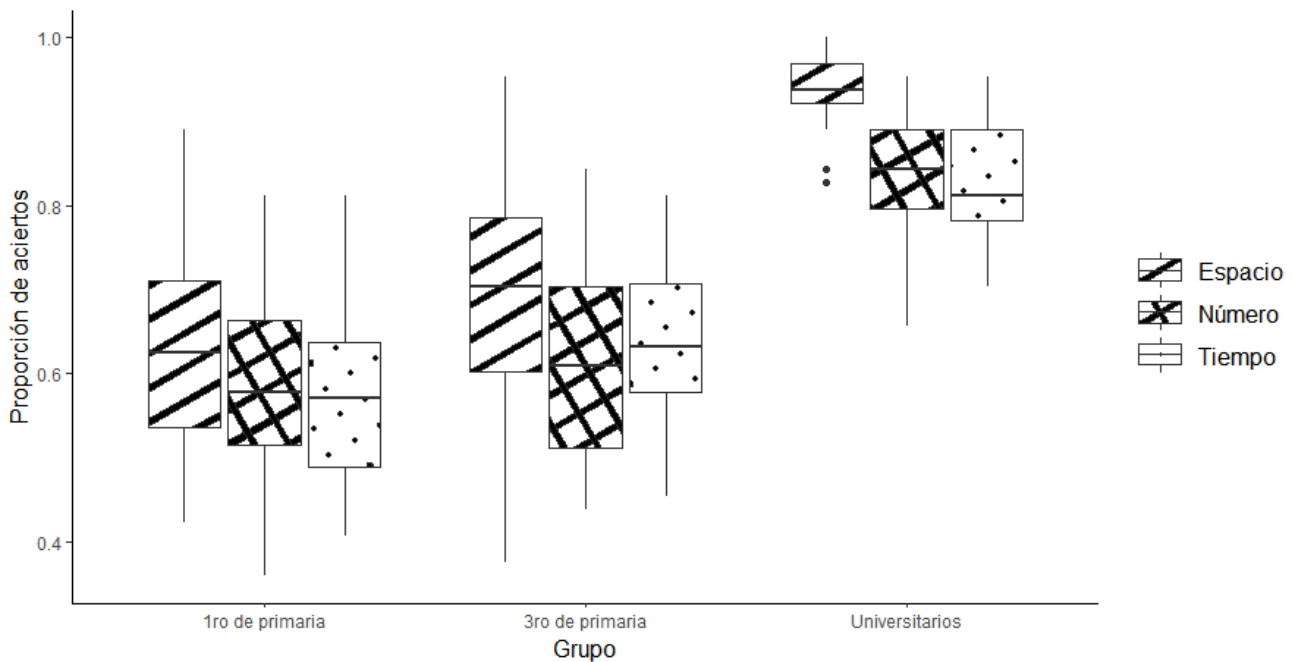
media del 0.84 (DE = 0.08). La Figura 3 muestra la distribución de los casos a lo largo de los valores obtenidos para cada una de las tareas y grupos.

Calculada la proporción de aciertos por tarea y grupo, se realizó el análisis de normalidad Shapiro-Wilk para determinar si el modelo de distribución normal ajustaba a los datos. El modelo normal ajustó, para el caso de los datos del primer grado, sólo para las tareas de número y tiempo (Datos arrojados: Número, $W = 0.96$, $p = .4$; Espacio, $W = 0.94$, $p = .07$; Tiempo, $W = 0.96$, $p = .37$); para el caso de los datos en el tercer grado, el modelo ajustó en el caso de las tareas de discriminación espacial y temporal (Datos arrojados: Número, $W = 0.92$, $p = .02$; Espacio, $W = 0.98$, $p = .91$; Tiempo, $W = 0.97$, $p = .50$); por último, en el grupo de universitarios, solo se ajustó el modelo a los datos de la tarea de discriminación temporal (Datos arrojados: Número, $W = 0.87$, $p = .004$; Espacio, $W = 0.90$, $p = .02$; Tiempo, $W = 0.95$, $p = .27$). En virtud de que sólo se cumple el supuesto de normalidad en algunas tareas y grupos, se tomó la decisión de emplear herramientas no paramétricas para dar cuenta de los efectos del tipo de tarea y los grupos de edad.

Para describir el desempeño en las tareas para cada uno de los grupos, la Figura 3 representa la proporción de aciertos considerando diferentes variables, como el tipo de tarea o el grupo de edad, al respecto, se observa una mayor proporción de aciertos en la tarea espacial, en comparación con las tareas de discriminación numérica y temporal, las cuales parecen tener un nivel de desempeño semejante. Al considerar el grupo de edad, se observa un incremento mínimo en la proporción de aciertos al contrastar los grupos de primer y tercer grado de primaria, por su parte, el grupo de universitarios presenta proporciones de aciertos considerablemente altas con respecto a los grupos de primaria.

Figura 3.

Distribución de las proporciones de aciertos por grupo de edad y tarea presentada.



Nota. Se observan datos extremos en la tarea de espacio para el grupo de universitarios, sin embargo, estos no sobrepasan el 10% de la muestra total, por lo que no se considera necesario un análisis específico de estos datos.

Para identificar si estos efectos se pueden explicar a partir de la variable tipo de tarea, como factor de agrupación, se aplicó el Test de Friedman que mostró un efecto significativo sobre la proporción de aciertos ($X^2_{(2)} = 37.4$, $p < .05$), incluso cuando el análisis se realizó de forma independiente para cada grupo de edad (primer grado de primaria, $X^2_{(2)} = 6.14$, $p < .05$; tercer grado de primaria, $X^2_{(2)} = 9.79$, $p < .05$; universitarios, $X^2_{(2)} = 33.3$, $p < .05$). Se implementó el Test de rangos con signo de Wilcoxon como post hoc, para determinar que comparaciones eran significativas.

En el grupo de primer grado solo se observaron diferencias estadísticamente significativas entre la tarea de número y espacio, ($z = 344$, $p < .05$). Un resultado similar se obtuvo en el grupo de tercer grado, al solo ser significativas las diferencias entre las tareas numérica y espacial, ($z = 408$, $p < .05$). Para el grupo de universitarios, las diferencias se

observaron entre las tres tareas, entre número y espacio ($z = 297, p < .05$), número y tiempo, ($z = 300, p < .05$) y entre espacio y tiempo ($z = 148, p < .05$).

Asimismo, se evaluaron las diferencias entre grupos para cada una de las tareas, usando la proporción promedio de aciertos, mediante el análisis Kruskal-Wallis (H). Los resultados mostraron diferencias significativas en la proporción de aciertos en función del grupo de edad para las tres tareas (Número, $H_{(2)} = 42.83, p < .05$; Tiempo, $H_{(2)} = 48.67, p < .05$; Espacio, $H_{(2)} = 51.13, p < .05$). Se implementó el Test de Mann-Whitney para comparaciones múltiples post hoc, para determinar entre cuales de los tres grupos se habían presentado las diferencias.

La tarea de discriminación numérica mostró diferencias estadísticamente significativas, en la proporción de aciertos, entre el grupo de primer grado de primaria y el grupo de universitarios, $U_{(N \text{ 1ro primaria} = 34, N \text{ universitarios} = 25)} = 38.5, p < .05$; y entre el grupo de tercer grado de primaria y el grupo de universitarios, $U_{(N \text{ 1ro primaria} = 32, N \text{ universitarios} = 25)} = 53.5, p < .05$.

A diferencia de la tarea anterior, en la tarea de discriminación temporal se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las proporciones de aciertos para todas las comparaciones; entre el primer grado y el tercer de primaria $U_{(N \text{ 1ro primaria} = 34, N \text{ 3ro primaria} = 32)} = 335, p < .05$; entre el grupo de primer grado de primaria y el grupo de universitarios, $U_{(N \text{ 1ro primaria} = 34, N \text{ universitarios} = 25)} = 21.5, p < .05$; y entre el grupo de tercer grado de primaria y el grupo de universitarios, $U_{(N \text{ 3ro primaria} = 32, N \text{ universitarios} = 25)} = 57, p < .05$.

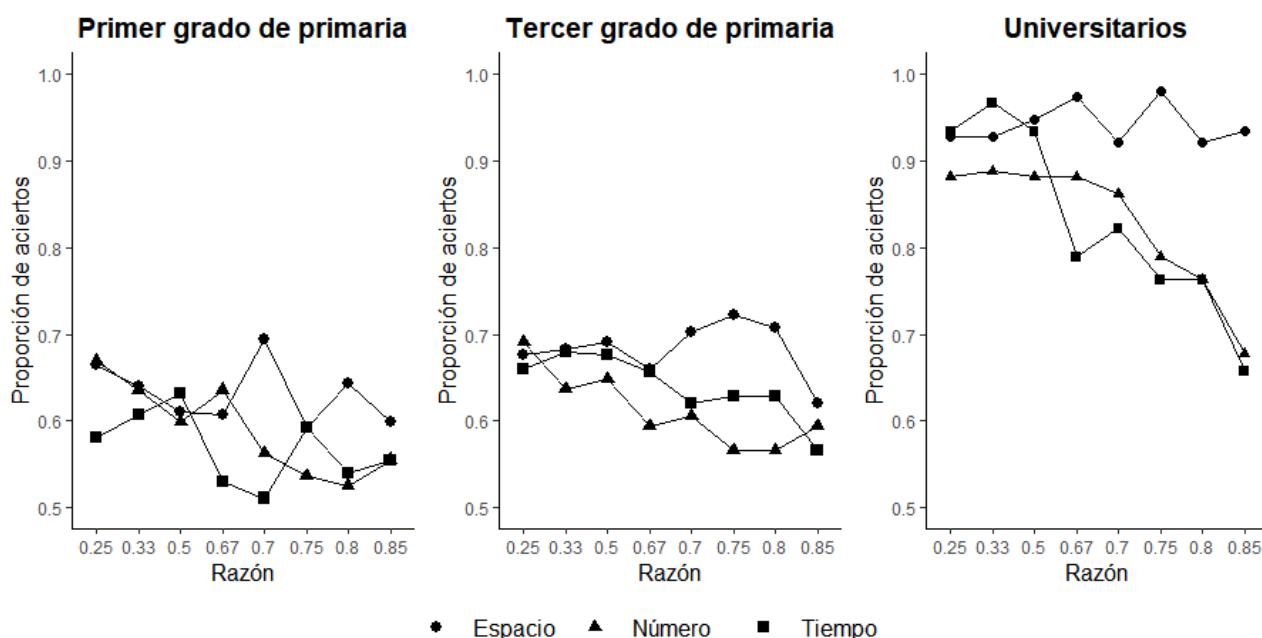
En la tarea de discriminación espacial se encontraron resultados similares a los de la tarea de discriminación numérica, ya que solo se observaron diferencias estadísticamente significativas en la proporción de aciertos entre el grupo de primer grado de primaria y el grupo de universitarios, $U_{(N \text{ 1ro primaria} = 34, N \text{ universitarios} = 25)} = 10.5, p < .05$; y entre el grupo de tercer grado de primaria y el de universitarios $U_{(N \text{ 3ro primaria} = 32, N \text{ universitarios} = 25)} = 22.5, p < .05$.

Efecto de las razones por tipo de tarea

La Figura 4 nos muestra el desempeño promedio de los participantes de cada grupo en función de los valores de razón para cada tipo de tareas (numérica, espacial y temporal). Observándose un aplanamiento de los datos en la tarea espacial con respecto a las otras dos en la tarea espacial. Para identificar el efecto del valor de razón, se implementó el Test Friedman para evaluar el efecto de la variable razón sobre la proporción de respuestas. Al considerar todos los datos, independientemente del grupo, el análisis mostró un efecto significativo en la proporción de aciertos para las tareas de número ($X^2_{(7)} = 52.5, p < .05$) y tiempo ($X^2_{(7)} = 43.7, p < .05$). Además, se estimó el coeficiente Spearman entre la proporción de aciertos y los valores de razón y mostró una correlación negativa leve en dos de las tareas (Número, $r = -0.2, N = 91, p < .05$; Tiempo, $r = -0.2, N = 91, p < .05$).

Figura 4.

Proporciones promedio de aciertos por cada razón programada, grupo de edad y tarea presentada.



Nota. Para cada grado escolar se graficó la relación entre la proporción de aciertos promedio (ordenada) y el valor de las diferentes razones programadas en cada tarea (abscisa).

Al analizar este mismo efecto por cada grupo de edad de forma independiente, solo se observó un efecto significativo de la razón sobre la proporción de aciertos en la tarea de número (primer grado de primaria, $X^2_{(7)} = 17.8$, $p < .05$; tercer grado de primaria, $X^2_{(7)} = 14.8$, $p < .05$; universitarios, $X^2_{(7)} = 34.9$, $p < .05$), y en la tarea de tiempo para el grupo de universitarios ($X^2_{(7)} = 63.5$, $p < .05$). En la tarea de espacio no se observó ningún efecto de la razón en la proporción de respuestas.

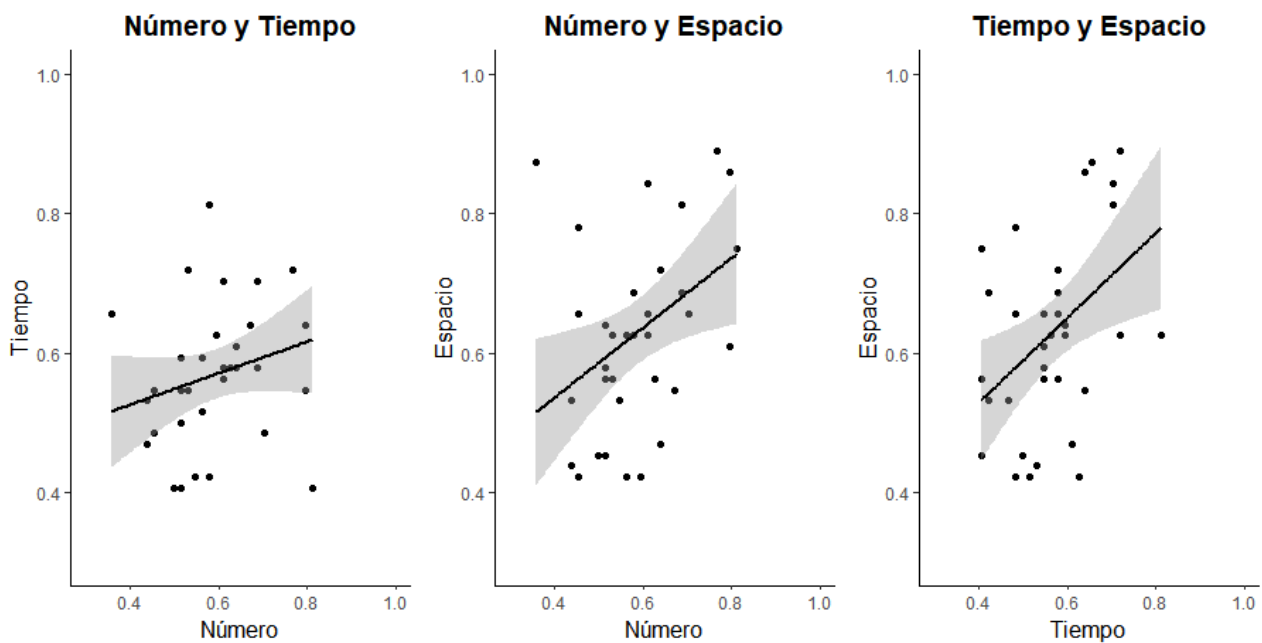
Correlación entre las tareas para cada grupo

Se estimó el coeficiente de Spearman para el cálculo de las correlaciones entre el desempeño en las tareas, por grupo. En el grupo de primer grado, los resultados de la correlación de Spearman muestran relaciones positivas y significativas entre las tareas, que van de leve a moderado, siendo la más elevada la correlación entre la discriminación numérica y espacial ($r = 0.420$, $N = 34$, $p < .05$), seguida por la discriminación temporal y espacial ($r = 0.417$, $N = 34$, $p < .05$) y por último entre la discriminación numérica y temporal ($r = 0.345$, $N = 34$, $p < .05$) (Ver Figura 5).

Para el grupo de tercer grado, los resultados de la correlación de Spearman dieron evidencia de una relación positiva moderada significativa entre las tareas (correlación entre número y espacio, $r = 0.624$, $N = 32$, $p < .01$; correlación entre número y tiempo, $r = 0.592$, $N = 32$, $p < .01$; correlación entre espacio y tiempo, $r = 0.690$, $N = 32$, $p < .01$). Es importante notar que en este grupo la correlación más fuerte se presentó entre las tareas de discriminación espacial y temporal (Ver Figura 6)

Figura 5.

Correlaciones entre porcentajes de aciertos entre diferentes tareas, en el grupo de primer grado

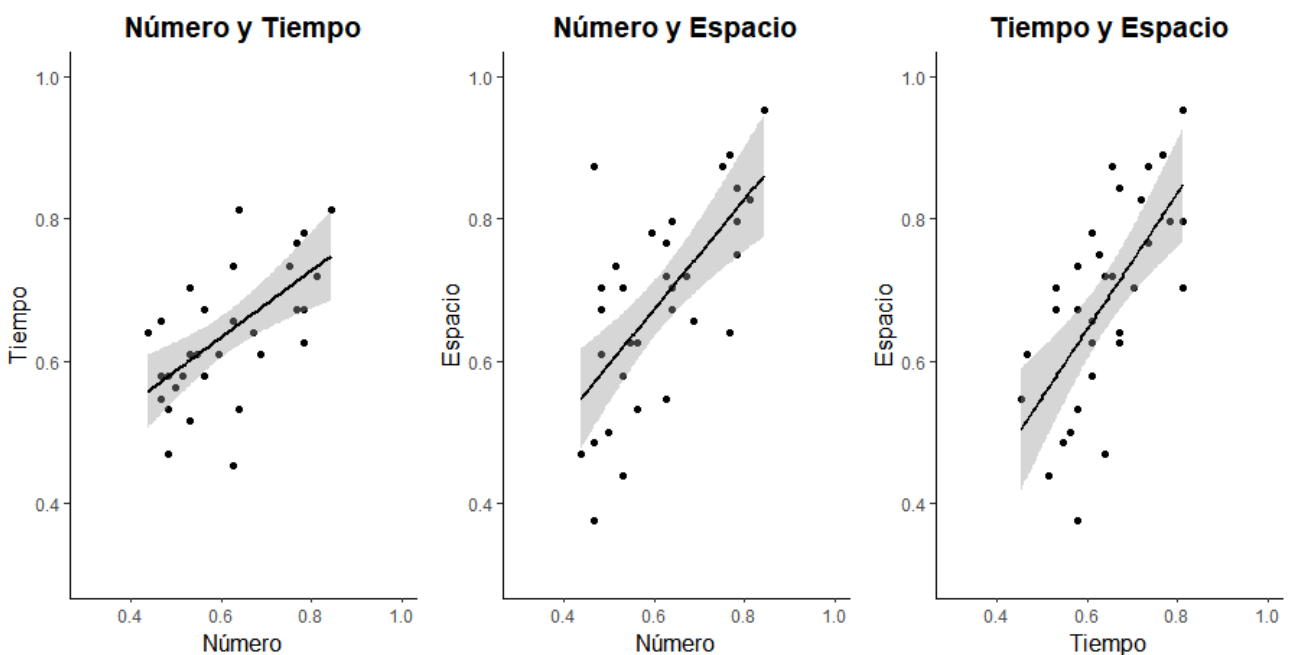


Nota. Para cada par de tareas representa la relación entre las proporciones de aciertos obtenidos.

Para el grupo de tercer grado, los resultados de la correlación de Spearman dieron evidencia de una relación positiva moderada significativa entre las tareas (correlación entre número y espacio, $r = 0.624$, $N = 32$, $p < .01$; correlación entre número y tiempo, $r = 0.592$, $N = 32$, $p < .01$; correlación entre espacio y tiempo, $r = 0.690$, $N = 32$, $p < .01$). Es importante notar que en este grupo la correlación más fuerte se presentó entre las tareas de discriminación espacial y temporal (Ver Figura 6)

Figura 6.

Correlaciones entre porcentajes de aciertos entre diferentes tareas, en el grupo de tercer grado

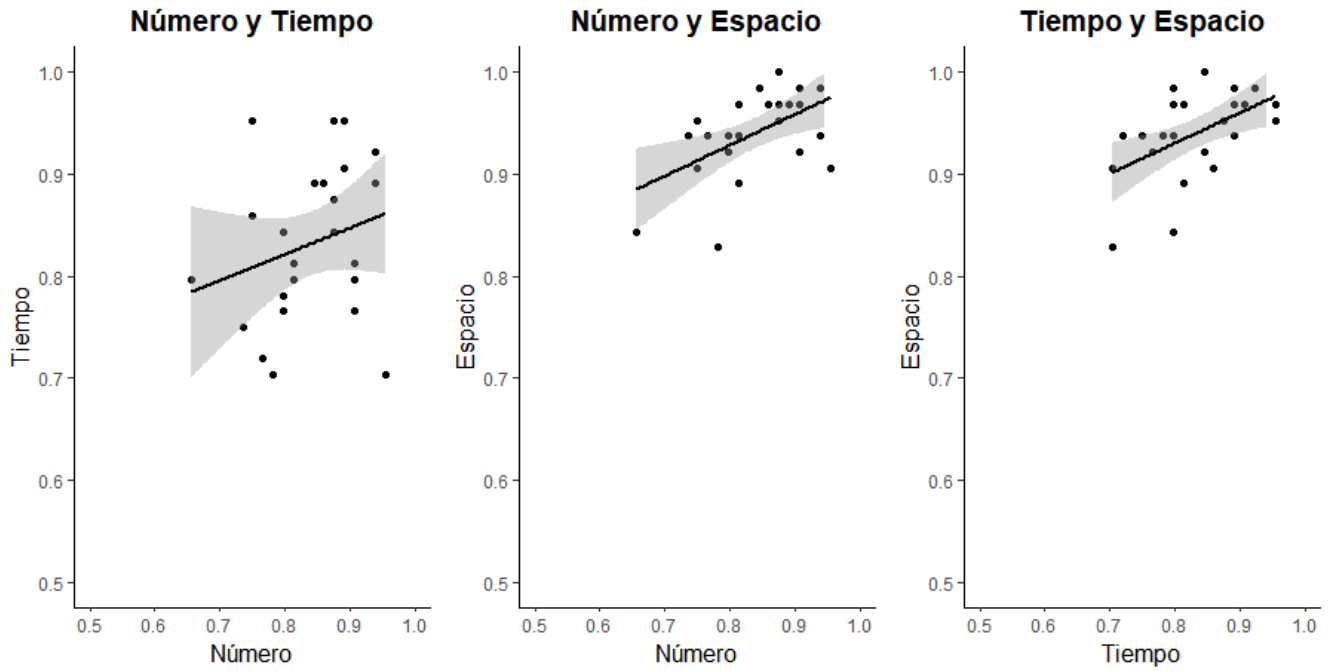


Nota. Para cada par de tareas representa la relación entre las proporciones de aciertos obtenidos.

Por último, en el grupo de universitarios, la correlación dio evidencia de una relación positiva moderada entre la discriminación espacial y la discriminación temporal ($r = 0.556$, $N = 25$, $p < .05$), y entre la discriminación numérica y espacial ($r = 0.457$, $N = 25$, $p < .05$). La correlación entre las tareas de discriminación numérica y temporal no resultó significativa ($r = 0.256$, $N = 25$, $p > .05$) (Ver Figura 7).

Figura 7.

Correlaciones entre porcentajes de aciertos entre diferentes tareas, en el grupo de universitarios



Nota. Para cada par de tareas representa la relación entre las proporciones de aciertos obtenidos.

Discusión

La presente investigación parte con dos objetivos principales: determinar si existen relaciones entre el desempeño en tareas de discriminación numérica, espacial y temporal, y si dichas relaciones presentan diferencias estadísticamente significativas dependiendo la edad de los participantes. Al realizar los análisis descriptivos de los datos, se observan algunos resultados contrastantes con respecto a la evidencia de otras investigaciones.

Efecto de la edad.

El Test Kruskal-Wallis, implementado para comparar diferencias en las proporciones de aciertos entre los grupos de edad (para cada tarea), mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos (primero de primaria, tercero de primaria y universitarios). Al complementar el análisis mediante el Test de Mann-Whitney para comparaciones múltiples *post hoc*, se encontró que en las tareas de discriminación numérica y temporal no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de primer y tercer grado de primaria. En contraste, la tarea discriminación temporal, si mostró diferencias entre estos grupos.

Los resultados pueden explicarse a través de diversos factores, siendo uno de los más relevantes el desarrollo en el procesamiento de las capacidades de discriminación. Algunas investigaciones ya han mostrado que las habilidades de discriminación temporal terminan de desarrollarse a edades más avanzadas, en contraste con las habilidades de discriminación numérica y espacial (Odic y Starr, 2018), en ese sentido es de esperar que los niños, aún en edades tempranas (6 u 8 años), hayan desarrollado en buena medida las capacidades de estimación numérica o espacial y por lo tanto no sea tan perceptible una

diferencia, en contraste con la discriminación temporal, que mostró un puntaje relativamente menor que las otras habilidades.

A partir de esto, es necesario desarrollar investigaciones que aporten evidencias sobre dicha hipótesis. Una alternativa sería analizar las diferencias en el desempeño en tareas de discriminación, considerando los rangos de desarrollo propuestos por Odic y Starr (2018).

Con respecto al grupo de universitarios, su desempeño para las tres tareas fue considerablemente mejor. Mostrando diferencias estadísticamente significativas con respecto a los grupos de primaria, se esperaría que su desempeño no difiriera tanto respecto a estos grupos, en especial en las tareas de discriminación numérica y temporal, ya que, como se mencionó anteriormente, estas habilidades alcanzan su máximo desarrollo a edades tempranas (Odic y Starr, 2018). Sin embargo, hay que considerar que lo largo del crecimiento otras habilidades cognitivas van mejorando, como la abstracción, memoria de trabajo, o el razonamiento lógico, lo que a su vez mejoraría el desempeño en tareas de discriminación de cantidades y explicaría la diferencia en el desempeño respecto de los grupos de primaria.

Efecto de la razón/dificultad de las tareas.

Al analizar las proporciones de aciertos por tarea se observó que la tarea de discriminación espacial presentó proporciones de aciertos más altas con respecto a las tareas de discriminación numérica y temporal, para cada grupo de edad resaltando en el de universitarios. Esto nos sugiere que la dificultad asociada a la tarea de discriminación espacial es menor.

El test de Friedman con el tipo de tarea como variable de predicción mostró un efecto significativo en la proporción de aciertos, reafirmando la idea de que las estimaciones de las distintas dimensiones difieren en términos de su dificultad. Estos resultados son similares a

los encontrados en otras investigaciones (Agrillo, et al., 2013; Kucian et al., 2018), incluso cuando los estímulos presentados fueron de diferente formato. Esto implicaría que la estimación espacial es más fácil en comparación a la estimación de las otras dos dimensiones, independientemente de cómo es que se evalúe dicha estimación.

Aunado a esto, el test de Friedman, esta vez con la razón como variable de predicción, mostró efectos significativos en las tareas de número y tiempo, indicando que estas se apegan a las predicciones de la ley de Weber (Cantlon et al., 2009) y al efecto de distancia (Moyer y Landauer, 1967), sin embargo, la tarea de espacio no presentó dichos efectos. El que las tareas se apeguen a estos principios es relevante ya que nos indica que el procesamiento de las magnitudes se comporta de forma similar, incluso al variar la dificultad de los ensayos. En este sentido, los resultados muestran que el procesamiento espacial no se ajusta a las predicciones del modelo y se comporta de forma diferenciada con respecto a las tareas de discriminación numérica y temporal.

Kucian et al. (2018) sostienen que el procesamiento de información numérica, temporal y espacial deberían presentar un comportamiento similar, incluida una precisión de discriminación comparable entre cantidades, medida por el cumplimiento de la ley de Weber, por lo tanto, podría considerarse que los hallazgos antes mencionados aportan evidencia en contra del SGM. Sin embargo, algunos autores argumentan que esperar una interferencia sistemática entre las magnitudes numéricas, simbólicas, temporales, u otras, y por ende un comportamiento idéntico, sería una visión muy reducida del sistema general de magnitudes, más al considerar que hay diferentes áreas de procesamiento implicadas (Walsh, 2009).

Además, los resultados podrían deberse a que el diseño implementado en la tarea de discriminación espacial es considerablemente más sencillo respecto a las otras dos tareas. Aunado a esto, es importante considerar que las habilidades de discriminación espacial se

desarrollan más rápidamente que el resto (Odic et al., 2013; Odic y Starr, 2018), presentando una curva de desarrollo mucho más rápida, en comparación con otras habilidades, alcanzando su máximo desarrollo en la adolescencia (Odic y Starr, 2018). Dado lo anterior es de esperar que los participantes sean capaces de discriminar más fácilmente entre dos longitudes, aún si la razón entre estas es reducida, eliminando el efecto y explicando los altos puntajes observados especialmente en el caso de los adultos.

El hecho de que en la presente investigación la estimación espacial no se viera afectada por las diferentes razones, no rechaza el SGM, más bien da evidencia a favor de que el procesamiento de las magnitudes alcanza su máximo desarrollo en diferentes etapas dependiendo de la magnitud, como ya lo había mostrado Odic y Starr (2018).

A partir de esto será recomendable, para futuras investigaciones, considerar nuevas formas de evaluar la discriminación espacial, de tal manera que se asegure un nivel de dificultad similar al de resto de tareas, acorde al nivel de desarrollo de los participantes.

Correlación en la estimación de magnitudes en las diferentes tareas

Los objetivos de esta tesis indicaban la evaluación del grado de correlación entre el desempeño en la estimación de magnitudes (número, espacio y tiempo). Al respecto se encontraron correlaciones positivas significativas entre las tres tareas para el grupo de primer y tercer grado de primaria. Los resultados son consistentes con los encontrados por Kucian et

al. (2018), al mostrar una relación entre el procesamiento numérico y espacial en población infantil.

Además, las correlaciones observadas en la presente investigación extienden los hallazgos del estudio de Kucian et al. (2018) a una muestra de participantes de menor edad (niños de 6 años) y evidencian la relación de las habilidades numéricas y espaciales con las habilidades de discriminación temporal. En este sentido se aporta información a favor del SGM en población infantil, al mostrar que el desempeño en las tres tareas de discriminación está relacionado, incluso cuando el nivel de habilidad de los participantes difería entre tareas, mostrando que estos varían de forma conjunta.

Con respecto al grupo de universitarios, se observaron correlaciones positivas moderadas entre la tarea de discriminación espacial y las tareas numérica y temporal. La asociación entre las tareas de discriminación numérica y temporal no fue significativa. Los hallazgos son contrastantes con respecto al estudio de Agrillo et al. (2013), donde se implementó una metodología similar y no se encontraron asociaciones significativas entre ninguna de las habilidades de discriminación.

Un factor para explicar la discrepancia entre ambas investigaciones es el nivel de desarrollo de los participantes, en el estudio de Agrillo et al. (2013) la edad media de la muestra fue de 24.1 años, considerablemente más grande que la del presente estudio, de 18.6 años para el grupo de universitarios. Se esperaría que las habilidades de discriminación no simbólica alcancen su maduración a edades tempranas, sin embargo, se ha observado que la discriminación temporal termina de desarrollarse alrededor de los 19.3 años (Odic y Starr, 2018). En este sentido, es de esperar que los participantes del presente estudio aún no desarrollen en su totalidad sus habilidades de discriminación temporal, en contraste con la muestra de Agrillo et al. (2013).

Aún con esto, resultados en otras investigaciones ya han mostrado que la asociación entre el procesamiento temporal y el resto de las dimensiones es diferente, por ejemplo, en diseños de interferencia modal el posible impacto entre dimensiones temporales y dimensiones numéricas o espaciales ocurre de forma unidireccional (Droit-Volet et al., 2003). Esto podría explicar el hecho de que el desempeño en la tarea de discriminación temporal no se relacione con el procesamiento numérico, pero sí con el espacial en el grupo de universitarios. Sin embargo, es necesario realizar más estudios que incluyan muestras de edad semejantes al del estudio de Agrillo et al. (2013), incluso observar el desempeño en la estimación de magnitudes de diferente dimensión para un rango más amplio de desarrollo.

Contraste entre los grados de correlación

Además, la presente investigación busca contrastar el nivel de correlación entre las tareas de discriminación con respecto al grupo de edad de los participantes, esperando que dichas correlaciones decrementsen conforme la edad.

Al contrastar el grupo de primer y tercer grado de primaria se observa que las correlaciones, entre las tres tareas, son mayores en el grupo de tercer grado, contrario a las hipótesis del presente estudio que proponen un decremento de los valores de correlación a mayor edad. No obstante, los resultados son semejantes a los encontrados por Kucian et al. (2018), donde se observó un incremento en el nivel de asociación entre la discriminación

numérica y espacial dependiendo del grado escolar de los participantes, específicamente entre el tercer y el cuarto grado de primaria y entre el cuarto y el sexto grado.

A partir de estos resultados se considera relevante seguir evaluando el grado de relación entre los desempeños en tareas de discriminación de magnitudes a lo largo de los primeros años de educación formal, o incluso antes del ingreso a dicha formación, ya que esto permitirá visibilizar cómo es que el procesamiento de las magnitudes está relacionado entre sí, y el impacto que tiene en dicha relación el ingreso al sistema educativo. Además, sería relevante la implementación de métodos estadísticos, como el Bootstrap, que generen evidencias, las cuales permitan confirmar más consistentemente el cambio en la relación entre las magnitudes conforme al desarrollo.

En contraste, al comparar los resultados entre el grupo de primer y tercer grado con el de universitarios se observa un decremento en el grado de correlación entre las tareas, con un mayor cambio en la relación entre la tarea de discriminación numérica y temporal, ya que en el grupo de universitarios ésta no fue significativa.

Los resultados dan evidencia a favor del modelo de divergencia propuesto por Newcombe (2014), sobre que las dimensiones implicadas en el SGM se van diferenciando y generando sistemas cada vez más específicos conforme el desarrollo de los individuos.

Existen diversas explicaciones del por qué los sistemas se diferencian, siendo una de las principales que durante los primeros años de vida los individuos desarrollan un sistema que les permite hacer estimaciones de las magnitudes que los rodean. Sin embargo, con el tiempo y el ingreso a un sistema de educación formal, dichas capacidades comienzan a ser moduladas por estrategias de estimación formal (medir objetos y el cálculo), a partir de esto la operación de cada sistema comienza a ser más especializada y acorde los requerimientos de la magnitud estimada.

Es importante resaltar que la diferenciación, dada la especialización de los sistemas, solo se aprecia entre el procesamiento numérico y temporal, una posible explicación de esto es el acceso y manejo de símbolos conforme los individuos avanzan en la educación formal. Al respecto Lourenco y Longo (2011) sugieren que estrategias como el conteo explícito pueden ser efectivas para diferenciar magnitudes numéricas y temporales.

Por último, resulta relevante señalar las limitaciones y áreas de oportunidad del presente estudio; en primer lugar se requiere un diseño de la tarea de discriminación espacial, que nos permita evaluar adecuadamente a los participantes; un segundo punto es asegurar que la aplicación de las pruebas se realice en un contexto semejante para todas las muestras, ya que en esta investigación, debido a la contingencia de salud generada por la pandemia, el grupo de universitario resolvió las pruebas a distancia de forma virtual. Como tercera área de oportunidad resaltan los rangos de edad seleccionados, los cuales podrían reflejar un continuo del desarrollo más óptimo, más al considerar investigaciones como la de Odic y Starr (2018).

Como conclusión, la presente investigación da evidencia a favor de un SGM en población infantil. A su vez los resultados aportan a la propuesta de que dicho sistema se especializa conforme el desarrollo. También se plantean diferentes propuestas de investigación para solventar las áreas de oportunidad del presente estudio y en general de la línea de investigación. Al respecto, es necesario continuar realizando investigación sobre el tema, replicando el diseño implementado en la presente investigación en diferentes rangos de edad, e incluso implementando diseños de investigación diferentes, como longitudinales o experimentales, por ejemplo, para evaluar qué efecto tiene el entrenamiento en el procesamiento de magnitudes numéricas sobre el procesamiento de magnitudes temporales o espaciales.

Referencias

- Agrillo, C. y Piffer, L. (2012) Musicians outperform non musicians in magnitude estimation: Evidence of a common processing mechanism for time, space and numbers. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65:12, 2321- 2332, DOI: 10.1080/17470218.2012.680895.
- Agrillo, C., Piffer, L. y Adriano, A. (2013). Individual differences in non- symbolic numerical abilities predict mathematical achievements but contradict ATOM. *Behavioral and Brain Functions*, 9(1), 26.
- Agrillo, C., Ranpura, A. y Butterworth, B. (2010). Time and numerosity estimation are independent: Behavioral evidence for two different systems using a conflict paradigm. *Cognitive Neuroscience*, 1, 96–101.
- Barth, H. C. (2008). Judgments of discrete and continuous quantity: An illusory Stroop effect. *Cognition*, 109(2), 251-266.
- Brown, S.W. (1997). Attentional resources in timing: interference effects in concurrent temporal and non-temporal working memory tasks. *Perception & Psychophys.* 59, 1118 – 1140
- Cantlon, J. F., Platt, M. L. y Brannon, E. M. (2009). Beyond the number domain. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(2):83–91. doi: 10.1016/j.tics.2008.11.007. [arTL, MJB, AC]
- Chen, Q. y Li, J. (2014). Association between individual differences in non- symbolic number acuity and math performance: A meta-analysis. *Acta Psychologica*, 148, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.01.016>
- Dehaene, S. (1997). *The number sense*. New York: Oxford University Press.

- Dehaene, S. y Changeux, J. P. (1993). Development of elementary numerical abilities: A neuronal model. *Journal of cognitive neuroscience*, 5(4), 390-407.
- Dormal, V., Andres, M. y Pesenti, M. (2012). Contribution of the right intraparietal sulcus to numerosity and length processing: An fMRI-guided TMS study. *Cortex*, 48(5), 623-629.
- Dormal, V., Dormal, G., Joassin, F. y Pesenti, M. (2012). A common right fronto-parietal network for numerosity and duration processing: An fMRI study. *Human Brain Mapping*, 33(6), 1490-1501.
- Dormal, V. y Pesenti, M. (2013). Processing numerosity, length and duration in a three-dimensional Stroop-like task: Towards a gradient of processing automaticity? *Psychological Research*, 77(2), 116-127.
- Dormal, V., Seron, X. y Pesenti, M. (2006). Numerosity-duration interference: A Stroop experiment. *Acta Psychologica*, 121, 109-124.
- Dormal, V. y Pesenti, M. (2007). Numerosity-length interference: A Stroop experiment. *Experimental Psychology*, 54(4), 289-297.
- Droit-Volet, S., Clément, A. y Fayol, M. (2003). Time and number discrimination in a bisection task with a sequence of stimuli: A developmental approach. *Journal of Experimental Child Psychology*, 84, 63-76.
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P. y Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental psychology*, 43(6), 1428.

- Espinosa-Rodríguez, J., Romero-Sánchez, P. y Maldonado-García, M. (2019). Breves comentarios sobre el sentido numérico como predictor de competencias aritméticas en edades tempranas. En R. Bernal-Gamboa y G. Bachá- Méndez (Eds.), *Investigación en Aprendizaje, Conducta y Cognición: Una perspectiva desde la Facultad de Psicología de la UNAM* (pp. 123-137). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Feigenson, L., Carey, S. y Spelke, E. (2002). Infants discrimination of number vs. continuous extent. *Cognitive psychology*, 44(1), 33-66.
- Feigenson, L. y Carey, S. (2003). Tracking individuals via object-files: evidence from infants' manual search. *Developmental Science*, 6(5), 568-584.
- Feigenson, L., Dehaene, S. y Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in cognitive sciences*, 8(7), 307-314.
- Geary, D. C. y Van Marle, K. (2016). Young children's core symbolic and nonsymbolic quantitative knowledge in the prediction of later mathematics achievement. *Developmental Psychology*, 52(12), 2130.
- Halberda, J., Mazocco, M. M. M. y Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature* 455, 665–668. doi: 10.1038/nature07246.
- Hamamouche, K. y Cordes, S. (2019). Number, time, and space are not singularly represented: Evidence against a common magnitude system beyond early childhood. *Psychonomic Bulletin & Review*, 26(3), 833-854.
- Kucian, K., McCaskey, U., Von Aster, M. y O'Gorman Tuura, R. (2018). Development of a possible general magnitude system for number and space. *Frontiers in psychology*, 2221.

- Leibovich, T., Katzin, N., Harel, M. y Henik, A. (2017). From “sense of number” to “sense of magnitude”: The role of continuous magnitudes in numerical cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 60. doi: 10.1017/S0140525X1600096.
- Libertus, M. E., Feigenson, L. y Halberda, J. (2011). Preschool acuity of the approximate number system correlates with school math ability. *Developmental Science*. 14, 1292–1300. doi: 10.1111/j.1467-7687.2011.01080.x
- Libertus, M. E., Odic, D. y Halberda, J. (2012). Intuitive sense of number correlates with math scores on college-entrance examination. *Acta Psychologica*. 141, 373–379. doi: 10.1016/j.actpsy.2012.09.009
- Lourenco, S. F. y Aulet, L. S. (2019). Cross-magnitude interactions across development: Longitudinal evidence for a general magnitude system. *Developmental Science*, 22(1), e12707. doi:10.1111/desc.12707
- Lourenco, S. F. y Bonny, J. W. (2017). Representations of numerical and non-numerical magnitude both contribute to mathematical competence in children. *Developmental Science*, 20(4), e12418.
- Lourenco, S. F., Bonny, J. W., Fernandez, E. P. y Rao, S. (2012). Nonsymbolic number and cumulative area representations contribute shared and unique variance to symbolic math competence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(46), 18737-18742.
- Lourenco, S. F. y Longo, M. R. (2010). General magnitude representation in human infants. *Psychological Science*, 21(6), 873-881.
- Meck, W. H. y Church, R. M. (1983). A mode control model of counting and timing processes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 9(3), 320.

- Moyer, R. S. y Landauer, T. K. (1967). The time required for judgements of numerical inequality. *Nature* 215, 1519–1520. doi: 10.1038/2151519a0
- Mundy, E. y Gilmore, C. K. (2009). Children’s mapping between symbolic and nonsymbolic representations of number. *Journal of experimental child psychology*, 103(4), 490-502.
- Newcombe, N. S. (2014). The origins and development of magnitude estimation. *Ecological Psychology*, 26(1-2), 147-157.
- Peirce, J. W., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M. R., Höchenberger, R., Sogo, H., Kastman, E., Lindeløv, J. (2019). PsychoPy2: experiments in behavior made easy. *Behavior Research Methods*. 10.3758/s13428-018-01193-y
- Schneider, M., Beeres, K., Coban, L., Merz, S., Susan Schmidt, S., Stricker, J. y De Smedt, B. (2017). Associations of non-symbolic and symbolic numerical magnitude processing with mathematical competence: A meta-analysis. *Developmental science*, 20(3), e12372.
- Skagerlund, K., Karlsson, T. y Träff, U. (2016). Magnitude processing in the brain: an fMRI study of time, space, and numerosity as a shared cortical system. *Frontiers in human neuroscience*, 10, 500.
- Solovieva, Y., Lázaro, E. y Quintanar, L. (2013). Evaluación de las habilidades matemáticas previas en niños preescolares urbanos y rurales. *Cultura y Educación*, 25(2), 199-212.

- Odic, D., Libertus, M. E., Feigenson, L. y Halberda, J. (2013). Developmental change in the acuity of approximate number and area representations. *Developmental psychology*, 49(6), 1103.
- Odic, D., Lisboa, J. V., Eisinger, R., Olivera, M. G., Maiche, A. y Halberda, J. (2016). Approximate number and approximate time discrimination each correlate with school math abilities in young children. *Acta Psychologica*, 163, 17–26.
- Odic, D., y Starr, A. (2018). An introduction to the approximate number system. *Child Development Perspectives*, 12(4), 223-229.
- OECD (2019). PISA 2018 Results (Volume I): What Students Know and Can Do, PISA, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/5f07c754-en>.
- Walsh, V. (2003). A theory of magnitude: common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in Cognitive Sciences* Vol.7 No.11 November 2003.
- Xu, F. y Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74(1), B1-B11.